

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

**FACULTAD DE BIOLOGÍA**

**Dpto. Biología Animal, Ecología, Parasitología, Edafología y Química Agrícola**



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

**EFFECTOS DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y  
DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LA CANTIDAD Y  
CALIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN  
ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS DE ECUADOR**



**Pablo Patricio JARA TORRES**

**PROGRAMA: BIOLOGÍA Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD**

**Salamanca 2018**

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN</b>  | <b>9</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>   | <b>10</b> |
| <b>CAPITULO I: ANTECEDENTES</b>   |           |
| 1.1 INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA   | 13        |
| 1.2. ¿QUÉ ES LA MOS?  | 14        |
| 1.3 ¿POR QUÉ ES INDISPENSABLE LA MOS PARA LA VIDA DE LOS ECOSISTEMAS?                         | 15        |
| 1.4 PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EDÁFICOS EN LA MOS   | 17        |
| 1.5 INFLUENCIA DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA<br>SOBRE LA MOS             | 21        |
| 1.6 FACTORES QUE CONTROLAN LA ACUMULACIÓN DE MOS  | 23        |
| 1.6.1 Condiciones climáticas y altitud  | 23        |
| 1.6.2 La roca madre   | 23        |
| 1.6.3 La edad de los suelos   | 25        |
| 1.7 ESTADO DE CONSERVACIÓN E HISTORIA DEL USO DE LA TIERRA<br>EN LOS ALTOS-ANDES ECUATORIANOS | 26        |
| <b>CAPITULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>   |           |
| 2.1 Objetivo general  | 31        |
| 2.2 Objetivos específicos   | 31        |
| 2.3 Hipótesis general   | 31        |
| 2.4 Hipótesis específicas   | 31        |
| <b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b>   |           |
| <b>3.1 SISTEMA ECOLÓGICO DE ESTUDIO 35</b>  |           |
| 3.1.1 Región Alto-Andina de Ecuador   | 35        |
| 3.1.2 Geología de la Región Andina de Ecuador   | 39        |
| 3.1.3 Clima   | 40        |
| 3.1.4 Suelos  | 40        |
| 3.1.5 Biodiversidad y formaciones naturales de los Andes ecuatorianos                         | 41        |

## **3.2 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS ZONAS DE MUESTREO**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.2.1 Páramos del Ángel</b>   | <b>45</b> |
| 3.2.1.1 Localización   | 45        |
| 3.2.1.2 Condiciones climáticas   | 47        |
| 3.2.1.3 Geomorfología  | 47        |
| 3.2.1.4 Geología   | 48        |
| 3.2.1.5 Suelos   | 48        |
| 3.2.1.6 Uso de la Tierra y Cobertura Vegetal   | 48        |
| 3.2.1.7 Biodiversidad vegetal  | 49        |
| <br>   |           |
| <b>3.2.2 Páramos del Cotopaxi (<i>Páramos del Norte de la Cordillera Real Oriental</i>)</b>            | <b>50</b> |
| 3.2.2.1 Localización y clima   | 50        |
| 3.2.2.2 Geología   | 52        |
| 3.2.2.3 Geomorfología  | 53        |
| 3.2.2.4 Suelos   | 53        |
| 3.2.2.5 Uso de la Tierra y Cobertura Vegetal   | 54        |
| 3.2.2.6 Biodiversidad vegetal  | 54        |
| <br>   |           |
| <b>3.2.3 Páramos del Chimborazo (<i>Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana</i>)</b> |           |
| 3.2.3.1 Localización   | 55        |
| 3.2.3.2 Condiciones climáticas   | 57        |
| 3.2.3.3 Geomorfología  | 57        |
| 3.2.3.4 Geología   | 58        |
| 3.2.3.5 Suelos   | 58        |
| 3.2.3.6 Uso de la Tierra y Cobertura Vegetal   | 58        |
| 3.2.3.7 Biodiversidad vegetal  | 59        |
| <br>   |           |
| <b>3.2.4 Páramos del Cajas (<i>Páramos Macizo del Cajas</i>)</b>                                       |           |
| 3.2.4.1 Localización   | 60        |
| 3.2.4.2 Condiciones climáticas   | 62        |
| 3.2.4.3 Geomorfología  | 62        |
| 3.2.4.4 Geología   | 63        |
| 3.2.4.5 Suelos   | 63        |
| 3.2.4.6 Uso de Suelo y Cobertura Vegetal   | 64        |
| 3.2.4.7 Biodiversidad vegetal  | 64        |

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| <b>3.2.5</b>  | <b>Páramos de Oña - Yacuambi (<i>Páramos de Azuay, Morona Santiago y Zamora Chinchipe</i>)</b> |           |
| 3.2.5.1       | Localización   | 65        |
| 3.2.5.2       | Condiciones climáticas   | 67        |
| 3.2.5.3       | Geomorfología  | 67        |
| 3.2.5.4       | Geología   | 68        |
| 3.2.5.5       | Suelos   | 68        |
| 3.2.5.6       | Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra   | 68        |
| 3.2.5.7       | Biodiversidad vegetal  | 68        |
| <b>3.2.6</b>  | <b>Páramos de Loja (<i>Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus</i>)</b>                         |           |
| 3.2.6.1       | Localización   | 69        |
| 3.2.6.2       | Condiciones climáticas   | 71        |
| 3.2.6.3       | Geomorfología  | 71        |
| 3.2.6.4       | Geología   | 72        |
| 3.2.6.5       | Suelos   | 72        |
| 3.2.6.6       | Cobertura vegetal y uso de la tierra   | 72        |
| 3.2.6.7       | Biodiversidad vegetal  | 72        |
| <b>3.3</b>    | <b>CARACTERIZACIÓN DE BIOTIPOS Y COMUNIDADES VEGETALES DE ESTUDIO</b>                          | <b>73</b> |
| <b>3.4</b>    | <b>DISEÑO Y DIMENSIÓN ESPACIAL DEL ESTUDIO</b>   | <b>79</b> |
| 3.4.1         | Grano, extensión y dimensión del estudio   |           |
| 3.4.2         | Distribución de parcelas en los páramos del Ángel  | 83        |
| 3.4.3         | Distribución de parcelas en los páramos del Cotopaxi   | 84        |
| 3.4.4         | Distribución de parcelas en los páramos del Chimborazo   | 85        |
| 3.4.5         | Distribución de parcelas en los páramos del Cajas  | 87        |
| 3.4.6         | Distribución de parcelas en los páramos del Oña-Yacuambi                                       | 88        |
| 3.4.7         | Distribución de parcelas en los páramos de Loja  | 89        |
| <b>3.5</b>    | <b>ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE LABORATORIO</b>  | <b>90</b> |
| <b>3.5.1.</b> | <b>Análisis Físicos</b>  |           |
| 3.5.1.1       | Determinación de la densidad aparente del suelo  | 90        |
| 3.5.1.2       | Determinación de la humedad relativa del suelo   | 91        |
| 3.5.1.3       | Determinación granulométrica por el método de pipeta   | 91        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>3.5.2 Análisis Físico-Químicos</b>  |            |
| 3.5.2.1 Determinación de la conductividad eléctrica  | 93         |
| 3.5.2.2 Determinación del pH del suelo   | 93         |
| 3.5.2.3 Determinación de capacidad de intercambio catiónico y los cationes de cambio   | 94         |
| <b>3.5.3 Análisis Bioquímicos</b>  |            |
| 3.5.3.1 Determinación de materia orgánica del suelo (carbono orgánico total) y nitrógeno total   | 98         |
| 3.5.3.2 Determinación del carbono lábil del suelo por el Método de Ghani (modificado)  | 99         |
| 3.5.3.3 Determinación de amonios, nitritos y nitratos intercambiables en suelo   | 100        |
| 3.5.3.4 Relación C/N del suelo   | 102        |
| 3.5.3.5 Determinación del fósforo disponible.  | 103        |
| 3.5.3.6 Determinación de calcio, potasio y magnesio asimilables  | 105        |
| <b>3.5.4 Análisis Biológicos</b>   |            |
| 3.5.4.1. Determinación de la emisión potencial de CO <sub>2</sub> del suelo (respiración microbiana)   | 107        |
| <b>3.6 METADATOS DE COS</b>  | <b>109</b> |
| 3.6.1 Recolección de medidas de Carbono desde artículos científicos y bases de datos   |            |
| <b>3.7 MÉTODOS ESTADÍSTICOS</b>  | <b>109</b> |
| 3.7.1 Análisis de varianza   | 109        |
| 3.7.2 Análisis de componentes principales  | 112        |
| <b>CAPITULO IV: RESULTADOS</b>   |            |
| 4.1. EFECTO DE LOS FACTORES ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO y CVUT SOBRE EL CONTENIDO DE MOS   | 117        |
| 4.1.1 Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable contenido de MOS (%) en la región Alto-Andina de Ecuador                           | 117        |
| 4.2 EFECTO DE LOS FACTORES ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO Y CVUT SOBRE LAS VARIABLES FÍSICAS, FISICOQUÍMICAS, BIOQUÍMICAS, DE FERTILIDAD EDÁFICA Y BIOLÓGICAS DEL SUELO | 126        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>A- EFECTO DE DE LOS FACTORES ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO Y CVUT SOBRE LAS VARIABLES FÍSICAS DEL SUELO-EN LA REGIÓN ALTO-ANDINA DEL ECUADOR</b> | 126 |
| 4.2.1 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo, temporadas lluviosa y seca           | 126 |
| 4.2.2 Efecto de la zona de estudio y CVUT sobre la textura del suelo  | 137 |
| 4.2.3 Efecto de la zona de estudio y CVUT sobre la variable $D_{ap}$ del suelo  | 149 |
| <b>B- EFECTO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DE LA CVUT SOBRE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO-</b>   | 157 |
| 4.2.4 Efecto de la zona de estudio y CVUT sobre la conductividad del suelo  | 157 |
| 4.2.5 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el pH edáfico   | 165 |
| 4.2.6 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la Capacidad Total de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo                           | 176 |
| 4.2.7 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el Calcio intercambiable  | 186 |
| 4.2.8 Efecto de la estación climática, zona de estudio CVUT sobre el Magnesio intercambiable  | 197 |
| 4.2.9 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el Potasio intercambiable   | 208 |
| 4.2.10 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el Sodio intercambiable  | 219 |
| 4.2.11 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la saturación de bases (V)   | 226 |
| <b>C- EFECTO DE LA CVUT SOBRE LAS VARIABLES BIOQUÍMICAS DEL SUELO</b>   | 237 |
| 4.2.12 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el COS del suelo   | 237 |
| 4.2.13 Efecto de la estación climática Zona de estudio y CVUT sobre el Carbono Orgánico Lábil (COL) del suelo   | 246 |
| <i>-Efecto del factor CVUT sobre las variables del Nitrógeno del suelo-</i>   |     |
| 4.2.14 Efecto de la CVUT sobre el Nitrógeno total del suelo (NTS)   | 253 |
| 4.2.15 Efecto de la estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre los Nitratos del suelo   | 264 |
| 4.2.16 Efecto de la estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre los Nitritos del suelo   | 275 |
| 4.2.17 Efecto la estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre el Amonio del suelo   | 285 |
| 4.2.18 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre los Nitratos/Amonio  | 295 |
| 4.2.19 Efecto de la estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre Relación C/N   | 305 |

**D- EFECTO DE LA ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO Y CVUT SOBRE LAS VARIABLES FERTILIDAD DEL SUELO-**

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.20 Efecto de la estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el Fósforo asimilable del suelo | 316 |
| 4.2.21 Efecto de la Zona de estudio y CVUT sobre la el Calcio asimilable del suelo                   | 327 |
| 4.2.22 Efecto de la Zona de estudio y CVUT sobre el Magnesio asimilable del suelo                    | 334 |
| 4.2.23. Efecto de la Zona de estudio y CVUT sobre el Potasio asimilable del suelo                    | 341 |

**E- EFECTO DEL FACTOR CVUT SOBRE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS DEL SUELO-**

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.24 Efecto de la Zona de estudio y CVUT sobre la variable Respiración potencial (emisión de CO <sub>2</sub> ) | 348 |
|--|-----|

**CAPITULO V: DISCUSIÓN**

|   |     |
|---|-----|
| • 5.1 Cambios de CVUT, Zona de estudio y MOS (%)  | 359 |
| • 5.2 Humedad porcentual gravimétrica del suelo   | 365 |
| • 5.3 Textura del suelo   | 368 |
| • 5.4 Densidad aparente del suelo   | 379 |
| • 5.5 pH edáfico  | 372 |
| • 5.6 Capacidad Total de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo                                  | 374 |
| • 5.7 Calcio intercambiable del suelo   | 375 |
| • 5.8 Magnesio intercambiable del suelo   | 376 |
| • 5.9 Potasio intercambiable del suelo  | 377 |
| • 5.10 Sodio intercambiable del suelo   | 378 |
| • 5.11 Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total del suelo (V)                  | 379 |
| • 5.12 Relación de factores Zona de estudio y CVUT con la variable COS (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | 380 |
| • 5.13 Carbono Orgánico Lábil (COL) del suelo   | 381 |
| • 5.14 Nitrógeno total del suelo (NTS)  | 381 |
| • 5.15 Nitratos del suelo   | 383 |
| • 5.16 Nitritos del suelo   | 384 |
| • 5.17 Amonio del suelo   | 385 |
| • 5.18 Relación Nitratos: Amonio del suelo  | 386 |
| • 5.19 Relación Carbono: Nitrógeno del suelo (C/N edáfico)                                      | 388 |
| • 5.20 P asimilable del suelo (P <sub>as</sub> )  | 390 |
| • 5.21 Calcio asimilable del suelo (C <sub>as</sub> )   | 392 |
| • 5.22 Magnesio asimilable del suelo (Mg <sub>as</sub> )  | 392 |

|   |            |
|---|------------|
| • 5.23 Potasio asimilable del suelo ( $K_{as}$ )                | 393        |
| • 5.24 Respiración potencial del suelo ( $R_{ps}$ )             | 394        |
| 5.25 Análisis de Componentes principales                        | 395        |
| <b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES</b>                                | <b>403</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>                               | <b>407</b> |
| <b>ANEXOS</b>   |            |
| Anexo I. Detalles de los datos capturados para el META-ANÁLISIS | a, b       |





## RESUMEN

Los ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador tienen grandes cantidades de materia orgánica del suelo (MOS), lo que les permite prestar servicios ambientales y sostener la vida de millones de personas. Sin embargo, se desconoce si frente a los cambios de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra (CVUT) que han ocurrido están actuando como sumideros o cómo fuentes de Carbono. Es decir, no se conoce si los ecosistemas de páramo perturbados y transformados en plantaciones de pino, pastizales y cultivos estarían fijando  $\text{CO}_2$  o emitiéndolo. Es necesario el desarrollo de estudios que examinen los componentes biológicos de la MOS y que permitan comparar el Carbono Orgánico del Suelo (COS) bajo varios tipos de CVUT en diferentes zonas y escenarios edáficos. La MOS es un indicador de la salud ambiental de un ecosistema y entender la relación de ésta con los tipos de CVUT es esencial para manejar y conservar el páramo andino. Particularmente examinar los componentes biológicos para entender el almacenaje o la pérdida de C es esencial en el suelo andino. El objetivo principal fue evaluar la cantidad y calidad de la MOS bajo Páramo natural, plantaciones de Pino, Pastizales y Bosque secundario nativo en 6 zonas fisiográficas de páramo de los Andes ecuatorianos. Los sitios de Páramo del Cajas fueron la CVUT que presentaron mayor contenido de MOS (20 cm de profundidad) de todos los ecosistemas evaluados ( $620,80 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Mientras que los sitios de Páramo Degradado del Chimborazo son los que presentaron las menores cantidades de MOS ( $53.12 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Los resultados del análisis de varianza utilizado para evaluar el efecto del factor CVUT (anidado el factor zona) sobre la variable MOS indicaron muy consistentemente que la cantidad de MOS está asociada al tipo de cobertura vegetal dentro de cada zona estudio. Los resultados de la prueba posterior LSD indicaron que la cantidad de MOS está asociada a la CVUT específicamente en las zonas del Ángel, Chimborazo, el Cajas y Oña-Yacuambi. Por su parte, los rangos promedio de la emisión potencial de  $\text{CO}_2$  estuvieron entre los  $4,9$  y  $10.4 \text{ mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Los resultados del análisis de varianza utilizado para evaluar el efecto del factor CVUT (anidado el factor zona) sobre la variable Emisión potencial de  $\text{CO}_2$  del suelo indicaron que la actividad biológica del suelo está asociada en la zona de estudio. En la región andina de Ecuador la calidad y cantidad de la MOS está asociada e influencia directamente por la CVUT. Las principales influencias de la CVUT actúan sobre la densidad del suelo, el pH, el contenido de MOS y nutrientes del suelo. Los resultados sugieren que los ecosistemas transformados de la sierra ecuatoriana han perdido gran parte del contenido de MOS y seguirán perdiéndolo, ya que estarían emitiendo grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera.

## **ABSTRACT**

*The High-Andean ecosystems of Ecuador have large amounts of soil organic matter (MOS), which allows them to provide environmental services and sustain the lives of millions of people. However, it is not known if the changes in Vegetal Coverage and Land Use (CVUT) that have occurred are acting as sinks or sources of carbon. That is, it is not known if disturbed páramo ecosystems and transformed into pine plantations, pastures and crops would be fixing CO<sub>2</sub> or emitting it. It is necessary to develop studies that examine the biological components of the MOS and that allow to compare the Organic Carbon of the Soil (COS) under several types of CVUT in different zones and edaphic scenarios. The MOS is an indicator of the environmental health of an ecosystem and understanding its relationship with the types of CVUT is essential to manage and conserve the Andean páramo. Particularly to examine the biological components to understand the storage or loss of C is essential in the Andean soil. The main objective was to evaluate the quantity and quality of the MOS under natural Páramo, pine plantations, grasslands and native secondary forest in 6 paramo's physiographic zones of the Ecuadorian Andes. The Páramo del Cajas sites were the CVUT that presented the highest MOS content (20 cm depth) of all the ecosystems evaluated (620.80 Mg ha<sup>-1</sup>). While the sites of Páramo Degraded of Chimborazo are those that presented the lowest amounts of MOS (53.12 Mg ha<sup>-1</sup>). The results of the analysis of variance used to evaluate the effect of the CVUT factor (nested zone factor) on the MOS variable indicated very consistently that the amount of MOS is associated with the type of vegetation cover within each study area. The results of the subsequent LSD test indicated that the amount of MOS is associated with the CVUT specifically in the areas of Angel, Chimborazo, Cajas and Oña-Yacuambi. On the other hand, the average ranges of the potential emission of CO<sub>2</sub> were between 4.9 and 10.4 mg CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>. The results of the analysis of variance used to evaluate the effect of the CVUT factor (nested zone factor) on the variable potential CO<sub>2</sub> emission of the soil indicated that the biological activity of the soil is associated in the study area. In the Andean region of Ecuador the quality and quantity of the MOS is associated directly and influenced by the CVUT. The main influences of the CVUT act on soil density, pH, MOS content and soil nutrients. The results suggest that the transformed ecosystems of the Ecuadorian highlands have lost much of the MOS content and will continue to lose it, since they would be emitting large amounts of CO<sub>2</sub> into the atmosphere.*

## **CAPITULO I: ANTECEDENTES**



## 1.1 INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Región Alto-Andina de Ecuador existen aproximadamente 12.500 km<sup>2</sup> de páramo (buena parte en estado de conservación bajo) y 8.000 km<sup>2</sup> de superficie transformada o degradada por encima de los 3.000 m s.n.m. (Hofstede *et al*, 2002). Además, las áreas no transformadas en los últimos años han presentado cambios significativos en la Cobertura Vegetal y el Uso de la Tierra (CVUT) (MAE, 2012). Esta región es clave porque, además de sostener la vida de millones de personas con la provisión de servicios ambientales (Buytaert *et al*, 2006a; De la Torre, 2006; Farley *et al*, 2013) y de albergar una gran biodiversidad endémica (Vásconez y Hofstede, 2006; Tejedor-Garavito *et al*, 2012), mantiene ecosistemas con suelos capaces de almacenar (por unidad de área) cantidades extraordinarias de carbono orgánico edáfico (COS; por ej. el páramo puede almacenar entre 250 a 800 Mg C ha<sup>-1</sup>; Podwojewski y Poulénard, 2004).

La planificación de estrategias de manejo ambiental en los Andes ecuatorianos requiere conocer cómo afecta el cambio de CVUT a la Materia Orgánica del Suelo (MOS), debido a que la cantidad y calidad de ésta juegan un rol fundamental en los ciclos de agua, nutrientes y energía de los ecosistemas (Buytaert *et al*, 2002; Poulénard *et al*, 2003; Bartoli *et al*, 2007). Sin embargo, en nuestra región andina no está muy bien entendido qué efectos podría tener el cambio de CVUT sobre la acumulación del principal componente de la materia orgánica edáfica, el COS. Por ejemplo, algunos estudios recientes realizados para evaluar el efecto de plantaciones de pino en ecosistemas alto-andinos de Ecuador no encontraron diferencias significativas en el contenido de COS asociadas a la conversión de los ecosistemas (Buytaert *et al*, 2007; Chacón *et al*, 2009); mientras que otros estudios (también recientes) evidenciaron que la modificación de la cobertura y uso de la tierra desde ecosistemas de páramo hacia pinares puede producir pérdidas alarmantes de C orgánico edáfico (Podwojewski *et al*, 2002; Farley y Kelly, 2004; Farley *et al*, 2004; Henry *et al*, 2012).

Con la información que se dispone actualmente no es posible estimar, si los suelos de la región montañosa de nuestro país, frente a los cambios ambientales que han ocurrido están actuando como sumideros o como fuentes de carbono atmosférico (Sevink *et al*, 2014). A pesar de que existen importantes estudios sobre el COS en los Andes ecuatorianos, éstos aún son escasos, locales y se encuentran dispersos y sobre todo, no está muy claro cómo interactúan los principales factores determinantes del contenido de COS. Así mismo, también son todavía más escasos los estudios sobre ecosistemas andinos ecuatorianos que analicen los efectos del uso de la tierra sobre los componentes biológicos del COS.

No hay estudios sobre ecosistemas andinos ecuatorianos que analicen los efectos del uso de la tierra sobre los componentes biológicos de la materia orgánica del suelo (MOS). Estudiar la actividad biológica del suelo es importante para entender que efectos podrían tener los cambios en la CVUT sobre la funcionalidad del ecosistema. El componente biológico de la MOS está influenciado principalmente por la materia orgánica "nueva" (que procede de la descomposición de restos vegetales y animales; Bremer *et al*, 1995; Ciarlo *et al*, 2004), siendo más fácil apreciar los efectos de los cambios recientes de cobertura vegetal y el uso de la tierra sobre este compartimento (Martínez *et al*, 2008; Apezteguía y Sereno, 2011).

## 1.2 ¿QUÉ ES LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO?

La MOS no son los residuos orgánicos (necromasa) como el mantillo y la hojarasca, ni los restos de animales o microorganismos (Almendros, 2017). La MOS es la sustancia de color oscuro que se encuentra en el seno del suelo (en el horizonte *A* principalmente) y que no es separable de la materia inorgánica del suelo o matriz, ni reconocible su procedencia sea animal o vegetal (Gallardo, 2017). Esta sustancia es un complejo sistema órgano-mineral y un indicador fundamental de calidad y fertilidad del suelo (Manlay *et al*, 2006). Está elaborada a partir de compuestos orgánicos que, a su vez, provienen de la degradación previa de restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos y sus productos de residuo en el ambiente natural (Martínez *et al*, 2008; Schmidt *et al*, 2011).

Las características químicas de la MOS varían en cada tipo de suelo. Sin embargo, de manera general, en la MOS se distinguen una fracción lábil, disponible para los microorganismos como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos) y una fracción húmica, más estable y resistente a la biodegradación, constituida por las sustancias húmicas coloidales (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) y las huminas (Six *et al*, 2000; Six *et al*, 2002; Galantini *et al*, 2002; Martínez *et al*, 2008). MOS y *humus* son sinónimos y están compuestos en su mayoría por sustancias húmicas que son las que precisamente caracterizan la MOS (Gallardo, 2017).

Los ácidos húmicos (AH) son mezclas de macromoléculas de compuestos aromáticos y estructuras alquílicas fundamentalmente saturadas, tienen resistencia a la degradación por miles de años (Mosquera *et al*, 2007; Almendros, 2017). Los ácidos fúlvicos tienen también gran resistencia a la degradación pero en menor medida que los húmicos; son semejantes a los AH, pero están formados de estructuras más sencillas con mayor proporción de constituyentes O alquílicos de tipo carbohidrato y menor peso molecular (Almendros, 2008; Almendros *et al*,

2017). Por su parte las huminas son enlaces muy fuertes entre el C orgánico y las sustancias minerales y son altamente resistentes (Hayes y Clapp, 2001).

El Carbono Orgánico del Suelo (COS) es el elemento fundamental que constituye la MOS; por eso es común que se hable indistintamente de uno u otro (Martínez *et al*, 2008). Cabe indicar que el COS puede ser determinado a partir de métodos analíticos, mientras que la MOS es estimada multiplicando el valor del COS por el factor de van Benmelen, esto es, 1,724 (Jackson, 1964 citado por Martínez *et al*, 2008).

La MOS es el resultado de todo el proceso de degradación, mineralización y humificación de la biomasa que ingresa al suelo (Galantini y Suñer, 2008). Si el ingreso de C en el sistema es mayor al C que sale, existe una acumulación de COS; por otra parte, si el ingreso de C es menor a la salida (respiración, lixiviación) hay una pérdida de MOS que podría llegar a ser irreversible (Guo y Guiford, 2002; Jones *et al*, 2005; Diovisalvi *et al*, 2008). Los ciclos del C de la MOS interactúan e influyen sobre los ciclos de los demás nutrientes (Falkowski *et al*, 2000; Lamarque *et al*, 2005).

### **1.3 ¿POR QUÉ LA MOS ES INDISPENSABLE PARA LA VIDA DE LOS ECOSISTEMAS?**

La MOS es un componente principal de los ciclos biogeoquímicos; por lo tanto, permite el flujo de materia y energía que sostiene la vida de los ecosistemas (Six *et al*, 2002; Fulkosky *et al*, 2008). Además, la MOS influye de forma positiva y de varias maneras, a la estabilidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Schmidt *et al*, 2011). Entre las influencias más importantes cabe destacar que el sistema de moléculas de C que constituye la MOS permite (no directamente de su constitución) dotar de nutrimentos a las plantas (Tiesen *et al*, 1994) debido a que la MOS mejora la estructura y las propiedades hidrofísicas, actuando a modo de puentes entre partículas minerales, lo cual favorece la retención de agua (Saxton y Rawls, 2006; Gallardo, 2017). Es decir, la MOS contribuye directamente a los ciclos de agua, energía y nutrientes de los ecosistemas.

La MOS es una reserva de materia y energía (Odum, 1968). La energía y el C (junto con los nutrientes) que provienen de la biomasa que llega al suelo son procesados, mineralizados y humificados por los microorganismos y, finalmente, una parte se convierte en MOS (Fontaine *et al*, 2003; Six *et al*, 2004). Esta sustancia es una reserva de energía y nutrientes (Cumens, 1993), en donde el C y la energía almacenada pueden durar miles de años antes de ser liberados (Tonneijck *et al*, 2010; Gallardo, 2017).



La MOS también participa en la retención de macroelementos y en la movilización de compuestos, y actúa como un agente de liberación continua de nutrientes (Tiesen *et al*, 1994; Craswell y Lefroy, 2001). La MOS no alimenta directamente a las plantas pero libera elementos, de manera relativamente rápida como es el caso del intercambio iónico (reversible) como Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Sodio ( $\text{Na}^+$ ) o los denominados micronutrientes Hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), Manganeseo ( $\text{Mn}^{2+}$ ), Cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ), *etc.*; y de manera muy lenta como consecuencia de la propia mineralización del N, P y S (Tiesen *et al*, 1994; Gallardo, 2017).

La MOS actúa como un agente cementante de las partículas inorgánicas formando agregados y favoreciendo una estructura grumosa, estable, de alta permeabilidad y muy abundante porosidad (Soane, 1990; Mattus *et al*, 2014). Esto favorece la productividad y sobre todo reduce el potencial de erosión (Guerra, 1994).

La MOS tiene una alta capacidad para adsorber y retener agua y en general es hidrófila (Chenu *et al*, 2000; Six *et al*, 2004) aunque tiene ciertas fracciones hidrófobas (Piccolo y Mbagwu, 1999). La MOS genera microporos que promueven la retención de agua (Rawls *et al*, 2003). Los microporos retienen el agua por capilaridad (Kirchmann y Gerzabek, 1999), lo que facilita la difusión del líquido vital en todos los sentidos direccionales (Gallardo, 2017).

La MOS ayuda a controlar la contaminación del suelo y permite la destoxificación del sistema a través del bloqueo de compuestos tóxicos (Pérez-Novo *et al*, 2008; Zhang *et al*, 2013). Esto es debido a que tiene la capacidad de absorber e inhabilitar los principios tóxicos de las moléculas orgánicas o de los metales pesados al interactuar con ellos (Sauvé *et al*, 1997; Castaldi *et al*, 2005).

Produce aumento de la capacidad de absorción solar del suelo (Johnson *et al*, 1995; Zbytniewski y Buszewski, 2005). La MOS oscurece al suelo, lo que hace que se absorban los rayos del sol con mayor intensidad, que exista menor albedo y mayor calentamiento edáfico disminuyendo así el riesgo de las heladas puntuales y favoreciendo la actividad microbiana (McCauley *et al*, 2009; Gallardo, 2017).

La MOS participa en la alteración de las rocas (Drever y Vance, 1994; Alexandre *et al*, 1997). Por tener un carácter ácido libera protones capaces de hidrolizar los minerales que constituyen las rocas existentes que generan el suelo (Kelly *et al* 1998; Rodríguez-Tapia *et al*, 1999; Dahlgren *et al*, 2004). Esto favorece la productividad por la incorporación de nuevos nutrientes minerales en el sistema (Rao *et al*, 1992; Bain *et al*, 1993).

La MOS fija de  $\text{CO}_2$  atmosférico (Jenkinson y Rayner, 1977; Liski *et al*, 1999) y tiene un elevado contenido de C bioestable (44 a 55%; Gallardo, 2017). Esta estabilidad permite

mantener capturado el C en el suelo y retirarlo de la atmósfera y de esta manera contribuir de forma paliativa a disminuir el constante incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y con ello influir de manera positiva en el cambio climático (Lal *et al*, 2004; Almendros, 2017).

La MOS tiene un alto poder amortiguador del suelo por su resiliencia físico química (debido a la CIC) y microbiológica (Zhang *et al*, 2005; Fitter *et al*, 2005; Schmidt *et al*, 2011). Ayuda a que el suelo resista los impactos que pudiera recibir (Zhang *et al*, 2005; Moreno *et al*, 2009). Favorece también el incremento de la biodiversidad siendo la fuente de energía y nutrientes para los microorganismos que transforman la materia y sus predadores (Havlicek y Mitchell, 2014). La MOS es la fuente de energía que permite el arranque biológico a partir del cual se establecen las cadenas tróficas (Gallardo, 2017).

#### **1.4 PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EDÁFICOS EN LA MOS**

A pesar de ser una fracción pequeña y difícil de separar de la MOS (biomasa inferior al 2%, en ocasiones al 5%; Gallardo, 2017) no podría haber MOS ni ciclos biogeoquímicos sin la existencia de los microorganismos edáficos (Falkowski *et al*, 2008). La MOS es el resultado de la actividad biológica de los microorganismos del suelo que participan en los procesos de degradación, mineralización y humificación de las sustancias orgánicas (Nishiyama *et al*, 2001; Niamperri y Badalucco, 2003; Fontaine *et al*, 2007).

La trituración de los residuos orgánicos que llegan al suelo (vegetal y animal) es realizada por la mesofauna edáfica y los factores ambientales (Socarrás, 2013). Luego la microbiota de bacterias y hongos continúan el proceso de degradación; los microorganismos descomponen las moléculas orgánicas y se produce la mineralización de MOS, la pérdida de CO<sub>2</sub>, la liberación de nutrientes para la disposición de plantas y los primeros productos procesados si es el caso (Gallardo *et al*, 2009). La humificación, por su parte, ocurre en mínima cantidad; aquí los microorganismos transforman la materia procesada varias veces y a diferentes velocidades y de manera no uniforme, de tal suerte que los residuos orgánicos se transforman en una masa de estructura irregular y polimorfa de moléculas de C (Olk *et al*, 1995; Bautista-Cruz, 2004). En los procesos de humificación se observan dos tipos de mecanismos donde participan los microorganismos y que ocurren a la vez: a) La alteración de MOS poco transformada; y b) La neoformación de compuestos orgánicos (Blankinship *et al*, 2016; Almendros, 2017). En los mecanismos de alteración los microorganismos participan directamente en: (1) los procesos de alteración microbiana de las ligninas (por fijación de residuos nitrogeandos) y (2) la diagénesis de biomacromoléculas lipídicas (cutinas y siberinas o sustancias tipo botriocanos producidas por *cianobacterias*) (Degens, 1967; Sollins *et al*,

1995; Nannipieri *et al*, 2002). Mientras que los mecanismos de neoformación los microorganismos participan en: (i) los procesos de biosíntesis microbiana de productos extracelulares o melaninas (macromoléculas sintetizadas por hongos pigmentados, actinomicetos y determinadas cianobacterias) y (ii) la condensación enzimática extracelular de compuestos sencillos (Bollag *et al*, 1997; Jastrow *et al*, 2007).

Los principales grupos de microorganismos que participan en los diferentes procesos de la MOS son bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos (Visser y Parkinson, 1992; Zogg *et al*, 1997; Horwath, 2007). Por su parte, los principales grupos de mesofauna que intervienen en la trituración de la necromasa son las lombrices de tierra, nematodos y otros organismos edáficos como artrópodos (Domínguez *et al*, 2009; Socarrás, 2013).

Kennedy en 1998 (citado por Hawkes, 2003) estimó que en un gramo de suelo existen cerca de mil millones de organismos. Por su lado, Brady (1990) estimó la biomasa de los grupos de microorganismos del suelo de la siguiente manera: La biomasa de bacterias es similar a la de actinomicetos y en la capa superficial del suelo puede ser de 450 a 5.000 kg de peso vivo (Pv) por ha, la biomasa de hongos puede estar entre 1.100 a 12.000 kgPv/ha y la biomasa de la de algas y protozoos podría estar entre 50 a 600 y 15 a 200 kgPv/ha respectivamente.

Gallardo (2017) indicó que las acciones fundamentales en el suelo por parte de los microorganismos (las cuales permiten la vida terrestre) son:

1. Descomposición de la materia animal o vegetal y los residuos orgánicos, lo que produce liberación de CO<sub>2</sub> y nutrientes (mineralización).
2. Elaboración o conformación de sustancias húmicas.
3. Mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos con los mucílago.
4. Solubilización de nutrientes a partir de formas insolubles (minerales primarios, complejos orgánicos).
5. Fijación de N atmosférico por los microorganismos en simbiosis con leguminosas y otras plantas, lo cual es fundamental para la supervivencia del planeta.
6. Mejoramiento de la nutrición vegetal mediante la formación de micorrizas.
7. Control de la presencia de organismos patógenos.
8. Competencia con las plantas por los bioelementos.

Por su parte, el rol de los grupos taxonómicos de microorganismos edáficos y los géneros más representativos, son los siguientes:

Las bacterias- Tienen una gran variedad de funciones en el suelo. En general, descomponen los substratos compuestos de C simple como las exudaciones de las raíces y los residuos frescos de las plantas (Zapata *et al*, 2004; Hättenschwiler *et al*, 2005) y son especialmente importantes por la inmovilización y retención de nutrientes en sus células (Heritage *et al*, 1999). Los desechos producidos por las bacterias se convierten en materia orgánica poco procesada. Este desecho es más resistente a la descomposición que el material original de plantas y animales, pero puede ser usado por un gran número de organismos (Killham y Prosser, 2007).

Su tamaño puede variar entre 0,5 y 5  $\mu\text{m}$  de longitud; y sus diversas formas incluyen filamentos, esferas, barras, espirales y hélices. Las bacterias del suelo pueden ser aerobias estrictas, anaerobias facultativas, microaerófilas o anaerobias estrictas (Palleroni, 1984; Powlowsky y Shingler, 1994). Determinados suelos pueden favorecer poblaciones bacterianas con un metabolismo particular (Killham *et al*, 1993). Entre los géneros más frecuentes de bacterias del suelo se encuentran *Acinobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Caulobacter*, *Cellulomonas*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* y *Xanthomonas* (Killham y Prosser, 2007).

Las bacterias de género *Bacillus*, *Cellulomonas* y *Pseudomonas* participan en la descomposición de celulosa (Kelley *et al*, 1993; Selifonov *et al*, 1993); por su parte bacterias de los géneros *Arthrobacter*, *Flavobacterium* y *Pseudomonas* participan en la degradación de lignina (Killham, 1994). Entre otras de las funciones más conocidas de las bacterias en el suelo, se puede indicar que especies como *Azotobacter*, heterótrofo de vida libre, son capaces de convertir el N atmosférico en formas fijadas de nitrógeno (Escobar *et al*, 2011). Especies anaerobias de *Clostridium* también pueden fijar N del suelo, mientras que especies como *Rhizobium* y *Bradyrhizodium*, fijan nitrógeno atmosférico dentro de los nódulos de las raíces de determinadas plantas (Baca *et al*, 2000; Peña y Reyes, 2007; Pérez-Cordero *et al*, 2014).

Algunas especies de bacterias como *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* y *Xanthomonas*, suelen llegar al suelo junto con material vegetal infectado (Kado y Heskett, 1970; Alippi *et al*, 2011).

Los Actinomicetos- son también bacterias pero debido a su morfología micelial y a la producción de esporas en su cuerpo, tradicionalmente fueron considerados como un grupo intermedio entre bacteria y hongo (Neergaard, 2005; George, 2011). Los Actinomicetos en el suelo son particularmente especializados en descomponer los residuos orgánicos, incluidos substratos complejos como son la quitina y la hemicelulosa, particularmente bajo condiciones

adversas con pH elevado y condiciones de estrés de agua y temperatura (Goodfellow y Williams, 1983; Neergaard, 2005). Se ha visto que los Actinomicetos son capaces de controlar otras especies de microorganismos como bacterias (George *et al*, 2011) y hongos (Jayasinghe y Parkinson, 2008).

Los actinomicetos Gram positivos aerobios que forman micelios ramificados, degradan los restos vegetales y animales, polímeros complejos e hidrocarburos y mantienen el suelo suelto y desmenuzado (Williams *et al*, 1971). Las bacterias y actinomicetos Gram negativos son incapaces de utilizar los compuestos húmicos, pero muestran una actividad intensa y un crecimiento rápido sobre sustratos fácilmente utilizables que están disponibles en forma de manto vegetal, excrementos de animales y restos de animales muertos (Conn, 1916; Williams y Mayfield, 1971; Khan y Williams, 1975).

Los hongos- Descomponen los residuos orgánicos más resistentes, liberando de dióxido de C y reteniendo en el suelo los nutrientes obtenidos bajo forma de biomasa de hongos (Zelles *et al*, 1995; Thorn y Lynch, 2007). El material menos resistente es descompuesto primero, mientras que el material más resistente como la lignina y las proteínas, es descompuesto en varias etapas (Rousk *et al*, 2010). Muchos de los productos de desechos secundarios son ácidos orgánicos; por ello, los hongos ayudan a incrementar la acumulación de MOS rica en ácidos húmicos, resistentes a una degradación posterior (Warcup, 1951; Thorn y Lynch, 2007). Gracias a su gran tolerancia a la acidez, comparado con las bacterias heterótrofas, la descomposición de los residuos orgánicos en suelos ácidos es en su mayoría realizada por hongos (Zapata, 2004).

En el suelo la mayoría de los hongos son aeróbicos heterótrofos, algunos pueden ser anaeróbicos y se encuentran en condiciones con exceso de agua (Ritz y Young, 2004). Los hongos están divididos en 5 grupos principales, todos los cuales ocurren en el suelo; son saprofitos o patógenos de plantas e insectos (Neergaard, 2005), estos son Chitridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota y Basidimycota (Thorn y Lynch, 2007; Taylor *et al*, 2014). Un grupo adicional es Oomycota no es un verdadero hongo, pero por sus características similares algunas veces es clasificado como hongo (Rossman y Palm, 2006; Beakes *et al*, 2014). Los géneros más comunes son: *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Alternaria* y *Rhizopus* (Garret, 1951).

Las algas y cianobacterias- Forman costras en la superficie de los suelos desnudos de vegetación y contribuyen así a la estabilización del suelo (Hoffmann, 1989; Hawkes, 2003). Las algas se encuentran en pequeña cantidad, no contribuyen de manera significativa a la fertilidad del suelo, excepto en los arrozales, donde las cianobacterias fijan grandes cantidades

de N (Irisarri *et al*, 1999; Carbajal *et al*, 2000; Sánchez *et al*, 2011). Entre los géneros más conocidos de este grupo están *Nostoc*, *Anabaena*, *Tolypothrix*, *Scytonem*, y *Cylindrospermum* (Metting, 1981; Isiarri *et al*, 1999; Prasanna y Nayak, 2007).

Los protozoos.- Aunque son poco importantes en cuanto a número e impacto en las transformaciones bioquímicas, desempeñan un papel importante como consumidores de bacterias, hongos y algas, regulando el tamaño y la composición de su población (Vargas y Hatori, 1986; Ekelund, 1998; Bonilla-Correa *et al*, 2002). En los suelos agrícolas, los protozoarios son los mayores productores del N disponible para las plantas (Griffiths, 1994). Entre el 40 y el 80 % del N de las plantas puede provenir de la interacción predador-presa de protozoarios con bacterias (Ingham, 2004). El N liberado por los protozoarios está en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y, de este modo, fácilmente disponible para las raíces de las plantas y otros organismos (Clarholm, 1985; Horman, 2011). Probablemente sólo se conocen un 10 % de las especies de protozoos del suelo (Foissner, 1994). Algunos de los generos y especies más comunes de protozoos micofagos del suelo son, por ejemplo, *Drechmeria coniospora*, *Protaspis simplex*, o *Cercomonas crassicauda* (Ekelund, 1998).

Otros organismos. Los nematodos (1-1.5 mm) tienen un menor contenido de N que los protozoos pero pueden influir de manera significativa sobre la disponibilidad del mismo (Brussaard, 1997; Horman, 2011). Los nematodos al alimentarse de bacterias y hongos, liberan N en forma de  $\text{NH}_4^+$ , haciéndose este disponible para el crecimiento de las plantas y de otras especies del suelo (Ingham *et al*, 1985; Neher, 2001). Los nematodos del suelo son un grupo taxonómico muy diverso; se han descrito más de 100.000 especies (Brussaard, 1997). Dentro del grupo de bacteriófagos se han descrito nematodos de las familias Cephalobidae, Diplogasteridae, Diploscapteridae, Monhysteridae, Panagrolaimidae, Plectidae, Pristomatolaimidae y Rhabditidae; mientras que dentro de fungívoros se han descrito nematodos de los generos *Aphelenchus*, *Aphelenchoides* y de las familias Diphtherophoridae y Tylencholaimellidae (Azpilicueta *et al*, 2008).

## **1.5 INFLUENCIA DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA SOBRE LA MOS**

El cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra puede tener efectos negativos o positivos sobre la MOS, debido principalmente a que la pérdida de biomasa (o el cambio en la cantidad y calidad de esta) afectan los posteriores procesos de descomposición y acumulación del C en el suelo (Lal, 2003; Lal *et al*, 2004). Además de ello, el cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra pueden afectar a las actividades biológicas, la estructura física y las

condiciones bioquímicas del suelo, produciendo también cambios en la descomposición de la necromasa y causando la redistribución de la MOS (Hamer *et al*, 2009; Potthast *et al*, 2012; Tischer *et al*, 2014).

Los efectos del CVUT sobre la MOS pueden ser negativos cuando el ingreso de C al suelo (producto de la incorporación de necromasa) es menor que el que se pierde por la respiración de los microorganismos (situación frecuente en los trópicos), tal como se ha documentado en varios estudios que analizan el impacto del cambio de cobertura vegetal propia de los sistemas naturales hacia pastizales, cultivos o plantaciones (Priess *et al*, 2001; Farley *et al*, 2004; Huygens *et al*, 2005; Berthrong *et al*, 2009; Farley *et al*, 2013). Por su parte, los efectos pueden ser positivos cuando el ingreso de C al suelo es mayor a la cantidad de C que se pierde por la respiración microbiana (mineralización). Así por ejemplo, se ha visto que el cambio de sitios degradados por la agricultura hacia pastizales, plantaciones y regeneración natural puede ocasionar un aumento de los almacenes de COS (Deng y Tabatabai, 1996; Huygens *et al.*, 2005; Laganriere *et al*, 2010)

El papel del suelo como fuente o almacén de C es el resultado tanto de los flujos de C como de su tiempo de residencia (Six *et al*, 2000; Wang y Hsieh, 2002; Fontaine *et al*, 2007). El balance final de C, es decir, la diferencia entre el C que ingresa al sistema y el que sale por la respiración de los microorganismos (principalmente) no sólo depende de la cantidad y calidad de la biomasa (aérea y subterránea) que producen las especies vegetales, sino también del proceso de transformación (oxidación) de la MOS realizado por los microorganismos (Van Veen y Kuikman, 1990; Zech *et al*, 1997; Matus *et al*, 2014), el cual generalmente es un proceso de deshidrogenación donde la actividad de las enzimas oxidoreductasa deshidrogenasa es la que predomina en cada célula microbiana viable (Bautista-Cruz *et al*, 2004; Acosta y Paolini, 2005; Pajares *et al.*, 2009; Pajares-Moreno *et al.*, 2010). Este proceso puede llegar a ser alterado si la perturbación ocurrida sobre el ecosistema ocasiona cambios en la composición y funcionamiento de las comunidades microbianas del suelo (Lupwayi *et al*, 1999; Bending *et al*, 2000; Lupwayi *et al*, 2001).

Las alteraciones de la actividad biológica del suelo (producto de las perturbaciones físicas y químicas del cambio de CVUT) pueden producir cambios en el tiempo de residencia del COS y en la proporción entre los diferentes tipos de almacenes de la MOS (pasivo, lento y activo) (Nishiyama *et al*, 2001; Marschnera y Kalbitz, 2003; Potthast *et al*, 2012). Por ello, los cambios en las comunidades microbianas y su funcionamiento, pueden servir como un indicador temprano del efecto que el cambio de uso de la tierra y cobertura vegetal puede

llegar a tener sobre las condiciones del suelo (Bending, 2000; Margesin *et al*, 2000; Gil Stores *et al*, 2005).

## **1.6 FACTORES QUE CONTROLAN LA ACUMULACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO**

La acumulación de la MOS depende de tres factores principales que son el clima, la roca madre y la edad de los suelos (Poulenard *et al*, 2003; Buytaert *et al*, 2007; Tonnejick *et al*, 2010). Sin embargo, las condiciones ambientales específicas pueden gobernar los procesos de formación de los suelos (Zehetner *et al*, 2003). En los Andes ecuatorianos las condiciones de frío y humedad de las altas montañas favorecen la acumulación de MOS y una evolución más lenta del suelo (Podwojewski y Poulenard, 2004). Esta acumulación posiblemente va aumentando en las posteriores etapas juveniles del suelo hasta llegar a mantenerse en un nivel máximo por grandes períodos de tiempo (Zehetner *et al*, 2003).

### 1.6.1 Condiciones climáticas y altitud

Las condiciones climáticas son el principal factor que influye en la acumulación de la MOS (Jobbagy y Jackson, 2000; Kawahigashi *et al*, 2003; Podwojewski y Poulenard, 2004). La disminución de la temperatura está asociada con la altitud y afecta directamente el contenido de COS (Koch *et al*, 2007; Nierop *et al*, 2007; Soethe *et al*, 2007); se sabe que a mayor altitud la descomposición y mineralización de la MOS es mucho más lenta debido principalmente al efecto que tiene la disminución de temperatura sobre la actividad biológica del suelo (Joergensen y Castillo, 2001; De Forest, 2009; Wallenstein *et al*, 2009). Por otro lado, la producción y acumulación de MOS también depende de la humedad ambiental; por ello, en sitios de montaña con mayor humedad y/o menor evapotranspiración se ha registrado mucha mayor acumulación de MOS que en sitios más secos (Campos *et al*, 2001; Broquen *et al*, 2005).

### 1.6.2 La roca madre

La roca o elemento sobre el que actúan el resto de los factores formadores para desarrollar el suelo se suele denominar material parental u originario (Badía *et al*, 2013).

Si bien se ha visto que un mismo tipo de roca, bajo diferentes condiciones del medio (en especial humedad y temperatura), puede dar lugar a suelos con distintas características (suelos intrazonales) y que, por otro lado, rocas diferentes bajo un clima suficientemente energético y actuando durante un tiempo suficientemente prolongado puede dar suelos similares (Badía *et al*, 2013). También es muy reconocido que el origen de material parental sobre el



cual se desarrollan los suelos puede ser un factor determinante en la acumulación de la MOS (Bockheim, *et al*, 2005; Chapin *et al*, 2011; Hall *et al*, 2012). Se sabe, por ejemplo, que los suelos de origen volcánico reciente son (después de los Histosoles) los que acumulan las mayores cantidades de COS (Eswaran *et al*, 1993; Shoji *et al*, 1993; Nanzzyo *et al*, 1993), por su alto contenido en fracciones arcillosas (entre ellas alofanas) que no existen en los suelos derivados de otros materiales parentales (Dahlgren *et al*, 2004).

En la Sierra ecuatoriana encontramos dos áreas totalmente distintas que diferencian el origen del material parental de los suelos: Las zonas sometidas a las actividades volcánicas recientes y las zonas que no han tenido esa actividad (Hall y Calle, 1982; Hörmann y Pichler, 1982; Buyatert *et al.*, 2006).

Las zonas sometidas a las actividades volcánicas del Cuaternario reciente, presenta varias formas de depósitos volcánicos como lavas, flujo piroclásticos, lahares, *etc.*; sin embargo, la forma dominante que cubre la mayor parte de los páramos son depósitos de cenizas, lapillis y piedra pómez (Robin *et al* 1997; Mothes *et al*, 1998). Estos depósitos tienen gran alterabilidad (Podwojewski y Poulenard, 2004).

Las zonas de material de origen no volcánico están compuestas de varios tipos de rocas, generalmente de tipo sedimentario con intercalación de eventos volcánicos antiguos y rocas metamórficas, como en el Sur del país (Lavenu *et al* 1995; Hungerbuhler *et al* 2002). Su alteración es mucho más lenta que el de las cenizas volcánicas y puede contener arcillas por herencia y la cantidad de minerales alterables va a determinar la evolución del suelo (Podwojewski y Poulenard, 2004).

Los compuestos de hierro y el aluminio, que son predominantes en los depósitos de cenizas, juegan un papel fundamental en la acumulación de la MOS (Campos *et al*, 2001; Rodríguez *et al*, 2006; Peña-Ramírez *et al*, 2009). La rápida intemperización (alteración biogeoquímica) del material volcánico da como resultado una serie de mecanismos por los cuales los sequioxidos hidratados de Fe y Al influyen sobre la dinámica, evolución y estabilización de la MOS (Nanzzyo *et al*, 1993; Nanzzyo, 2002; Buytaert *et al*, 2006). Pueden actuar de las siguientes maneras (Barral *et al*, 1997):

- (a) Formando complejos organometálicos que se hacen insolubles al aumentar su carga metálica
- (b) Favoreciendo la formación de complejos arcillohúmicos actuando como nexo de unión entre los minerales de arcilla y las moléculas orgánicas
- (c) Como óxidos sobre cuyas superficies pueden adsorber directamente la MOS

- (d) Catalizando las reacciones de oxidación y polimerización de la MOS que conducen a la formación de compuestos húmicos más estables
- (e) Favoreciendo la agregación del suelo, lo que tiene como consecuencia que la MOS ocluida en el interior de los agregados de alta densidad queda protegida frente al ataque de los microorganismos
- (f) En el caso del aluminio, ejerciendo efectos tóxicos sobre los microorganismos, con lo que se frena su actividad y, por tanto, la degradación de los compuestos orgánicos
- (g) Ralentizando su degradación. Las combinaciones de Al y Si en compuestos de tipo alófana de bajo grado de orden asociadas a la MOS, los complejos órgano-alumínicos y las asociaciones de hidróxidos de Al no cristalinos con material orgánico, retardan la transformación de la MOS por su naturaleza recalcitrante.

En el proceso de formación del suelo si no se integra todo el Fe y Al (que proceden de las cenizas volcánicas) a los complejos orgánicos el restante puede coprecipitarse con el Si dando lugar a alófanos de composiciones variables, a menudo en asociación con imogolita (Takahashi y Shoji, 2002). Parece ser que la alófana y la imogolita son estables en condiciones poco ácidas o neutras ( $\text{pH} > 5,0$ ) mientras que los complejos Al-Fe-húmicos, por su parte, prevalecen en ambientes más ácidos (Dahlgren y Saigusa, 1994; Dahlgren *et al*, 2004)

Los Andosoles ácidos no alofánicos tienen una capacidad de fijación de COS más alta que los alofánicos (Saigusa y Matsuyama, 1998; Aran *et al*, 2001) y, además, sus almacenes de COS son más resistentes debido a que los complejos organometálicos de Al y Fe proporcionan una protección química y física al COS, al mismo tiempo que la MOS impide que el Al y Fe se cristalicen (Boudot, 1992).

Por su parte, también se ha evidenciado una mayor estabilización de C en relación con el incremento del contenido de minerales de bajo orden estructural (Basile-Doelsch *et al*, 2005; Kleber *et al*, 2005), así como una reducción de la tasa de descomposición de la MOS por su adsorción a los minerales de arcilla (Saggar *et al.*, 1994; Miltner y Zech, 1998).

Cuando ocurre la liberación de Al y Fe (productos de la evolución del suelo y de la pérdida de Si) se pueden formar un tipo de óxidos (cuyas superficies pueden adsorber directamente la MOS) denominados sesquióxidos (Acevedo-Sandoval *et al*, 2014; Mejía y Bravo, 2014); éstos contienen tres átomos de oxígeno con dos átomos del elemento metálico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). El efecto protector de los sesquióxidos sobre el COS puede ser relativamente fuerte y es comparable al efecto de las alófanos (Boudot *et al*, 1986). Los sesquióxidos son compuestos autogénicos; es decir, son compuestos minerales formados a partir de compuestos

químicos reciclados (Taboada-Castro *et al*, 1999). Están presentes por lo general en suelos ácidos muy evolucionados en donde se ha formado horizontes óxicos (Varajão *et al*, 2007).

### 1.6.3 La edad de los suelos

La edad de la capa de cenizas volcánicas y la sucesión de las capas condicionan el grado de evolución de los suelos y por tanto, también el contenido de MOS en ellos (Chorover *et al*, 2004; Podwojewski y Poulénard, 2004). Generalmente los suelos volcánicos son muy jóvenes y, contrariamente a todos los otros tipos de suelo, se rejuvenecen en su parte superior con cada caída de cenizas, mientras que los otros tipos de suelos es la parte superior la que siempre evoluciona más (Colmet-Daage *et al*, 1969; Ugolini y Dahlgren, 2002).

La evolución de cada capa de cenizas volcánicas depende del tiempo de exposición a los eventos climáticos que afectan la parte superior del suelo (Quantin *et al*, 1991; Walker *et al*, 2010). Por lo general, los suelos volcánicos jóvenes (es decir, con poco a mediano tiempo de exposición a los factores climáticos) presentan mayores cantidades de COS que los suelos más viejos (Quantin *et al*, 1991; Peña-Ramírez *et al*, 2009).

En zonas de origen volcánico la acumulación de MOS producto de la evolución de los suelos empieza a ocurrir a partir de una determinada edad; luego alcanza su máximo nivel; después se mantiene y finalmente empieza a disminuir (Crews *et al*, 1995; Chorover *et al*, 2004). Sin embargo, a pesar de cumplir con ese patrón general el tiempo de formación de los suelos volcánicos (como es apreciable) no influye de la misma manera en todos los lugares: así por ejemplo, en un estudio realizado en México se evidencia como la acumulación de COS se incrementa con la edad entre los 2.000 y 10.000 años de antigüedad ( $43,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$  cada 1.000 años) y disminuye en un 3% entre los 10.000 y 30.000 años (Peña-Ramírez *et al*, 2009). Mientras que en otro estudio realizado en Ecuador se observa como la composición de la fracción coloidal se mantiene igual en suelos volcánicos de 3.000 y 40.000 años de formación (Zehetner *et al*, 2003).

## **1.7 ESTADO DE CONSERVACIÓN E HISTORIA DEL USO DE LA TIERRA EN LA REGIÓN ALTO-ANDINA DE ECUADOR**

En Ecuador el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6% del territorio nacional (Medina y Mena, 2001). Sin embargo, existen también otras 800.000 ha de superficie transformada o degradada por encima de los 3.000 m s.n.m. (Hofstede *et al*, 2002a). Se estima que entre el 80 y 85% de los hábitats nativos de la región

andina de Ecuador han desaparecido y han sido transformados en otros ecosistemas (Zapata y Branch, 2014).

Actualmente tres cuartas partes de todos los páramos naturales están dominados por pajonales y prácticamente todos sufren algún grado de intervención humana (Hofstede, 2004). Pero los grados de intervención no son homogéneos; a lo largo de los páramos ecuatorianos existe un mosaico de diferentes estados que van desde bien conservado hasta muy degradado. Mena y Hofstede, (2006). Hofstede *et al* (2002a) estimaron que la mitad de todos los páramos de pajonal tiene un bajo estado de conservación y apenas una décima parte está en buen estado de conservación. El estado de conservación de los páramos del norte, del sur y del oriente es mejor que el de los páramos centrales y occidentales (Coppus *et al*, 2001).

La utilización de los páramos ecuatorianos se remonta a tiempos preincaicos (Ramón, 2002). Desde hace al menos 3.500 años el páramo ha sido usado para actividades agropecuarias y para la extracción de leña (White y Maldonado, 1991). Los usos tradicionales incluían el pastoreo ligero con camélidos sudamericanos, cultivo de tubérculos andinos y crianza de animales pequeños como el cuy (Hofstede, 2001). En la época de la colonia aumentó la presión sobre el páramo por la mayor extracción leña para construcción y el arribo de nuevos cultivos y animales domésticos (aparecieron especies como vacas y caballos, y sobre todo se criaron grandes rebaños de oveja para producción de lana) (Mena y Hofstede, 2006).

Hace no tanto tiempo, otro episodio importante que provocó considerables consecuencias sobre el páramo (aumento en la extensión y la intensidad de los cultivos y la ganadería), fue la aplicación de las políticas de reforma agraria que ocurrió entre 1960 y 1970 (Hofstede *et al*, 2002a). Aunque no se tiene cifras de su superficie, es muy conocido que entre los mayores usos que se le ha dado al páramo, están la cría de ganado lechero y la agricultura (cebada, habas y papas) para subsistencia local (Gondard, 1976; Bretón, 2008; Potthast *et al*, 2012b). Estas actividades se han desarrollado a través de prácticas de quema para la conversión en pastos, principalmente, a expensas de los bosques montanos y el páramo (Chacón *et al*, 2015). Esta transformación ha traído graves consecuencias sobre los suelos y los ecosistemas; por ejemplo, en algunas zonas de los Andes ecuatorianos se ha estimado que áreas transformadas en pastos y agricultura tendrían tasas de erosión de hasta  $936\text{Mg ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$  (Ochoa-Cueva *et al*, 2013). Por su parte, Chacón *et al* (2016) sugirieron que los suelos de los ecosistemas Alto-Andinos perturbados presentan importantes deficiencias de nutrientes (P, K, Ca y Mg) para la productividad agrícola, sobre todo los sitios con CVUT de pino; particularmente señalaron que los suelos de diferentes tipos de CVUT (Pastizal, Pino y

Bosque montano) de la sierra sur de Ecuador no pueden soportar la producción de quínoa (especie nativa andina) sin fertilización combinada (esencialmente con P y K).

Las alteraciones recientes del páramo incluyen actividades mineras, construcción de infraestructuras (vías, acueductos, sistemas de drenaje y represas) y forestación con especies exóticas (Young 1994; Hofstede *et al*, 2002b). Se conoce, por ejemplo, que entre 1994 y 1998, con el fin de fijar CO<sub>2</sub> atmosférico, se plantaron al menos 16.307 ha con especies exóticas entre los 2.450 y 3.750 m s.n.m. en las provincias andinas de Carchi, Imabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja (Jara, 2005). Las especies plantadas fueron: *Pinus patula* (59.3%), *P. radiata* (35%) y *Eucalyptus globulus*, *E. saligna* y *Crupesus macrocarpa* (5.7%). La especie *P. patula* obtuvo su mayor productividad en las provincias centrales de Chimborazo y Cotopaxi, en suelos volcánicos jóvenes un poco más secos; mientras que, en las provincias del sur de Cañar, Azuay y Loja, las dos especies de pino (*P. patula* y *P. radiata*) alcanzaron valores bajos de productividad (Jara *et al*, 2001).

En terminos generales, entre 1990 y 2000 la tasa anual de cambio de uso de suelo para la región Alto-Andina de Ecuador fue -0.68%, mientras que la deforestación anual promedio fue de 1895 ha (MAE, 2012). Sin embargo, en algunos lugares el ritmo de cambio de la cobertura vegetal y del uso de la tierra (CVUT) es mucho más alto y sigue aumentando constantemente; por ejemplo, en la cuenca del Paute (provincias de Azuay y Cañar) entre 1991 y 2000 se transformaron 40.000 ha y otras 11.000 fueron abandonados por pérdida de fertilidad de los suelos (Minga *et al*, 2003 citado por Moscol y Cleef, 2009); mientras que en la cuenca del río Chambo (provincia del Chimborazo) entre 1979 y 2014, la extensión de páramo se redujo de 63.073 ha a 54.733 ha (Ross *et al*, 2017). En la cuenca del río Zamora Huayco la tasa de deforestación fue de 0,94 % cada año entre 1976 y 2001.

## **CAPITULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS**



## **2.1. OBJETIVOS**

### **2.1.1 Objetivo general**

Evaluar en los Andes ecuatorianos el efecto de la Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra (CVUT) sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo (MOS), utilizando como indicadores el Carbono Orgánico del Suelo (COS) y la actividad biológica del suelo, en diferentes escenarios edáficos.

### **2.1.2 Objetivos particulares**

Determinar el efecto de la CVUT sobre el COS (contenido y relación C/N) y la actividad biológica del suelo en gradientes de:

- a) Condiciones climáticas (asociadas a la altitud)
- b) Influencia de cenizas volcánicas
- c) Edades de formación geológica del suelo (evolución)
- d) Grado de perturbación

## **2.2. HIPÓTESIS**

### **2.2.1. Hipótesis General**

En los Andes ecuatorianos el efecto de la Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra (CVUT) sobre el contenido y calidad del COS, el COL y la actividad biológica del suelo es función de las condiciones altitudinales (y climáticas asociadas), intensidad de perturbación, edad del suelo e influencia de las cenizas volcánicas

### **2.2.2 Hipótesis Particulares**

El efecto de la CVUT sobre el COS (contenido y relación C/N) y la actividad biológica del suelo:

- i. Es mayor, en sitios con menor promedio de precipitación anual, mayor temperatura ambiental y menor altitud
- ii. Es mayor sobre sitios con menor influencia de cenizas volcánicas
- iii. Es mayor en sitios con suelos más evolucionados
- iv. Es mayor en sitios con mayor grado de perturbación





## **CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**



### 3.1 SISTEMA ECOLÓGICO DE ESTUDIO

#### 3.1.1 Región Alto-Andina de Ecuador

La Región Andina o Sierra de Ecuador (Sauer, 1965) comprende la sección de Cordillera de los Andes que atraviesa ese país, se extiende desde la frontera norte con Colombia hasta la frontera sur con Perú (Figura 3.1.1; Figura 3.1.2). Forma parte del sistema ecológico Andes Húmedos Norte-centrales (North-Central Moist Andes; Josse *et al*, 2009). En esta región (aunque existe gran variación) el piso bioclimático denominado altoandino se encuentra generalmente en el rango altitudinal que va de los 3.000 hasta los 4.000 m .s.n.m. (Acosta-Solís, 1984; Mena y Hofstede, 2006; Beltrán *et al*, 2009), siendo el ecosistema dominante el “Pajonal Altimontano y Montano Paramuno” o mayormente conocido como páramo (Josse *et al*, 2009).

Los páramos constituyen un tipo de comunidad fisonómicamente bien definida de los altos Andes, caracterizados por su elevado nivel de especiación autóctona (Cleef *et al*, 1993; Luteyn *et al*, 1999; Morales-Betancourt y Estévez-Varón, 2006). Para Podwojewski (1999) la característica común de estas praderas de altitud es la presencia de matas (comunidades vegetales) dominadas por especies herbáceas altas como *Stipa ichu*, *Calamagrostis sp.*, *Festuca sp.*, que forman una cobertura vegetal cercana al 100 %. Según Baquero *et al* (2004) el rango promedio de las variables biofísicas donde se desarrolla el páramo ecuatoriano es: Déficit hídrico de 0 a -5 mm año<sup>-1</sup>, altitud media de 3.662 m s.n.m., pendiente de 9°, 4 meses secos, temperatura mínima anual de 4°C, temperatura máxima anual de 13°C, precipitación anual de 722 mm a<sup>-1</sup> y potencial de evapotranspiración de 820 mm a<sup>-1</sup>. La superficie del piso altitudinal de los ecosistemas de páramo en el Ecuador asciende a 18.434,77 ha, es decir, aproximadamente un 7% del territorio nacional (Beltrán *et al*, 2009).



Figura 3.1.1. Fotografía satelital del subcontinente de América del sur y la cordillera de los Andes. A la izquierda el océano Pacífico. El corchete indica la Región Andina de Ecuador (Fuente: NASA, 2014).

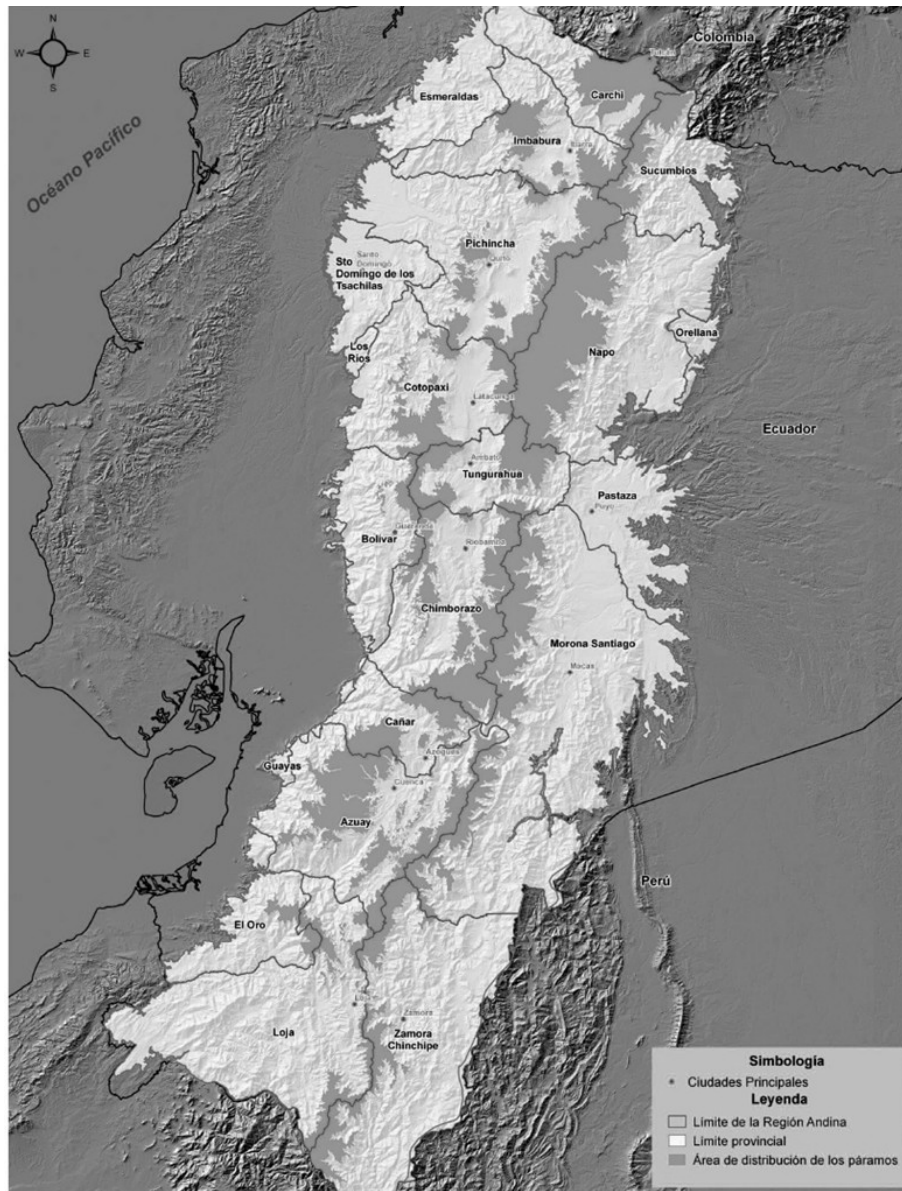


Figura 3.1.2. Mapa de los páramos alto-andinos (en gris) y la región sierra de Ecuador (Fuente Beltrán *et al*, 2010).

La Región Andina ecuatoriana está compuesta por dos subregiones: La subregión Andes Norte y Centro y la subregión Andes Sur (Neill, 1999). Las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas de ciertas zonas del país hacen que el límite altitudinal de los páramos varíe mucho (Acosta-Solís, 1984). Así, en la subregión Andes Norte y Centro, los hábitats parameros incluyen las áreas ubicadas entre los 3.000 y 4.900 m sn.m., tanto de la cordillera oriental como de la occidental de los Andes; mientras que en la subregión Andes Sur, el límite altitudinal inferior disminuye paulatinamente conforme nos acercamos a la provincia de Loja, hasta llegar aproximadamente a los 2.800 m s.n.m. (Sierra, 1999; Medina y Mena, 2001).

En la subregión Norte y Centro los Andes forman dos cadenas paralelas distintas: la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental (conocida también como Cordillera Real); entre estas cordilleras existe una serie de valles separados unos de otros por una serie de nudos altos transversales de este a oeste (Sauer, 1965). Esta serie de valles entre las dos cordilleras constituyen el denominado callejón interandino (la mayor parte de las ciudades andinas ecuatorianas, incluyendo la capital, están localizadas en esos valles). Tanto la Cordillera Occidental como Oriental están coronadas por una serie de volcanes Cuaternarios; estos picos volcánicos exceden los 5.000 m s.n.m. y están cubiertos por glaciares (Neill, 1999). El volcán más alto es el Chimborazo con 6.268 m s.n.m (Morueta-Holme *et al*, 2015). Los volcanes más importantes de la cordillera occidental son, de norte a sur: Chiles (frontera con Colombia), Cotacachi, Pichincha, Illinizas y Chimborazo; mientras que los volcanes principales de la cordillera oriental son Cayambe, Antisana, Cotopaxi, Tungurahua, El Altar y Sangay (Hall, 1977).

La subregión Andes Norte y Centro se extiende desde el límite con Colombia hasta alrededor del valle Girón-Paute, aproximadamente a 3° de latitud sur, donde Jørgensen y Ulloa (1994) sugirieron que existe una división natural que coincide con un valle seco que actúa como el límite de distribución de varias especies vegetales.

Por su parte, los Andes del Sur del Ecuador (provincias de Cañar, Azuay y Loja) forman un modelo complicado de nudos, algunos van de norte a sur y otros de este a oeste (Sauer, 1971). Esta subregión se extiende desde el valle Girón–Paute hacia el Sur del país (Sierra, 1999). No existen volcanes activos y las montañas son generalmente más bajas que las de la subregión Norte y Centro, alcanzando ocasionalmente los 4.000 m s.n.m. (Hall, 1977; Feininger, 1987; Taylor, 1991; citados en Sierra, 1999). La subregión Andes Sur se caracteriza por un intenso cambio de uso de la tierra (Buytaert *et al*, 2007) y presenta un mosaico de vegetación secundaria de páramo, bosque montano, plantaciones de pino, zonas agrícolas y pastizales que se desarrollan sobre suelos con alteraciones de la MOS (Hofstede *et al*, 1998; Hofstede *et al*, 2002a).

No se puede dejar de indicar que Sauer (1965) reconoció que existe una tercera cordillera inmersa en la región amazónica (al este de las dos cadenas principales de los Andes ecuatorianos) y propone que estaría tectónicamente relacionada con la cordillera Oriental de Colombia. La tercera cordillera no es una cadena continua, sino que esta formada por una serie de cordilleras pequeñas, en gran parte sedimentos Cretácicos y Terciarios, e incluye las Cordilleras de Galeras, Cutucú y Cóndor (Niell, 2007). Los volcanes Reventador (3.562 m s.n.m.) y Sumaco (3.990 m s.n.m.) en las provincias de Sucumbíos y Napo, respectivamente,

forman parte de la tercera cordillera (Niell, 1999). En esta también existen ecosistemas de páramo (*Para-páramo oriental*; Lozano 2004).

### **3.1.2 Geología de la Región Andina de Ecuador**

El levantamiento de la roca continental que formó los Andes a lo largo del oeste de América del Sur, es el resultado del movimiento tectónico de la placa sudamericana hacia el oeste y la colisión de la placa continental de América del Sur, con la placa del Pacífico (Hall, 1977; Clapperton, 1993; Coltorti y Ollier, 2000). Los Andes de Chile, Argentina y del sur de Bolivia, son las cordilleras más viejas; tuvieron un levantamiento considerable que ocurrió a principios del Terciario hace unos 50 millones de años aproximadamente (Ramos *et al*, 1986; Neill, 1999). Por su parte, los Andes norteños de Colombia y Ecuador son cordilleras relativamente jóvenes y el mayor levantamiento empezó en el Mioceno, hace unos 25 millones de años (Sauer, 1971; Schubert y Clapperton, 1990).

A mediados y finales del Terciario (25-2,5 millones de años) ocurrió una intensa actividad volcánica sobre las rocas básicas ya levantadas tanto en la Cordillera Oriental y Occidental, que ocasionó el levantamiento mayor de los Andes (Lavenu *et al*, 1992; Neill, 1999). Aunque a finales del Terciario cesó la actividad volcánica en los Andes del sur del Ecuador; a lo largo de las cordilleras norte y centro de los Andes ecuatorianos continuó una intensa actividad volcánica que se extendió durante el Cuaternario, principalmente los últimos 2,5 millones de años (Stern, 2004; Chiaradia *et al*, 2004). Esta actividad produjo la “avenida de los volcanes” que vemos hoy en día; es decir, las dos hileras de picos altos de volcanes que van de norte a sur en la sierra ecuatorina y que encierran al valle interandino; una hilera a lo largo de la cordillera Occidental (desde el volcán Chiles en la frontera con Colombia hasta el volcán Chimborazo en el sur) y la otra a lo largo de la cordillera Oriental (desde el volcán Galeras al norte hasta el volcán Sangay al sur) (Sauer, 1971; Hall y Calle, 1982).

La base de la cordillera Occidental de los Andes de Ecuador tiene principalmente rocas volcánicas cretácicas y piroclásticas (Horman y Pilcher, 1982; Jaillard *et al*, 1999), mientras que la base de la cordillera Oriental está constituida principalmente de rocas metamórficas Precámbricas con esquistos cristalinos (Lavenu *et al*, 1985). Además, sobre ese material, a lo largo de la zona norte y centro, fueron depositadas capas muy gruesas de ceniza de las erupciones cuaternarias; esta ceniza también fue depositada hasta unos 50 km desde la base de las montañas hacia las llanuras del Pacífico y de la Amazonía (al oeste y este de los Andes), y hacia la zona de Cañar y Azuay en los Andes Sur de Ecuador (Hungerbühler *et al*, 2001; Buytaert *et al*, 2007).



### 3.1.3 Clima

En los Andes ecuatorianos la precipitación anual varía entre 500 y 2.000 mm a<sup>-1</sup> y los patrones de precipitación están profundamente influenciados por las oscilaciones de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT; Neill y Jorgensen, 1999); por ello, la mayoría del territorio presenta un patrón bimodal (Buytaert *et al*, 2006b) con dos estaciones húmedas: de febrero a mayo y de octubre a diciembre (Neill y Jorgensen, 1999; Martínez *et al*, 2011). La estación seca principal va de julio a agosto y, en algunos casos se extiende hasta septiembre; además desde finales de diciembre hasta mediados de enero, ocurre un período seco e intenso en la mayoría de los lugares, siendo menos pronunciado (pero discernible) para algunos sectores (Vuille *et al*, 2000).

Por otra parte, la temperatura presenta una gran variación diaria (desde menos de 0 a más de 25 °C), mientras que de un mes a otro es relativamente constante (entre 2 y 10 °C; Hofstede *et al*, 2002a). Según Vuille y Bradley (2000) la temperatura en los Andes tropicales ha aumentado entre 0,10 ° y 0,11 ° C por década desde 1939.

### 3.1.4 Suelos

Según la roca madre, los suelos de los Andes ecuatorianos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: Los suelos del centro y norte del país, que son suelos sometidos a actividades volcánicas recientes (al norte del segundo paralelo de latitud sur) y los suelos del sur del país que no han tenido actividades volcánicas recientes (Colmet-Daage *et al*, 1969; Podwojewski y Poulénard 2000).

Como consecuencia de la actividad volcánica en los Andes del centro y norte del país, los suelos están formados por cenizas volcánicas jóvenes, son negros y profundos, y presentan pobre diferenciación de horizontes (clasificados como *Andisoles* o *Andepts*) (Hofstede *et al*, 2002a). Estos suelos volcánicos tienen un alto contenido de aluminio activo que se refleja en la formación de complejos aluminio-humus, alófanos e imogolita (Colmet-Daage *et al*, 1969). Se caracterizan por presentar baja densidad aparente, alta retención de agua, alta permeabilidad y alta fijación de fósforo (Podwojewski y Poulénard, 2000; Josse, 2000).

Por el contrario, los *Andisoles* considerados de “baja resistencia” que se desarrollan sobre minerales primarios (principalmente vidrios volcánicos) y las cenizas frescas que ocupan las laderas de numerosos volcanes activos, presentan alta densidad aparente, baja retención de agua y baja permeabilidad (Poulénard *et al*, 2001).

Por su parte, en los Andes sur de Ecuador no existe evidencia de actividad volcánica reciente (Hall y Calle, 1982) y aunque en determinados lugares se presentan capas finas de

cenizas volcánicas jóvenes que cubren las capas de cenizas antiguas meteorizadas (Buytaert *et al*, 2007), en general las cenizas volcánicas jóvenes han sido removidas por erosión, permitiendo de esta forma el afloramiento de suelos volcánicos antiguos (*Inceptisoles*; *Tropepts*, *Aquepts* y *Orthents*) (Podwojewski y Poulénard, 2000).

En el sector norte de la Subregión Andes Sur de Ecuador (correspondiente a la cuenca hidrográfica del río Paute) los suelos contienen una gran cantidad de cenizas volcánicas y en buena parte, se pueden clasificar como *Andosoles* no alofánicos (Poulénard *et al*, 2003; Buyater *et al*, 2007), mientras que hacia el sur y al este de esta subregión se encuentran *Histosoles* con distintos grados de aportes de cenizas volcánicas libres (Buytaert, 2004), desarrollados sobre material sedimentario y rocas metamórficas con bajo grado de alteración (Buytaert *et al*, 2005). Finalmente, los suelos del sur ecuatoriano que no se desarrollan sobre rocas madres volcánicas tienen una edad y un desarrollo evolutivo mucho mayor que los suelos desarrollados sobre ceniza volcánica (Podwojewski y Poulénard, 2000). Estos suelos se encuentran sobre todo en la parte sur de la cordillera oriental que corresponde a las provincias de Azuay, Loja y Zamora.

### 3.1.5 Biodiversidad y Formaciones naturales de los altos Andes ecuatorianos

La diversidad de organismos vivos nativos de los ecosistemas alto-andinos de Ecuador además de ser muy alta (2.067 especies; Tabla 3.1.5), es endémica; 60% en el caso de las plantas vasculares (Jørgensen y León Yanez, 1999) y 26 % en el caso de los mamíferos (Mena y Hofstede, 2006). Sin embargo, esas cifras corresponden solo una parte de los grupos taxonómicos de organismos vivos, pues los demás aún no han sido estudiados.

Tabla 3.1.5. Diversidad de especies nativas de la región alto-andina de Ecuador

| Grupo                                   | Nombre común                   | Total de especies | Endemismo   | Autor                             |
|---|--------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------------|
| Plantae                                 | Plantas vasculares             | 1500              | 60%         | Jørgensen & León-Yáñez 1999       |
|   | Plantas no vasculares          | 60                | ¿?          | Benítez et al, 2012               |
| Cordata                                 | Mamíferos                      | 44                | 26,6%       | Tirira et al, 2011                |
|   | Aves                           | 88                | ¿?          | Carrión, 2000                     |
|   | Anfibios                       | 348               | ¿?          | Ron et al, 2012                   |
|   | Reptiles                       | 25                | ¿?          | Armendariz y Orces, 2004          |
|   | Peces                          | 2                 | 100%        | Barriga, 2001; Velez-Espino, 2003 |
| Invertebrata                            | Insectos                       | ¿?                | ¿?          | -                                 |
|   | Artropodos                     | ¿?                | ¿?          | -                                 |
|   | Otros invertebrados            | ¿?                | ¿?          | -                                 |
| Virus                                   | Virus                          | ¿?                | ¿?          | -                                 |
| Monera                                  | Bacterias y algas verde azules | ¿?                | ¿?          | -                                 |
| Fungi                                   | Hongos                         | ¿?                | ¿?          | -                                 |
| Protozoa                                | Protozoarios                   | ¿?                | ¿?          | -                                 |
| Algae                                   | Algas                          | ¿?                | ¿?          | -                                 |
| <b>Gran total de especies conocidas</b> |                                | 2.067             | 26,6 - 100% | Presente investigación            |

La sierra alta ecuatoriana presenta una gran diversidad de ecosistemas naturales y modificados por el hombre (Hofstede *et al*, 1998; Baquero *et al*, 2004).

Resumiendo en términos muy generales la información de las propuestas recientes de clasificación de la vegetación para los Andes ecuatorianos realizadas por Valencia *et al*, (1999); Josse *et al*, (2003) y MAE (2012b) se podría decir que entre las principales formaciones naturales Alto-Andinas tenemos: (I) páramo (de pajonal, frailejones, almuadillas o arbustivo), (II) bosque tropical montano alto (occidental, interandino y oriental) y (III) bosque de *Polylepis* (occidental y oriental), siendo el páramo el ecosistema predominante en donde los bosques tropicales montanos y de *Polylepis* están presentes en forma de pequeños manchones o fragmentos (Mena y Hofstede, 2006; Cuesta *et al*, 2014). Cabe indicar que en el piso alto-andino de Ecuador existen también otras formaciones naturales que ocupan áreas reducidas y restringidas (como por ejemplo el páramo seco, páramo de arenal, etc). Finalmente, entre los principales ecosistemas alto-andinos que son producto de la modificación por parte del ser humano se tiene: (i) plantaciones de pino, (ii) plantaciones de eucalipto, (iii) zonas de cultivos y (iv) pastizales (Acosta-Solis, 1984; Hofstede *et al*, 2002a).

Según la última clasificación oficial del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2012b) dentro del sector páramo (o alto-andino) de los Andes ecuatorianos se consideran 11 tipos de formaciones vegetales, siendo: (1) Bosque siempreverde montano alto y montano alto superior de páramo; (2) Rosetal caulescente y herbazal montano alto y montano alto superior de páramo (frailejones); (3) Herbazal bambusoide montano alto y montano alto superior de páramo; (4) Herbazal inundable montano alto y montano alto superior de páramo; (5) Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo; (6) Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo; (7) Herbazal húmedo montano alto superior de páramo; (8) Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo; (9) Herbazal húmedo subnival de páramo; (10) Herbazal ultrahúmedo subnival de páramo y (11) Arbustal siempreverde montano alto de páramo del sur de Ecuador.

Valencia *et al*. (1999) consideraron que en la Región Andina de Ecuador (a nivel de biogeografía vegetal) existen dos subregiones: la Subregión norte y centro, y la Subregión sur; y, que a su vez, cada subregión está dividida en dos sectores: sector occidental y sector oriental; sostienen que la estructura de la vegetación puede ser similar en ambos lados de la cordillera andina pero la composición florística tiene notables diferencias.

La Subregión norte y centro van, desde el límite con Colombia hasta el valle Girón-Paute (aprox. 3° de latitud sur), donde Jørgensen y Ulloa (1994) sugirieron que existe una división natural, un valle seco que actúa como una barrera natural que impide la migración de

plantas; por ejemplo, muchas especies (entre ellas *Aiphanes gelatoninosa occidentale* y *Liabumigniarium*) se distribuyen al norte de esta línea en forma restringida.

La Subregión sur va desde el valle Girón-Paute hasta el límite con Perú (principalmente provincias de Cañar, Azuay y Loja) (Jørgensen y Ulloa, 1994). Los diferentes tipos de vegetación se encuentran generalmente a menor altitud que en la subregión norte y, además, la composición florística a nivel de especies tiende a ser diferente a la del norte (Valencia *et al*, 1999; Cuesta *et al*, 2014). Se han reportado varias especies restringidas a esta subregión. Por ejemplo: *Oreocallis mucronata*, *O. grandiflora*, *Miconia dodsonii* y *Ceroxylon parvum*; 4 de las 5 especies de *Bejaria* (Ericaceae) (Luteyn, 1996; Luteyn *et al*, 1999) y la mayor parte de especies de las familias Podocarpaceae y Proteaceae registradas para los andes ecuatorianos (Jørgensen y Ulloa, 1994).

La Subregión sur es más rica en especies de árboles por unidad de área (90 especies a 2.700 m s.n.m. y 75 especies a 2.900 m s.n.m.; Jørgensen *et al*, 1995) que la subregión norte y centro (32 especies a 2.900 m s.n.m y 39 especies a 3.300 m s.n.m; Valencia y Jørgensen, 1992).

Por otra parte, Beltrán *et al*, (2009) en función de los diferentes grupos taxonómicos de las especies vegetales registradas, el aislamiento geográfico entre los distintos parches de páramos, los regímenes de humedad, el sustrato de la roca parental (ígneas frente a metamórficas), la historia volcánica (volcanismo Terciario frente a volcanismo Cuaternario) y la influencia antropica; propusieron 9 unidades fisiográficas de páramo para los Andes ecuatorianos. Estas son: (1) Páramos de Galeras-Chiles, (2) Páramos del Norte de la Cordillera Occidental Ecuatoriana, (3) Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana, (4) Páramos del Sur de la Cordillera Occidental Ecuatoriana, (5) Páramos del Norte de la Cordillera Real Oriental, (6) Páramos del Sur de la Cordillera Real Oriental, (7) Páramos de Azuay-Morona Santiago-Zamora Chinchipe, (8) Páramos del Macizo del Cajas y (9) Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus (Fig. 3.1.3)

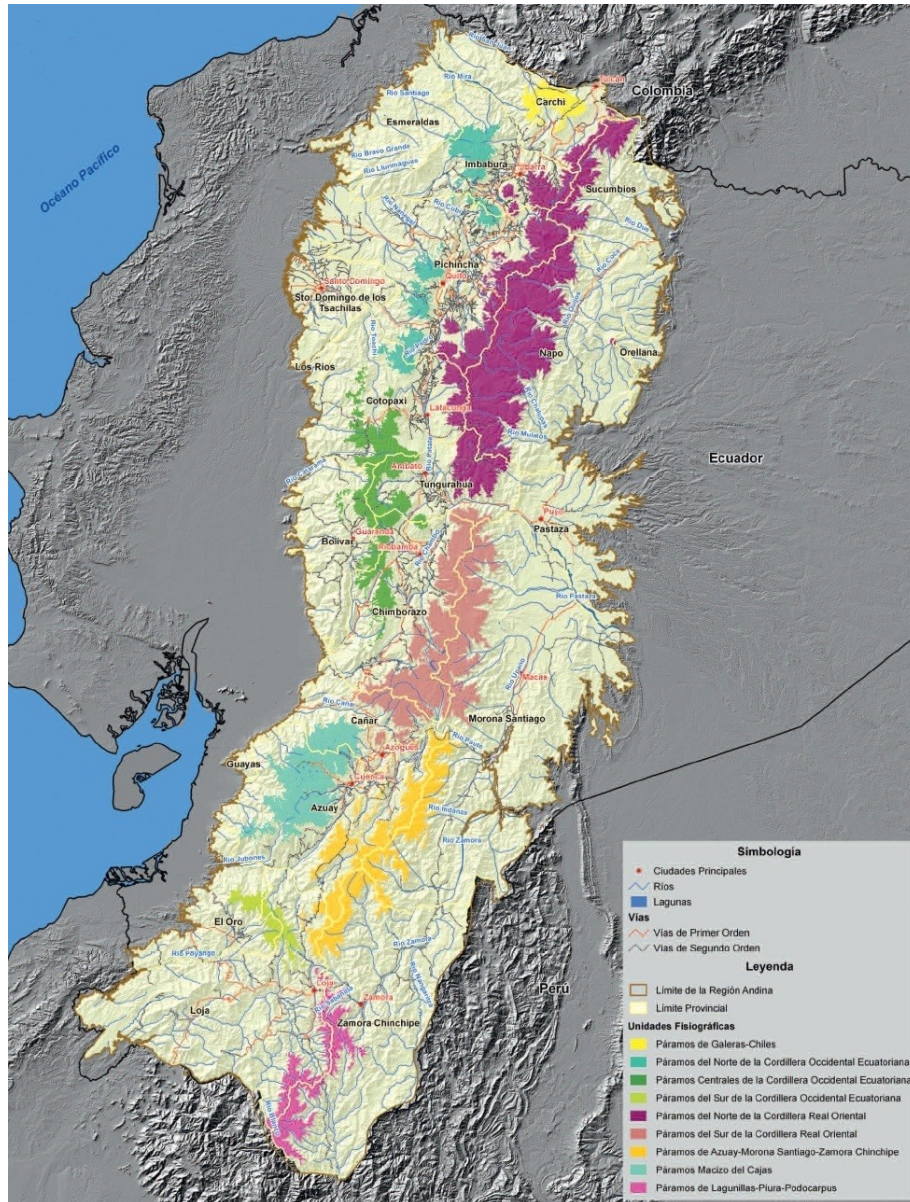


Figura 3.1.3. Unidades fisiográficas de páramo propuestas para los Andes ecuatorianos (Beltrán *et al*, 2010).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

En la presente investigación se evaluó el contenido y la calidad de la MOS bajo diferentes tipos de CVUT en zonas localizadas en 6 de las 9 unidades fisiográficas de páramo propuestas por Beltrán *et al* (2009) para los Andes ecuatorianos.

Estás fueron: (i) *Páramo de Galeras-Chiles* ( $n = 12$ ), (ii) *Páramos del Norte de la Cordillera Real Oriental* ( $n = 10$ ), (iii) *Páramos Centrales de la Cordillera Occidental* ( $n = 12$ ), (iv) *Páramos Macizo del Cajas* ( $n = 18$ ), (v) *Paramos de Azuay –Morona Santiago – Zamora Chincipe* ( $n = 12$ ) y (vi) *Páramo de Lagunillas-Piura-Podocarpus* ( $n = 8$ ).

En cada zona fisiográfica se establecieron dos rangos altitudinales, cada uno con diferentes parcelas de un grano de 0,25 ha bajo los principales tipos de CVUT, es decir, páramo, pino, pastizal y bosque secundario (en la sección de Diseño y dimensión espacial del estudio se explican los detalles de la distribución de las parcelas).

A continuación, se explican las características particulares de localización geográfica, condiciones climáticas, geomorfología, geología, suelos, cobertura vegetal y uso de la tierra y biodiversidad vegetal de cada zona de estudio.

#### 3.2.1 Páramos del Ángel (*Páramos de Galeras-Chiles*)

##### 3.2.1.1 Localización

La Reserva Ecológica El Ángel (REEA) comprende una superficie aproximada de 16.541 ha y ocupa un rango altitudinal que va desde los 3.400 hasta los 4.200 m s.n.m (MAE, 2008). Esta reserva está localizada en la cordillera occidental de los Andes Norte de Ecuador (Fig. 3.2.1; Tonneijck *et al*, 2006). Los páramos de esta zona son muy importantes principalmente por ser el lugar donde nacen todas las vertientes, quebradas y ríos de la microcuenca del río Ángel, y por la alta biodiversidad que poseen (Poats y Suárez, 2007). De los recursos hídricos de esta microcuenca dependen directamente alrededor de 13.500 personas (González-Gairud, 2010 citado en Espin-Dueñas y Espinoza-León, 2011). Por todo ello, en el año 1992 esta zona fue declarada área natural protegida en la categoría de reserva ecológica (MAE, 2015).

Los sitios específicos en donde se ubicaron las unidades de muestreo están localizados en la parte oeste de la REEA ( $n = 12$ ). Los sitios altos ( $n = 4$ ; 3.864 m s.n.m.) se encuentran al noreste de la reserva en la cumbre de la quebrada donde nace el río Morán, mientras que los sitios de menor altitud ( $n = 8$ ; 3.350 m s.n.m.) se encuentran en la parte suroeste de la reserva, entre las quebradas La Buitrería y Puerma (Fig. 3.2.2). Tanto para los sitios de mayor como de menor altitud se tomaron muestras de suelo bajo Páramo y bajo la plantación de Pino

adyacente. En los sitios de menor altitud, además se tomaron muestras de suelo bajo Pastizal y Bosque secundario que estuvieron adyacentes al Páramo y su plantación de Pino correspondiente. La pendiente de ambos sitios específicos de muestreo fue irregular, de ondulación moderada con un grado de inclinación del 12 al 25%.

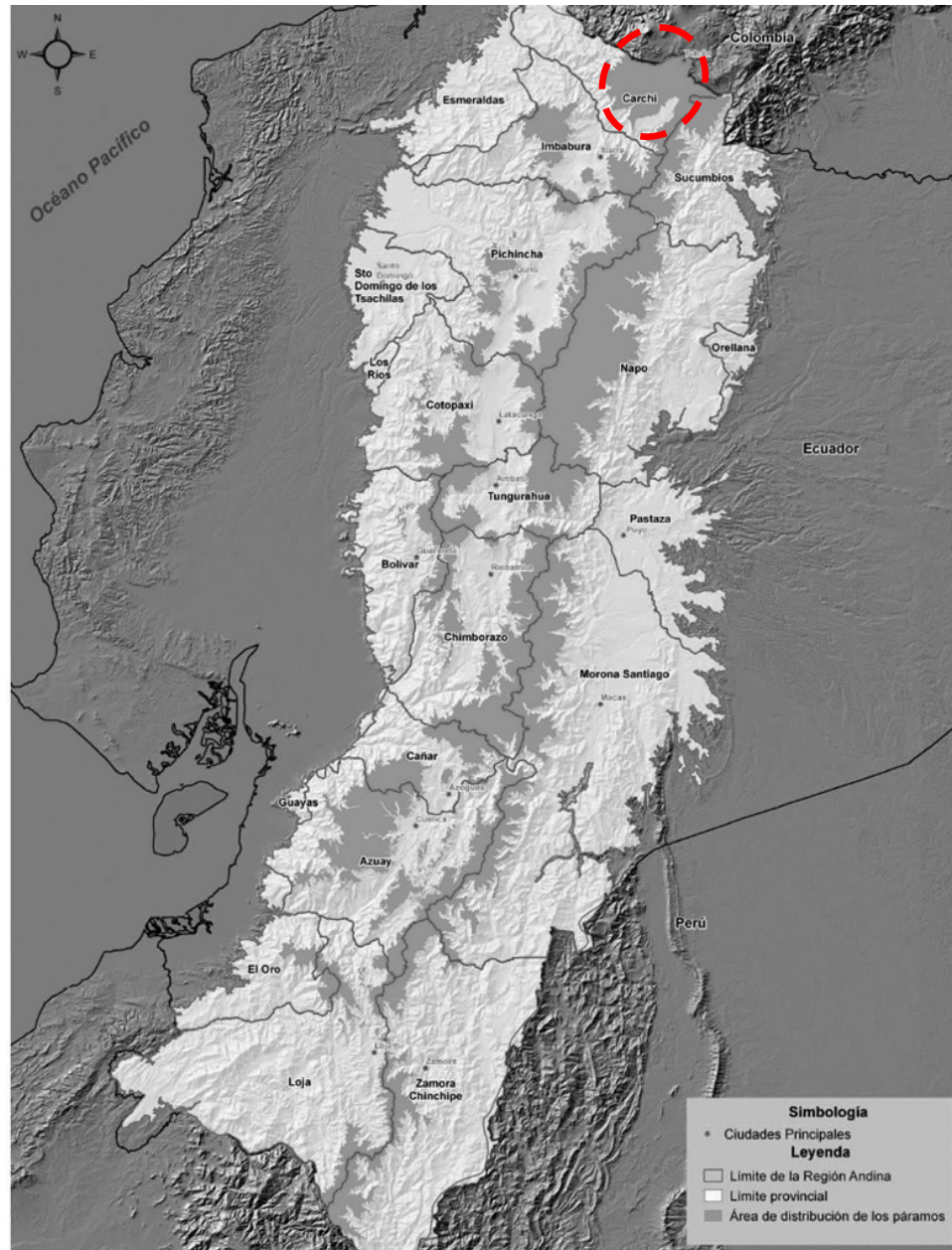


Figura 3.2.1. Localización de los páramos del Ángel (*Páramos de Galeras-Chiles*) en la región alto-andina de Ecuador. En círculo de color rojo se indica la localización (Beltrán *et al*, 2010).



Figura 3.2.2. Fotografía satelital Landsat de los páramos del Ángel (*Páramos de Galeras-Chiles*) en donde se indican los sitios específicos de muestreo, Morán y Buitrería. La línea de color amarillo que pasa sobre el volcán Chiles señala la frontera con Colombia (Google Earth, 2017).

### 3.2.1.2 Condiciones climáticas

Según datos de la estación climática El Ángel del INAMHI (2016), el promedio de Precipitación Anual Normal Acumulada de esta área es de 973 mm año<sup>-1</sup>; el total de días de precipitación al año es de 148 y la temperatura media del aire es 11,5 °C.

### 3.2.1.3 Geomorfología

El área geográfica de los páramos del Ángel se presenta como una meseta alta y húmeda, recubierta por material volcánico y modelado por la glaciación (MAE, 2015). El relieve es de tipo colinado y se caracteriza por ser más suave hacia el Sureste mientras que en la parte Oeste se presentan pendientes más pronunciadas, con cortes profundos en las quebradas y ríos (Vallejo, 1997 citado en MAE, 2015).

Según MAE (2015) la mayor parte del área de la REEA presenta pendientes Planas de 0° a 5° (23,8%), Suavemente onduladas de 5 a 10 ° (21,5%) y Onduladas con un ángulo de 20 a 30° (35,5%). Por otro lado, las pendientes Montañosas de 20 a 30 °, Muy Montañosas de 30 a 45 ° y Escarpadas mayor a 45° representan el 13,6, el 5,0 y el 0.6 % respectivamente.

### 3.2.1.4 Geología



La formación geológica dominante es Altar tiene de 1 a 13 millones de años y se caracteriza por Andesitas, lavas y piroclásticos (IGM, 1982). Esta parte norte de los Andes ecuatorianos está cubierta por rocas volcánicas Cenozoicas que pertenecen a las series calcoalcalina y andesita-dacita (Hörmann y Pichler 1982; Stern 2004). Los páramos del Ángel están directamente influenciados por el volcán Chiles que se encuentra a pocos km de distancia.

El volcán Chiles llega a los 4.720 m s.n.m. y está apagado; forma un doble estrato volcán con el activo Cerro Negro (4.470) que se encuentra en Colombia. El volcán se caracteriza por una caldera que mide 2 km de diámetro y que se encuentra orientada hacia al norte. Según Wolf (1892 citado en Hall, 1977) la presencia de coladas jóvenes de lava testifica una actividad no muy vieja. Mayoritariamente las lavas son de andesitas y dacitas (Reis y Stubel 1892 citado en Hall, 1977). Fuentes termales y depósitos de azufre afloran alrededor de los dos volcanes (Hall, 1977).

#### 3.2.1.5 Suelos

Los suelos de la zona de páramos del Ángel son jóvenes del tipo *Andosoles*; poseen altas cantidades de limo, arcilla y MOS (Podjowesky Polunenard, 2004). Además presentan alta tasa de retención de agua y permeabilidad (Espinoza y Rivera, 2016). Se caracterizan por la presencia de ceniza volcánica que proviene del volcán Chiles. Contienen algunos alofanos (promedio  $3,0 \pm 2,6\%$ ) y abundantes complejos orgánicos de Al y Fe, así como también hidróxidos de Al y Fe (Jansen *et al*, 2006). Según Tonneijk *et al* (2008) los perfiles de suelo de los páramos de la reserva son de tres depósitos distintos de tephra y se formaron en el Holoceno.

Se ha registrado que los suelos son ácidos (pH de 3,2 a 4,2), de bajas densidades aparentes ( $< 0,85 \text{ g cm}^{-3}$ ) y con altos contenidos de COS (8 - 25%) (Tonneijk *et al*, 2006). En un estudio reciente se estimó que el contenido de COS es de  $55,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y, mientras que el contenido de COS en sitios intervenidos es de 10,0%, y en los conservados es de 11,1% (Villaruel-Herrera, 2015).

#### 3.2.1.6 Uso de la Tierra y Cobertura Vegetal

Según la información del Plan de Manejo de la Reserva Ecológica El Ángel (MAE, 2015) el 90,0 % del área de la reserva corresponde a páramo de Frailejones, el 3,2% a Páramo de almohadillas, el 0,6% a Bosque siempre verde montano alto, el 5,9% a áreas intervenidas (pastizales, cultivos y plantaciones forestales) y el 0,4% a cuerpos de agua.

La zona de la reserva y sus alrededores, durante siglos y sobre todo desde la construcción de la carretera El Ángel-Tulcán, ha experimentando impactos directos de las actividades humanas, como son la quema anual de varias hectáreas de páramo, el desbroce y desmonte de vegetación autóctona y la conversión de tierras para agricultura y pastoreo de ganado (Moscol-Olivera, 2010).

### 3.2.1.7 Biodiversidad vegetal

La vegetación en esta zona es un mosaico de formaciones vegetales: Páramo de frailejones, humedales y bosque siempre verde montano alto (Suarez-Duque, 2008).

El “Rosetal caulescente y herbazal montano alto y montano alto superior de páramo”, conocido también como páramo de frailejones, cubre casi el 90% de toda la Reserva (MAE, 2015). El páramo de frailejones está dominado principalmente por *Espeletia pycnophylla* Cuatrec y gramíneas de los géneros *Agrostis* y *Calamagrostis*. Por su parte, entre las especies dominantes del bosque se encuentran. *Weinmannia* sps., *Hedyosmum cumalense* H. Karst. y *Miconia tinifolia* Naudin, entre otras (Suárez-Duque, 2008; MAE, 2015)

El 3% restante corresponde principalmente a “Herbazal inundable montano alto y montano alto superior de páramo”, conocido como “herbazal lacustre montano alto o humedal” (MAE, 2015). Este tipo de ecosistema se encuentra en los intersticios del páramo de frailejones y paja, tiene una cobertura herbácea (humedal) y forma parte de los ecosistemas azonales que se distribuyen aproximadamente en el rango entre los 3.300 y 4.500 m s.n.m. (MAE, 2012). Las especies dominantes para este ecosistema son: *Agrostis boyacensis*, *Brachyotum ledifolium*, *B. lindenii*, *Castilleja fissifolia*, *Carex* sp, *Chusquea* spp., *Cortaderia sericantha*, *Distichia muscoides*, *Huperzia crassa*, *Hypsela reniformis*, *Hypochaeris sonchoides*, *Juncus* sp., *Oreobolus goeppingeri*, *O. obtusangulus*, *Oreobolus* sp., *Orithrophium limnophyllum*, *Plantago rigida*, *Schoenoplectus californicus*, *Sphagnum* spp., *Xyris subulata* (Moscol-Olivera, 2010).

También se encuentra un área mínima de “bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo” (0,6%), que corresponde a lo que anteriormente se identificó como “bosque siempre verde montano alto y bosque altimontano norte-andino de *Polylepis*” (MAE, 2015). El dosel está generalmente compuesto por especies del género *Polylepis* junto con *Gynoxys* spp. y *Buddleja* spp (Moscol-Olivera y Cleef, 2009). En algunos casos, se puede llegar a formar unidades monotípicas de *Polylepis* o *Gynoxys* (Hofstede et al, 1998 citado por MAE, 2012). Las especies más frecuentes son: *Buddleja incana*, *B. pichinchensis*, *Columellia oblonga*, *Escallonia myrtilloides*, *Geranium ayavacense*, *Gynoxys*

*acostae*, *G. cuicochensis*, *G. hallii*, *Hesperomeles ferruginea*, *H. obtusifolia*, *Luzula gigantea*, *Polylepis incana*, *P. lanuginosa*, *P. microphylla*, *P. pauta*, *P. reticulata*, *P. sericea*, *P. weberbaueri*, *Rubus coriaceus*, *Weinmannia fagaroides* (MAE, 2012 citado por MAE, 2015).

### **3.2.2 Páramos del Cotopaxi (*Páramos del Norte de la Cordillera Real Oriental*)**

#### **3.2.2.1 Localización y clima**

El área de páramos que rodea al volcán, junto con él mismo, fue declarada Parque Nacional Cotopaxi en 1975 (Fig. 3.2.3.) Tiene una extensión de 3.983 ha y ocupa un rango altitudinal promedio desde los 3.400 hasta 5.897 m s.n.m. (que es el punto más alto del volcán; MAE, 2010). Según datos de la estación climática Latacunga Aeropuerto del INAMHI (2016) el promedio de precipitación anual normal acumulada de esta área es de 500,1 mm, el total de días de precipitación al año es de 132, la temperatura media máxima es de 23,2 y la media mínima es de 2.3 °C. Mientras que la temperatura media anual es de 10,5 °C (SECSUELO, 1986).

Las unidades de muestreo para esta zona ( $n = 10$ ) están localizadas en la parte centro-este del Parque Nacional Cotopaxi (Fig. 3.2.4), en la parte alta de la microcuenca del río Cutuchi, la cual corresponde al valle de Latacunga, a pocos m del volcán Cotopaxi. Esta zona forma parte de la transición entre el Valle Interandino y la Cordillera Oriental de los Andes norte de Ecuador (Mothes *et al*, 1998) y es muy importante porque de aquí nace el río Cutuchi que abastece de agua potable y de riego a buena parte de la población de Latacunga, Ambato y Salcedo.

Los sitios altos de muestreo (3.770 m s.n.m.;  $n = 4$ ) se encuentran en la parte alta de la quebrada Mishahuycu, mientras que los sitios de menor altitud (3.400 m s.n.m.;  $n = 6$ ) se encuentran en la parte alta de la quebrada Mellocohuaycu (Fig. 3.2.4.). Tanto para los sitios de mayor como de menor altitud se tomaron muestras de suelo bajo Páramo y bajo la plantación de Pino adyacente. En los sitios de menor altitud, además, se tomaron muestras de suelo bajo un rodal extra de Pino. No se tomaron muestras de suelo bajo pastizal o bosque secundario debido, a que no estuvieron adyacentes al páramo y su plantación de pino correspondiente. La pendiente de ambos sitios específicos de muestreo fue irregular, de ondulación moderada con un grado de inclinación del 12 al 25%.

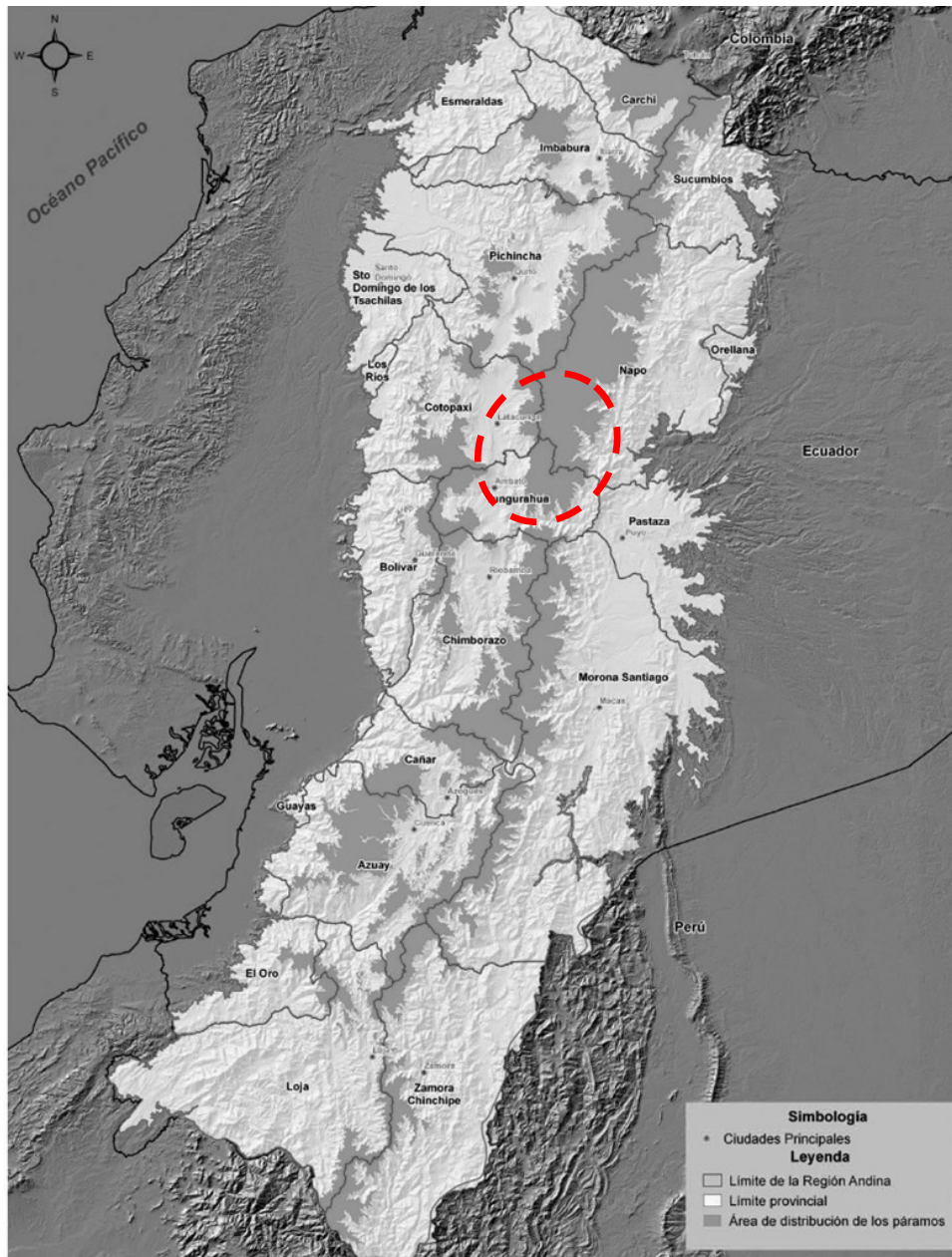


Figura 3.2.3. Localización de los páramos del Cotopaxi (*Páramos del Norte de la Cordillera Oriental Ecuatoriana*) en la región alto-andina de Ecuador. En círculo de color rojo se indica la localización de la zona (Mapa fuente: Beltrán *et al*, 2010).



Figura 3.2.4. Fotografía satelital Landsat de los páramos del Cotopaxi (*Páramos del Norte de la Cordillera Oriental Ecuatoriana*). Se indican los sitios específicos de muestreo Mishahuaycu y Mellocohuaycu, cercanos al volcán Cotopaxi (Google Earth, 2017).

### 3.2.2.2 Geología

Las formaciones geológicas dominantes en el área protegida son Cangagua y Cotopaxi del Holoceno de 0,6 a 1 millón de años (IGM, 1982). Estas formaciones se caracterizan por presentar lavas andesíticas, piroclásticos, cenizas y piedra pómez (Pistolesi, 2008). Según Mothes *et al* (1998) el material base está compuesto por Lahares de una edad de 4.500 a 6.000 años. El suelo está dominado por arenas y gravas, contiene muy pocos limos y arcillas (Ettinger *et al*, 2014). No tienen más de 30 cm de profundidad.

Hall (1977) planteó la siguiente descripción para el Cotopaxi: El volcán Cotopaxi es uno de los volcanes activos más grandes del mundo. Se trata de un joven estrato volcán muy simétrico cubierto por glaciares y que se ha construido sobre los remanentes de un volcán anterior. Los remanentes del anterior volcán han sido cubiertos por la acumulación de nuevo material volcánico. Jóvenes coladas de lava se pueden ver en los lados norte y oeste donde desciende hasta aproximadamente 4.000 m s.n.m. El relieve sobre su base es hasta de 3.000 m y el diámetro de su base es 22 km. En la cumbre destaca un cráter limitado por el borde con un diámetro que va de los 650 m (este–oeste) a los 800 m (norte–sur).

### 3.2.2.3 Geomorfología

De acuerdo con la descripción realizada por Mothes *et al* (1998) las principales características geomorfológicas son las siguientes:

-El área consiste en un gran cono simétrico con 3.000 m de relieve, sobre este cono tenemos dos estratovolcanes Cotopaxi y Rumiñahui. Los flancos superiores del Cotopaxi están cubiertos de glaciares que tienen promedios de pendientes 25-30°, mientras que sus flancos inferiores están incisos por cañones de decenas de metros de profundidad. Tres drenajes importantes descienden desde el volcán dando formas de quebradas al terreno: el Ríos Pita-Esmeraldas al norte, el río Cutuchi- Sistema Pastaza al suroeste, y Río Tambo-Sistema Tamboyacu-Napo hacia el este.

Según MAE (2010) el área del parque nacional presenta una geomorfología variada con heterogéneas características de las pendientes. Las cumbres del volcán corresponden al 22,9%, un 12,8% es escarpado (pendiente de 50-70°), un 16,7% es colinado (25-50°), un 8% es moderadamente ondulado (12-25°), un 21% es suave o ligeramente ondulado (5-12°) y el 0,7% del área es plano (0-5°).

### 3.2.2.4 Suelos

Los reportes del Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE, 2013a; IEE, 2013b; IEE, 2013c; IEE, 2013d; IEE, 2013e) indicaron que los suelos son francoarenosos con pocas cantidades de arcilla, con una densidad aparente superior a 1,0 gcm<sup>-3</sup>, pH ligeramente ácido (6,3), con una textura promedio de 64% de arena, 30% de limo y 6% de arcilla. De acuerdo con MAE (2010), el Parque Nacional Cotopaxi presenta suelos údicos, principalmente de dos tipos:

-El primero que corresponde al 58,5% del parque nacional, son suelos clasificados como *Distrandepts* y/o *Cryandepts*; se trata de suelos derivados de materiales piroclásticos, alofánicos, francoarenosos, gran capacidad de retención de agua; saturación de bases <50%; densidad aparente < 0,85 g cm<sup>-3</sup>. Muy negros en régimen frígido y mésico, negros en régimen térmico y con presencia de horizonte amarillo de gran espesor en régimen hipertérmico.

-El segundo tipo de suelos representa el 21,4% del área protegida. Según el Plan de Manejo se clasifican como *Troporthents* (entisoles) y *Vitrandepts* (inceptisoles); son suelos arenosos derivados de materiales piroclásticos, poco meteorizados, con baja retención de humedad. Por lo general con menos del 1% de material orgánico, poco profundos (0-20 cm), en áreas húmedas con pH ligeramente ácido y baja saturación de bases (corresponde a los suelos de la zona específica de estudio de la presente investigación).

-El porcentaje restante de tipos de suelos (20,1%) correspondería a lugares estériles con pendientes superiores a 70 grados y sometidos a frecuentes nevadas.

#### 3.2.2.5 *Uso de la Tierra y Cobertura Vegetal*

La cobertura vegetal del Parque Nacional Cotopaxi está dominada por lo que es la vegetación de páramo herbáceo de alta montaña, el cual representa el 60,5 % del área, el 22,8 % es nieve, el 13,4 % es afloramiento rocoso y el 1,1% corresponde a áreas con plantaciones forestales (SIGAGRO, 2005 citado por MAE, 2010).

Los páramos de la provincia de Cotopaxi a nivel general muestran altas tasas de pérdida de la cobertura vegetal y de deforestación; se estima que 2.000 y 2.400 ha año<sup>-1</sup> respectivamente (Cotopaxi en cifras, 2005). Se conoce también que en la zona de los alrededores del parque nacional existen grandes extensiones con plantaciones de pino que llevan más de 40 años de actividad forestal (Farley *et al*, 2004).

Farley y Kelly (2004) evidenciaron que zonas con plantaciones de Pino de 25 años presentaron parámetros del suelo (horizonte A; suelos *Cryands* y *Udands*) de menor calidad en comparación con las zonas de Páramo; por ejemplo, D<sub>ap</sub> (1 vs 1,0 g cm<sup>-3</sup>), COS (1,2 % vs 2,1%), pH (5,2 vs 5,5), Nitrógeno total (0.17% vs 0.08%), Amonio NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (2,1 vs 4,5 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>kg<sup>-1</sup>), Nitratos (1,7 vs 6,4 mg N kg<sup>-1</sup>), Fósforo total (4 vs 0,2,3mg P kg<sup>-1</sup>) y Fósforo disponible (13,6 vs 27,1 mg P kg<sup>-1</sup>).

#### 3.2.2.6 *Biodiversidad vegetal*

Según el plan de manejo (MAE, 2010), los principales hábitats encontrados en el Parque Nacional Cotopaxi son: El páramo de pajonal, el bosque montano arbustivo (que se encuentra inmerso dentro del páramo en las partes bajas) y las plantaciones forestales, siendo sus descripciones las siguientes:

-La zona de páramo se caracteriza por vegetación herbácea de alta montaña, resistente a vientos y heladas, asociada ocasionalmente con arbustos, resistentes a bajas temperaturas. Agrupan pajonales, almohadillas y arbustos coriáceos. Entre las principales especies destacan *Calamagrostis spp*, *Lupinus pubescens*, *Stipa sp*, *Festuca sp*, *Baccharis buxifolia*, *Rumex acetosella*, *Hydrocotyle humboldtii*, *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris sessiliflora*, *Halenia wedeliana*, *Chuquiraga jussie* y *Usnea sp*.

-En las partes más bajas del parque es posible encontrar especies arbustivas de gran tamaño, como es el caso de: *Gynoxys buxifolia*, *Tournefortia fuliginosa*, *Morrella pubescens*,

*Monnina crassifolia*, *Buddleja pichinchensis*, *Miconia crocea*, *Brachyotum spp*, *Vallea estipularis*, *Chusquea scandens*, *Baccharis latifolia*, *Oreopanax spp*, entre las más comunes.

-También existen plantaciones forestales que están conformadas por especies arbóreas introducidas como es el caso de *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata* y *P. patula*.

### **3.2.3 Páramos del Chimborazo (*Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana*)**

#### *3.2.3.1 Localización*

Los sitios específicos donde se ubican las unidades de muestreo ( $n = 12$ ) están localizados al sur de la Reserva de Producción Faunística Chimborazo (RPFCH). Esta área protegida se encuentra localizada en la cordillera occidental de los Andes centrales de Ecuador (Fig. 3.2.5.), conocida también como cordillera Real (Castro, 2016). Los páramos estudiados corresponden a la zona alta de la microcuenca del río Chimborazo y proveen de agua directamente a 10.355 personas, para riego, consumo humano y para generar energía hidroeléctrica (Bustos y Bustos, 2007).

Los sitios de mayor altitud (3.880 m s.n.m.) están localizados en la hondonada de Yaguarcocha, cerca del cerro de Yanarumi. Por su parte, los sitios con menor altitud (3.610 m s.n.m.) están en el sector Yanayacu (Fig. 3.2.6.). Tanto para los sitios de mayor como los de menor altitud se tomaron muestras de suelo bajo Páramo y bajo la plantación de Pino adyacente. Adicionalmente, en los sitios de mayor altitud se tomaron muestras bajo Pastizal, mientras que en los de menor altitud se tomaron muestras de suelo en Páramos que visualmente se veían degradados. La pendiente para ambos rangos altitudinales de muestreo fue irregular, de ondulación moderada y con un grado de inclinación del 12 al 25%.

La RPFCH está constituida por el volcán Chimborazo y el área de páramos que lo rodea, y cubre una superficie de 58.560 ha (MAE, 2006). Forman parte de esta área protegida los páramos de la microcuenca del río Chimborazo (Bustos y Bustos, 2007). Según el Plan de Manejo el rango altitudinal que ocupa la RPFCH está entre los 3.600 y 6.310 m s.n.m., que se corresponde con la cumbre del volcán (MAE, 2016).



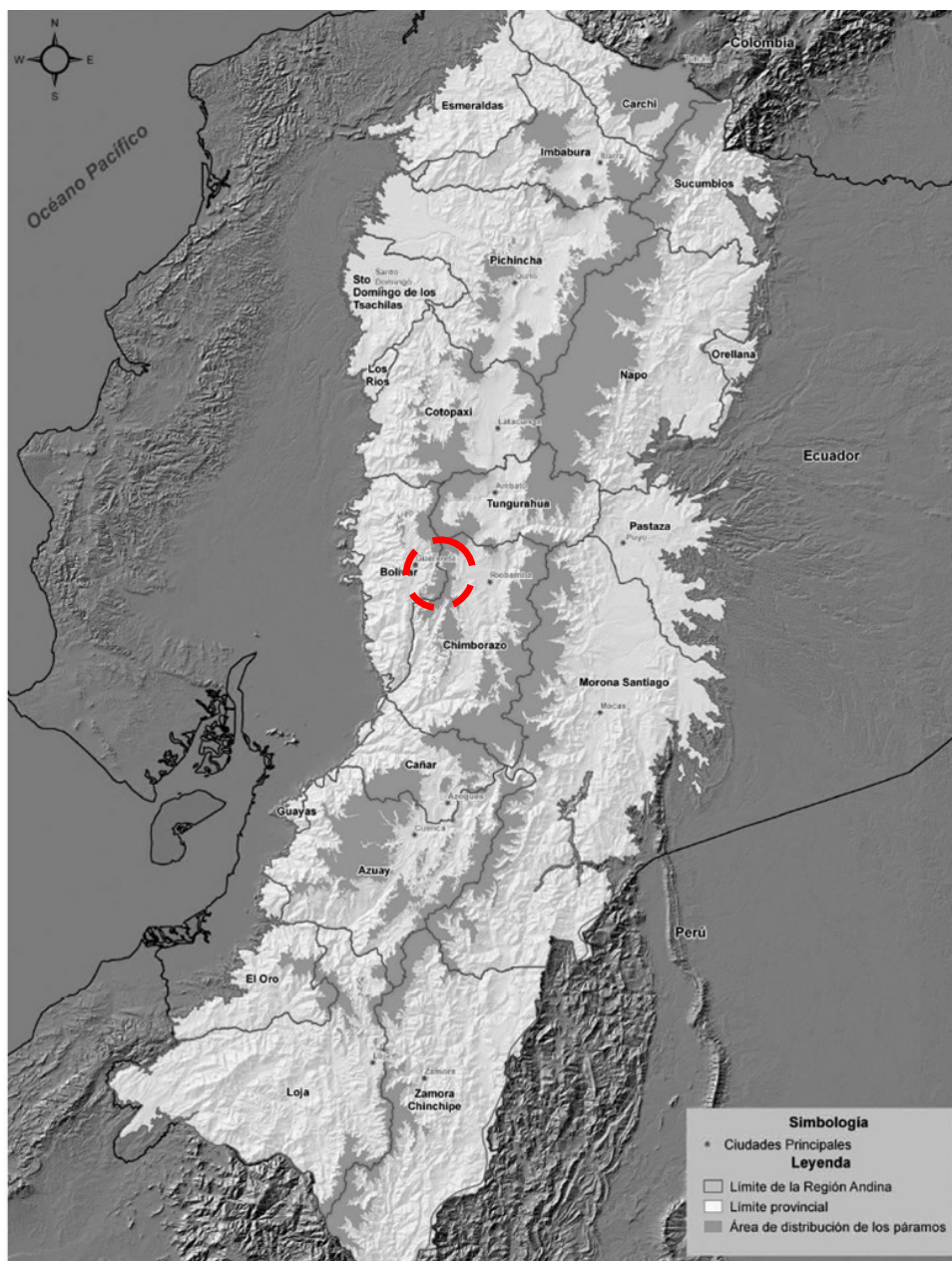


Figura 3.2.5. Localización de los páramos del Chimborazo (*Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana*) en la región alto-andina de Ecuador. En círculo de color rojo se indica la localización de la zona (Mapa fuente: Beltrán *et al*, 2010).



Figura 3.2.6. Fotografía satelital Landsat de los páramos del Chimborazo (*Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana*). Se indican los sitios específicos de muestreo Yaguarcocha y Yanayacu, localizados cerca del volcán Chimborazo (Google Earth, 2017).

### 3.2.3.2 Condiciones Climáticas

Según el promedio obtenido a partir de datos de la estación pluviométrica más cercana, San Juan de Chimborazo M0393 (INAMHI, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012), la precipitación anual acumulada es de  $660 \text{ mm a}^{-1}$  y el número de días de precipitación es 111 mientras que según el mapa de Isotermas del Ecuador (INAMHI, 2013) la temperatura media anual para esa zona varía entre  $7,8$  y  $10,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . En la microcuenca del río Chimborazo el régimen de precipitación es bimodal, con los picos más altos de lluvias en abril y octubre, y los picos más bajos en julio y enero (Celleri, 2010).

### 3.2.3.3 Geomorfología

Según el mapa del IGM y SECSUELO (1982) el área de la RFPCH se caracteriza por cuencas sinclinales, depresiones y valles. Por su parte según la información sobre geomorfología de IEE (2018), las zonas de amortiguamiento de los alrededores de la RPFCH, específicamente las zonas de la cara sur del área protegida (donde se encuentran las parcelas de este estudio), están constituidas por depósitos glaciares modelados por la acción fluvial y las formas dominantes son Fluvio Glaciar, Glaciar y Periglaciar, y Vertiente de valle glaciar.

El Chimborazo y las áreas de páramo que lo rodean forman parte del conjunto de montañas denominado *Andes Centrales de la Cordillera Occidental de Ecuador* (Beltrán et

al, 2009; Fig. 1). El relieve de este conjunto es bastante irregular; presenta pendientes que varían desde débiles del 0% hasta muy fuertes del 70%. Predominan las pendientes regulares del 12% al 25% y pendientes fuertes de más 25% al 50% (MAE, 2006). En los sitios específicos de estudio la pendiente fue regular entre el 12% y 25%.

#### 3.2.3.4 Geología

En la zona de páramos de la microcuenca del río Chimborazo la formación geológica dominante es Altar y Latacunga, de 2,5 a 1,5 millones de años que contienen principalmente lavas andesíticas y piroclásticos, además contienen también tobas de pómez, ignimbritas, volcanoclasticos (IGM, 1982). El cerro negro Yanarumi de 4.156 m s.n.m., vecino del Chimborazo, exhibe los característicos conglomerados del Cretáceo superior y marca el extremo septentrional del denominado páramo Puyal (MAE, 2006).

#### 3.2.3.5 Suelos

Según los reportes para esta zona del IEE (2012a; 2012b; 2012c; 2012d) los suelos son *Andosoles* con texturas franco-arenosos, de 1,0 m de profundidad, de 1,3 a 4.1% de contenido de COS y con una densidad aparente entre 1.08 y 1.09 g cm<sup>-3</sup>; pueden ser *Typic Hapludands* (DHFU), *Vitric Hapludands* (DHFL) *Humic Vitricryands* (DCEK), *Vitrics Melanocyands*.

#### 3.2.3.6 Uso de la Tierra y Cobertura Vegetal

El 40,7% de la RFPCH es páramo de pajonal, el 30,6% es arenal, el 9,6% es pajonal intervenido, el 6,5% son pastizales, el 4,6% es nieve, el 2,9% es matorral, el 1,1% es suelo erosionado o desnudo, el 0,2% son humedales, el 0,1% es bosque y el 3,8% son diferentes tipos de cultivos y plantaciones (MAE, 2006). En la microcuenca del río Chimborazo por su parte, el 42,2% del área corresponde a páramo de pajonal, el 23,0% no tiene vegetación, el 17,4% corresponde a cultivos, el 11,2% son pastizales y el 14,6% son plantaciones forestales (Bustos y Bustos, 2007).

Los páramos de esta zona se caracterizan por la presencia de camélidos sudamericanos, llamas, alpacas y vicuñas (Castro, 2016). El área fue declarada reserva de producción faunística en 1987 (Samaniego y Romero, 2012) y desde 1988 se han implementado dos grandes proyectos: “Reintroducción de la Vicuña” y “Fomento de camélidos sudamericanos en el Ecuador”; todo ello en función de que el 80% de la superficie de esta área protegida está en poder de 38 organizaciones campesinas y de unos pocos

propietarios particulares (MAE, 2006). Además de los camélidos, existe el pastoreo de ganado ovino y en menor grado vacuno (Samaniego y Romero, 2012).

### 3.2.3.7 Biodiversidad vegetal

Los páramos de esta zona forman parte de los *Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana* (Beltrán *et al*, 2010). Salgado y Cárte (2010) indicaron que el páramo de pajonal es la CVUT dominante, pero que existen también otros tipos de ecosistemas en porcentajes muy bajos de cobertura, como son bofedales, páramo almohadillas, zonas arbustivas, bosque siempre verde montano alto y bosques de polilepis. Los mismos autores describen las formaciones naturales del área de la siguiente manera:

-Entre los 3.500 y 4.000 m s.n.m. se encuentran los páramos arbustales o pajonales arbustivos altimontanos. La cobertura vegetal dominante de estos páramos corresponde a macollas pertenecientes a la familia Poaceae como *Anthoxanthum odoratum*, *Calamagrostis intermedia*, *C. rigida*, *Agrostis foliata* y *Festuca cf. procera*. Otras especies también dominan en los pajonales como *Valeriana plantaginea* (Valerianaceae), *Lachemilla orbiculata* (Rosaceae) y *Gunnera magellanica* (Haloragaceae), pertenecientes a formas de vida como roseta basal y hierbas prostradas.

-Los bofedales también se encuentran entre los 3.500 y 4.000 m s.n.m., esparcidos dentro de los páramos de pajonal. Presentan alrededor del 60% de lodo/agua y las especies dominantes son *cf. Bulbostylis*, *Uncinia* sp. (Cyperaceae), *Ranunculus flagellifolius* (Ranunculaceae) y *Plantago tubulosa* (Plantaginaceae). Están presentes especies de la familia Asteraceae como *Hypochaeris taraxacoides* y especies de la familia Cyperaceae como *Isolepis* sp.

-La zona de bosque corresponde a pequeños remanentes aislados que se encuentran inmersos en el pajonal. Están presentes el bosque montano y los bosques dominados por pocas especies. En el bosque montano secundario las especies más representativas por su dominancia, frecuencia y cobertura son la “quinua roja” *Gynoxys* sp. (Asteraceae), *Polylepis lanuginosa* (Rosaceae) conocido como “pashuazo” o “quinua blanca” y el “chumbil” *Clusia cf. multiflora* (Clusiaceae).

Castillo *et al* (2017) indicaron que los bosques dominados por pocas especies están conformados principalmente por *Polylepis reticulata*, *Bomarea glaucescens* e *Hypochaeris sessiliflora*.

### **3.2.4 Los páramos del Cajas (*Páramos Macizo del Cajas*)**

#### *3.2.4.1 Localización*

La zona donde se ubican las unidades de muestreo ( $n = 18$ ) está localizada en el lado *Este* del Parque Nacional Cajas y por lo tanto, sector *Norte* de todo el conglomerado de montañas que se conoce como el Macizo Cajas. El mismo que se encuentra en la parte sur de la cordillera occidental de los Andes ecuatorianos (Fig. 3.2.7). La zona de muestreo corresponde a las partes altas de la subcuenca hidrográfica del río Cuenca, la cual forma parte de la cuenca del río Paute (Beltran *et al*, 2013). Los páramos de este lugar proveen de agua potable a los habitantes de la ciudad de Cuenca y también contribuyen con agua a las hidroeléctricas más importantes del país (ETAPA, 2002a; ETAPA, 2002b).

El núcleo y área protegida de los páramos del Macizo Cajas es el Parque Nacional Cajas. Fue establecido como área protegida desde 1977 hasta alcanzar la categoría de Parque Nacional en 1996 y comprende 28.544 ha (ETAPA, 2012a). El páramo en este lugar se encuentra entre los 3.000 y 4.450 m s.n.m. (ETAPA, 2002b). Los glaciares del Pleistoceno han esculpido el paisaje y formado más de 235 lagos y lagunas (Coblentz y Keating, 2008).

Las unidades de muestreo con altos rangos de altitud ( $n = 10$ ) están localizadas a 3.645 m s.n.m., en el sector de Quinuas en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas (Fig. 3.2.8). Mientras que las unidades de muestreo con rangos más bajos de altitud ( $n = 8$ ) se encuentran a 3.225 m s.n.m., en la zona conocida como Yanasacha (Fig. 4.2.8.). Tanto para las unidades de mayor como de menor altitud se tomaron muestras de suelo bajo páramo y bajo las CVUT adyacentes de pino, pastizal y bosque secundario. La pendiente de ambos sitios específicos de muestreo es irregular, de ondulación moderada y con un grado de inclinación del 12 al 25%.

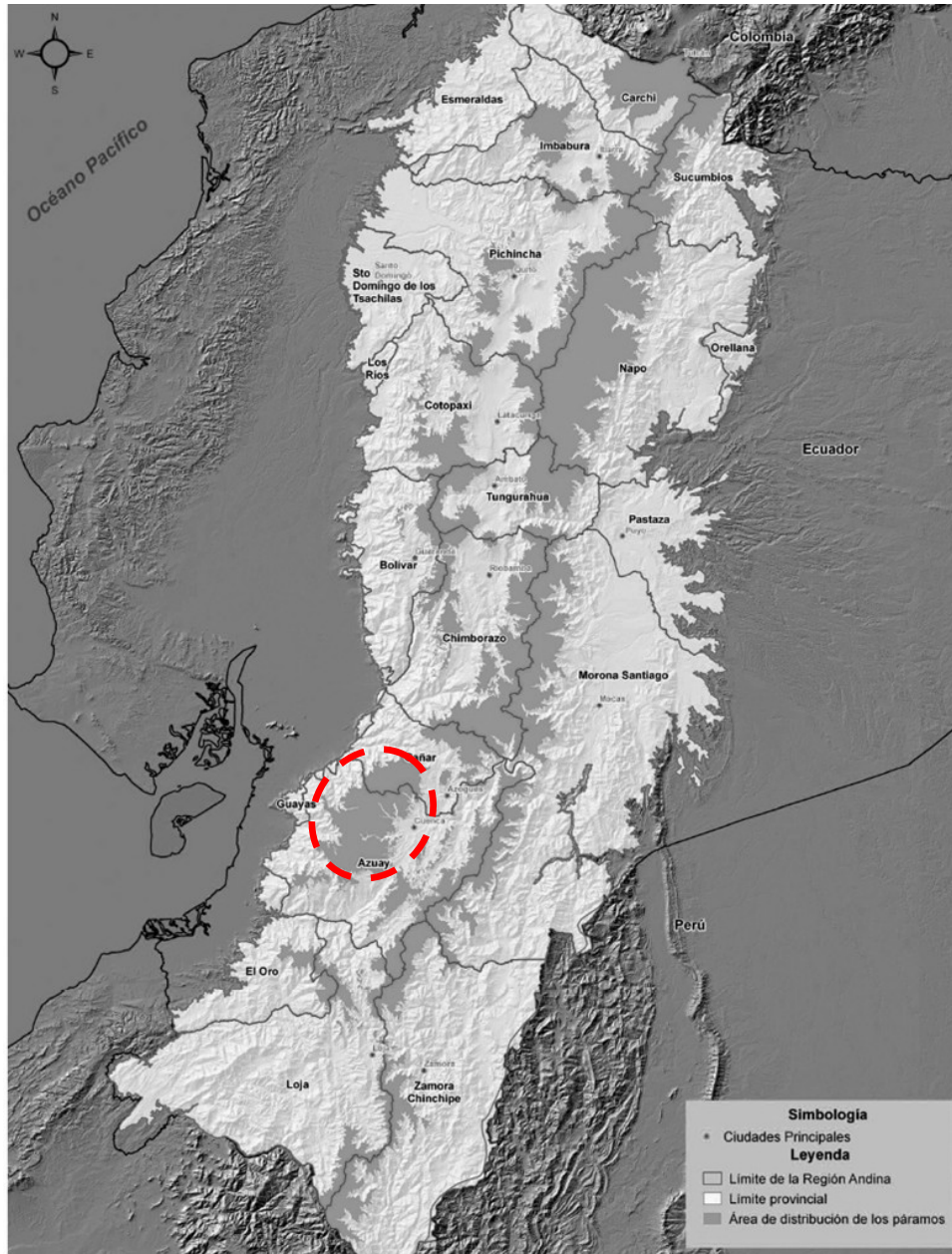


Figura 3.2.7. Localización de los páramos del Cajas (*Páramos Macizo del Cajas*) en la región altoandina de Ecuador. En círculo de color rojo se indica la localización de la zona (Mapa fuente: Beltrán *et al*, 2010).

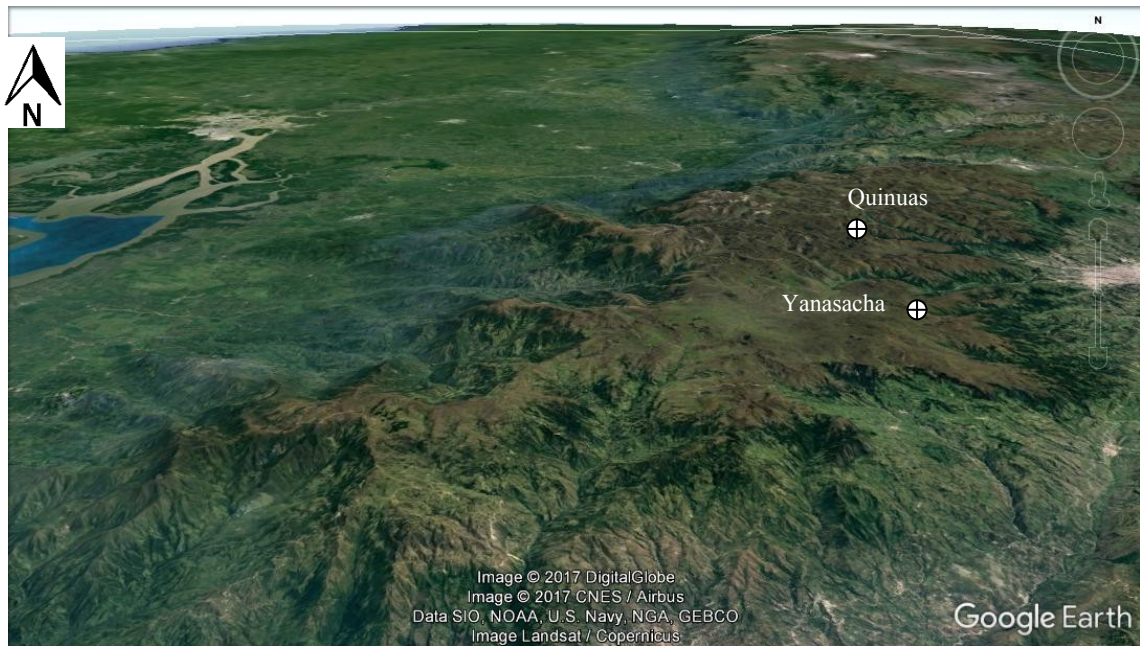


Figura 3.2.8. Fotografía satelital Landsat de los páramos del Cajas (*Páramos Macizo del Cajas*). Se señalan los lugares específicos de estudio, Quinuas y Yanasacha (Google Earth, 2017).

#### 3.2.4.2 Condiciones climáticas

El clima es frío y húmedo. La temperatura promedio entre los 2.800 y 4.000 m s.n.m es de 8 °C, la temperatura mínima es de 4 °C y la máxima de 12 °C (Montalvo *et al.*, 2018). Por su parte, la precipitación media anual es de 1.200 mm a<sup>-1</sup> (Ulloa *et al.*, 2010), el régimen de lluvias es bimodal y el número de días de lluvia es de 152 (INHAMI, 2016). Cabe indicar que en el Cajas llueve más que en la ciudad de Cuenca (Rodbell *et al.*, 2002). La precipitación media anual en Cuenca es de 880 mm a<sup>-1</sup>, mientras que en el Cajas ha llegado a superar los 2.000 mm a<sup>-1</sup> en las elevaciones más altas (Rodbell *et al.*, 2002).

#### 3.2.4.3 Geomorfología

Según el Plan de Manejo del PNC (ETAPA, 2002a) las principales características geomorfológicas de la zona son las siguientes:

- Relieve bastante ondulado, con una pendiente media aproximada de 54%. La geomorfología consiste en valles y llanuras accidentados, principalmente de formación glaciár. Las lenguas glaciáres han labrado en la corteza constituida por lava profundos valles de fondo plano y paredes abruptas, a los lados y en su cabecera. Estos valles son conocidos con el nombre de cajones glaciáricos o cajas.

- Las dos formas dominantes pertenecen al Holoceno, y son (1) terrazas y (2) depósitos coluviales y aluviales. Las terrazas están compuestas de material grueso de origen

volcánico (principalmente), cementados por arenas de diferente granulación; se les puede considerar como material fluvioglacial y aluvial antiguo, proveniente de las partes altas de la Cordillera Occidental. Los depósitos coluviales y aluviales, por su parte, se encuentran en las laderas de los valles, estando en formación hasta la actualidad; el material difiere de acuerdo a las formaciones que recubre.

#### 3.2.4.4 Geología

Los suelos del Cajas no se desarrollaron sobre las rocas subyacentes, sino que están compuestos de materiales eólicos (Harden, 2007). Sin embargo, las formaciones geológicas dominantes son las formaciones Tarqui y Turi, las cuales tienen de 1,0 a 2,0 millones de años de formación (IGM, 1982).

La formación Tarqui corresponde del Mioceno tardío al Plio-Pleistoceno y muestra una gran variedad de litologías, incluyendo riolítico a andesítico volcánico, brechas, tobas de flujo de ceniza, flujos piroclásticos e ignimbritas (ETAPA, 2002b). Contiene minerales meteorizables que han formado gran cantidad de complejos organometalicos (ETAPA *et al*, 2012). La capa es de unos 300 m de espesor; se observan gran cantidad de tobas aerotransportadas y en la parte superior muestra depósitos piroclásticos ácidos, a menudo alterados de color rojo oscuro y púrpura formando arcillas caoliníticas (Hungerbühler *et al*, 2002).

Por su parte, la formación Turi corresponde al Pleistoceno (IGM, 1982). El conglomerado es básicamente de origen volcánico pudiéndose observar fenocristales de hornablenda y feldespatos en una matriz afanítica de color gris; en ciertos lugares se incluyen capas de tobas cuarcíferas (ETAPA *et al*, 2012). Hungerbühler *et al* (2002) realizaron la siguiente descripción de la formación:

-Se encuentra sobre formaciones antiguas con marcada discordancia. Aparece en forma total, observándose la parte basal constituida de conglomerados que forman escarpas sobre las cuales viene una sucesión de capas guijarrosas, limosas y arenosas. La formación geológica Turi tiene unos 200 m de espesor disminuyendo hacia el Norte. El material conglomerático presenta cambios abruptos en el tamaño de los cantos según el buzamiento. La parte alta de la formación contiene argilitas y areniscas con cierto contenido de bloques angulares

#### 3.2.4.5 Suelos



Los suelos en El Cajas están formados sobre cenizas volcánicas (ETAPA, 2002b). Los suelos de El Cajas se refieren a menudo como suelos 'negro andinos', *Histosoles* o *Andisoles* hídricos (Coblens y Keating, 2008). Los suelos de la zona específica de estudio son Andosoles con grandes contenidos de MOS. En varios sectores de páramo del Macizo Cajas cercanos a la zona de estudio, bajo los diferentes tipos de CVUT, se han registrado altos porcentajes de COS (1,5 a 28,0 %) (Quichimbo *et al*, 2012). Según Harden (2007) sobre las montañas del Cajas ocurre un manto de suelos hísticos con epípedones melánicos típicos de 20-60 cm de espesor. Los cinco tipos de materiales característicos del subsuelo que se encuentra debajo de los epípedones son: (i) depósitos claramente identificables como morrenas; (ii) depósitos con clastos muy degradados, (iii) clastos rocosos rotos; (iv) rocas meteorizándose a arcillas; y (v) rocas moderadamente erosionadas con clastos distinguibles.

#### 3.2.4.6 *Uso de la tierra y Cobertura Vegetal*

El páramo de pajonal ocupa alrededor del 90,6% del área del parque, el porcentaje restante son cuerpos de agua y formaciones vegetales que existen en forma dispersa sobre el páramo (ETAPA, 2002a). Estas son: el bosque montano, los bosques de *Polilepys*, el páramo de almohadillas y el súper paramo o arenal. Según Buytaert *et al* (2008) los páramos del Cajas están bien conservados en comparación con otras regiones de Ecuador.

Sin embargo, en el trabajo de Hofstede *et al* (2002) las zonas correspondientes a los alrededores del parque (páramos que no están protegidos) se reportan como gravemente degradadas y transformadas. Se conoce que existen extensas zonas con plantaciones forestales de pino, principalmente *Pinus patula* y *P. monterrey*, con edades entre 25 y 30 años (Jara, 2001; Jara *et al*, 2005); además los pastizales ocupan grandes territorios en las áreas no protegidas del macizo Cajas e, incluso, se reconoce que un 10% del PNC tiene actividades de pastoreo (ETAPA *et al*, 2012). Para las zonas altas del macizo (que corresponden a la cuenca hidrográfica del Paute) se ha documentado que la erosión y la producción de sedimentos es alta (Vanacker *et al*, 2003).

#### 3.2.4.7 *Biodiversidad vegetal*

Todo el conjunto del ecosistema vegetal ha sido clasificado como la unidad fisiográfica *Páramos del Macizo Cajas* (Beltrán *et al*, 2009). Según el estudio de Flora del Páramo del Cajas de Ulloa *et al* (2010) este sistema ecológico está conformado por los siguientes hábitats y especies:

-El páramo de pajonal como un inmenso mar de paja con manchones de arbustos con hierbas coloridas domina el área protegida. La especie más importante es la gramínea *Calamagrostis intermedia*; varias herbáceas llamativas se encuentran esparcidas, entre las que podemos citar a: *Bartsia laticrenata*, *Gentianella longibarbata* y *Senecio chionogeto*.

-La vegetación arbustiva y arbórea se conforma de especies de arbustos con hojas gruesas y duras como *Berberis lutea*, *Chuquiraga jussieui* y *Pernettya prostrata*, entre muchos otros.

-Los parches de bosques esparcidos alrededor de las lagunas, en pendientes y barrancos, están compuestos principalmente por especies de los géneros *Polylepis* y *Gynoxys*.

-El páramo de almohadillas se encuentra en los sitios más húmedos. Está formado por plantas tan apretadas entre sí que forman especies de almohadones. Entre las más notorias se encuentran *Azorella pedunculata* y *Plantago rigida*.

Según Minga *et al* (2016) en el páramo del Cajas se encuentran alrededor de 500 especies de plantas vasculares pertenecientes a 243 géneros y 70 familias. La familia más numerosa es la de las compuestas (Asteraceae o Compositae) con 85 especies, seguida por las pteridofitas (helechos) con 64, Poaceae (pastos) con 42, Rosaceae con 22, Cyperaceae con 16, y Apiaceae, Gentianaceae, Juncaceae y Valerianaceae con 12 especies cada una (Ulloa *et al* 2010). En el PNC se han registrado 71 de las más de 4000 especies de plantas endémicas ecuatorianas; de éstas, 10 especies son endémicas del Cajas, es decir que solo existen en este lugar y no se encuentran en ninguna otra parte del mundo (Minga *et al*, 2016).

### **3.2.5. Páramos de Oña-Yacuambi (*Páramos de Azuay, Morona Santiago y Zamora Chinchipe*)**

#### *3.2.5.1 Localización*

La zona donde se ubican las unidades de muestreo ( $n = 12$ ) está localizada en la parte sur de la cordillera oriental de los Andes ecuatorianos (Fig. 3.2.9) y forma parte del área protegida denominada Área de Bosque y Vegetación Protectora (ABVP) de la Subcuenca alta del río León y microcuencas de los ríos San Felipe de Oña y Shincata, declarada así oficialmente en 2010 (Registro Oficial del Gobierno de Ecuador, 2010). Esta zona forma parte de la unidad fisiográfica vegetal denominada *Paramos de Azuay, Morona Santiago y Zamora Chinchipe* (Beltrán *et al*, 2009) y se encuentran en la vía Saraguro-Yacuambi.

El ABVP tiene una superficie total de 57.043,67 ha; se encuentra en un rango altitudinal que va desde los 2.320 hasta los 3.800 m s.n.m. y se localiza en las provincias de

Azuay, Zamora Chinchipe y Loja (MAE y GIZ, s/a). El mayor porcentaje de las microcuencas se sitúa dentro de los cantones Nabón, Oña y Yacuambi (GAD de Oña, 2014).

Las unidades de estudio a menor altitud ( $n = 6$ ) se encuentran en el sector denominado Río Negro a 3.380 m s.n.m., mientras que las unidades de estudio de mayor altitud ( $n = 6$ ) se encuentran en el sector denominado Tres Lagunas a 3.782 m s.n.m. (Fig. 3.2.10). En ambas altitudes se tomaron muestras compuestas de suelo bajo la CVUT de Páramo y las adyacentes de Pino y Bosque secundario. Según el “Plan Maestro para Áreas de Conservación y Gestión Sostenible en el Austro del Ecuador” de MAE y GIZ (s/a), el área de Shincata (donde se encuentran los sitios de este estudio) comprende una superficie de 70 km<sup>2</sup> de humedales.

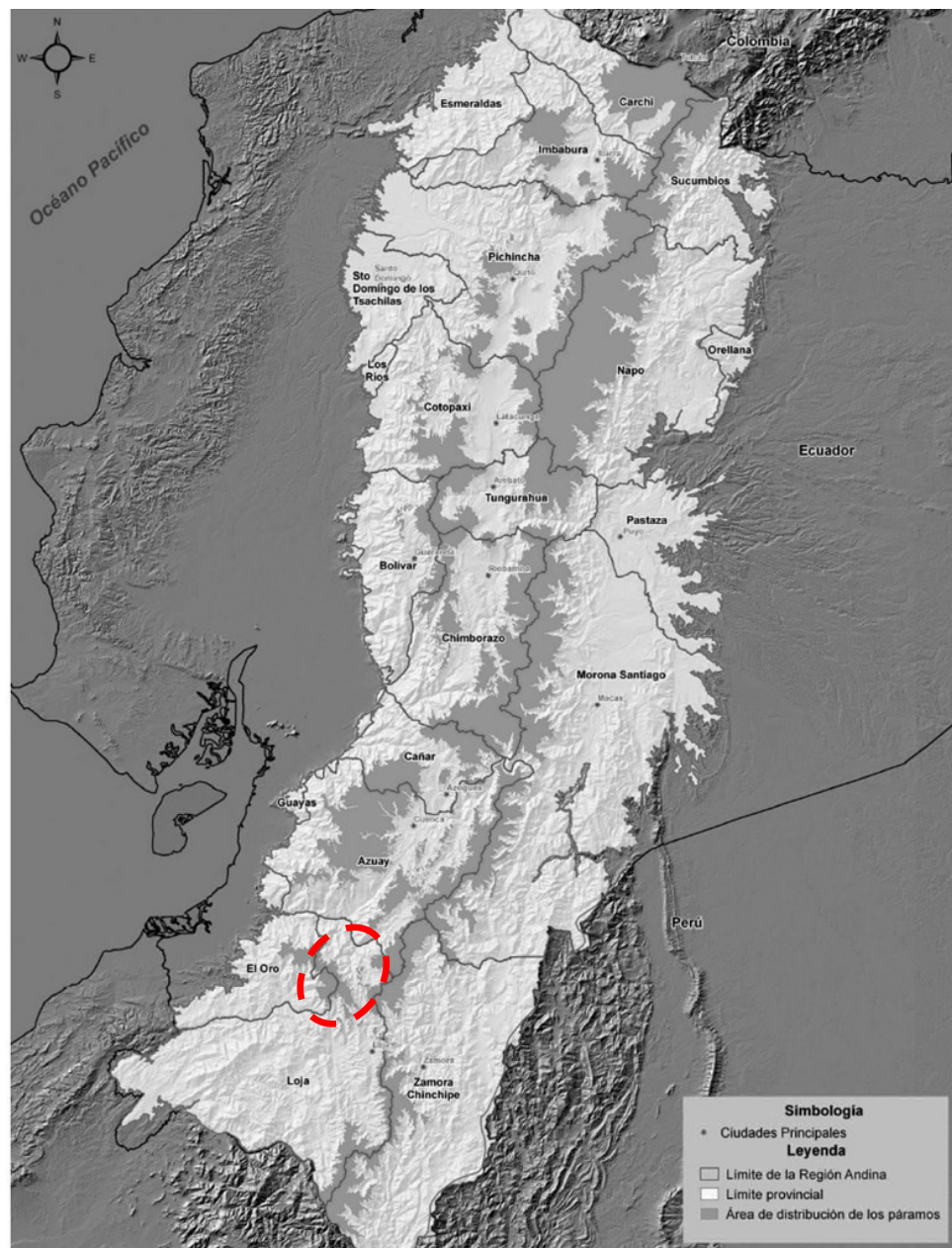


Figura 3.2.9. Localización de los páramos de Oña-Yacuambi (*Páramos de Azuay, Morona Santiago y Zamora Chinchipe*) en la región alto-andina de Ecuador. En círculo de color rojo se indica la localización de la zona (Mapa fuente: Beltrán *et al*, 2010).



Figura 3. 2.10. Fotografía satelital Landsat de los páramos de Oña-Yacuambi (*Páramos de Azuay, Morona Santiago y Zamora Chinchipe*). Se indican los sitios específicos de muestreo, Río Negro y Tres Lagunas (Google Earth, 2017).

### 3.2.5.2 Condiciones climáticas.

Según el promedio obtenido para el periodo 2002-2012 con datos de la estación pluviométrica más cercana a la zona de estudio San Lucas M-423 (INAMHI, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012) la precipitación normal acumulada es de 1.429 mm a<sup>-1</sup>(±119) y el número de días de lluvia es de 239 (±15). Según la información del Plan de ordenamiento territorial del GAD de Urdaneta (2015) la temperatura media anual en la zona varía entre 10 y 14 °C.

### 3.2.5.3 Geomorfología

A partir de los 2.800 m s.n.m. es posible apreciar una extensa superficie, relativamente plana, con algunas colinas y numerosas zonas deprimidas en donde los ríos describen cursos meándricos, además se observan numerosos complejos de lagunas y humedales, siendo las pendientes predominantes, las moderadas y las fuertes (Santos, 2010).

De acuerdo con MAE *et al* (2009) la topografía es variable e irregular; va desde relieves colinados suaves hasta zonas con relieves abruptos; el 39,3% de los terrenos del ABVP son de pendiente moderada (5 a 10°) y equivalen a 22.390 ha; el 33,5% son de pendiente horizontal (0 a 2°) y comprenden 19.118 ha; y el 16,1% son de pendiente suave (2 a 5°) y ocupan 9.171 ha. El porcentaje restante correspondería a las zonas escarpadas.

#### 3.2.5.4 Geología

La zona está localizada en la parte sur de la cordillera oriental de los Andes ecuatorianos (Fig 3.2.9.), y con base en la información del mapa geológico del Ecuador (IGM, 1982), se puede indicar que la formación geológica dominante es la formación Zamora, la cual tiene más de 400 millones de años y esta constituida por esquistos, cuarcitas y gneis, que es una roca metamórfica con una estructura anillada o foliada, típicamente de grano grueso y consistente principalmente de feldespatos, cuarzo y mica.

#### 3.2.5.5 Suelos

De acuerdo con la información del Plan de Ordenamiento Territorial de Oña (GAD de Oña, 2014), los suelos del ABVP son en su mayoría *Mollisoles*, *Inceptisoles* e *Histosoles*, y particularmente en los sectores denominados Río Negro y Tres Lagunas (donde están las parcelas de estudio), los suelos son *Histosoles*. Según lo reportado por Villarroel (2010) es muy frecuente la presencia de bofedales y turbas con altos contenidos de MOS (43,8 – 47,3 %) y pH ácidos (4,9 – 5,1). Según el mapa general de suelos del Ecuador de IGM y SECSUELO (1986) son suelos saturados con agua permanentemente gleizados (colores grises), de pH ácido y horizonte superior rico en MOS meteorizada sobre suelo alofánico; pueden ser de colores pardos o negros.

#### 3.2.5.6 Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra

El páramo es el ecosistema que predomina en el ABVP se distribuye formando mosaicos (páramo-vegetación arbustiva-bosque natural) ocupando el 41,4% y en forma solitaria el 31,4 %, la vegetación arbustiva (solitaria) representa el 11%, el bosque natural (solitario) el 5,2%, las plantaciones forestales el 5,1% y los pastos plantados el 4,2% (MAE *et al*, 2009).

El ABVP presenta un estado de conservación regular; son evidentes varios tipos de intervención antrópica en el área como, por ejemplo, quemadas, construcción de vías, canales de riego y minería y, además, en varios sectores se observa plantaciones con especies exóticas, especialmente *Pinus sp.* (MAE y GIZ, s/a). También se ha reportado que el 37% del ABVP está concesionada para minería (sin especificar qué tipo) (Vandegrift *et al*, 2018).

#### 3.2.5.7 Biodiversidad vegetal

Según la información del Plan de Manejo de esta ABVP (MAE *et al*, 2019), la descripción de la diversidad de formas de vida vegetal es la siguiente:

-En el páramo herbáceo predomina la vegetación herbácea especialmente de la familia Poaceae, con los géneros *Calamagrostis* y *Agrostis*; además también existen una cantidad variable de plantas de almohadillas (como *Azorella*, *Oreobolus* y *Eriocaulon*, *Geranium*) y arbustos pequeños con hojas coriáceas, especialmente de la familia Ericaceae y Asteraceae.

-En el páramo arbustivo la vegetación característica es notablemente diferente a la correspondiente de los páramos del norte del país; las especies arbustivas y herbáceas características son principalmente de los generos *Puya*, *Neurolepis*, *Miconia*, *Oreocallis*, *Weinmannia* y *Blechnum*.

-En el bosque montano, comúnmente denominado “bosque denso”, se han reportado 78 especies entre árboles, arbustos e hierbas. Entre las especies arbustivas más frecuentes, con poblaciones muy considerables dentro de ese ecosistema, están: *Podocarpus oleifolius* (Guavisay), *Prumnopitys montana*; *Clusia alta* (Duco), *Sarar Weinmannia spp*, *Persea ferruginea* (Pacarcar) y *Ceroxylon parvifrons* (Palma de ramos) entre otras. Estos bosques se destacan por presentar una diversidad considerable de orquídeas del género *Pleurothallis*, *Epidendron* y *Odontoglossum*.

### **3.2.6 Páramos de Loja (*Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus*)**

#### *3.2.6.1 Localización*

La zona donde se ubican las unidades de muestreo ( $n = 8$ ) está localizada en la parte *Sur* de la Cordillera Oriental de los Andes ecuatorianos (Fig. 3.2.11). Para estos páramos, el sistema ecológico vegetal propuesto se denomina *Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus* (Fig. 3.2.12; Beltrán *et al*, 2009). Los sitios de muestreo están a 2.772 m s.n.m., localizados en la microcuenca del río Zamora Huayco en Loja (junto al Parque Nacional Podocarpus) en la zona conocida como Reserva El Madrigal del Podocarpus (Piedra *et al*, 2016). La unidad hidrográfica del Zamora Huayco tiene un área de 3.728 ha (Ochoa-Cueva *et al*, 2013) y se estima que contribuye con al menos el 40% del agua que abastece a la ciudad de Loja (Zapata *et al*, 2009). Se tomaron muestras de suelo bajo la CVUT de Páramo ( $n = 2$ ) y bajo las coberturas vegetales adyacentes de Pino ( $n = 2$ ), Pastizal ( $n = 2$ ) y Bosque montano secundario ( $n = 2$ ). La pendiente de estos sitios es entre 12 y 15°.

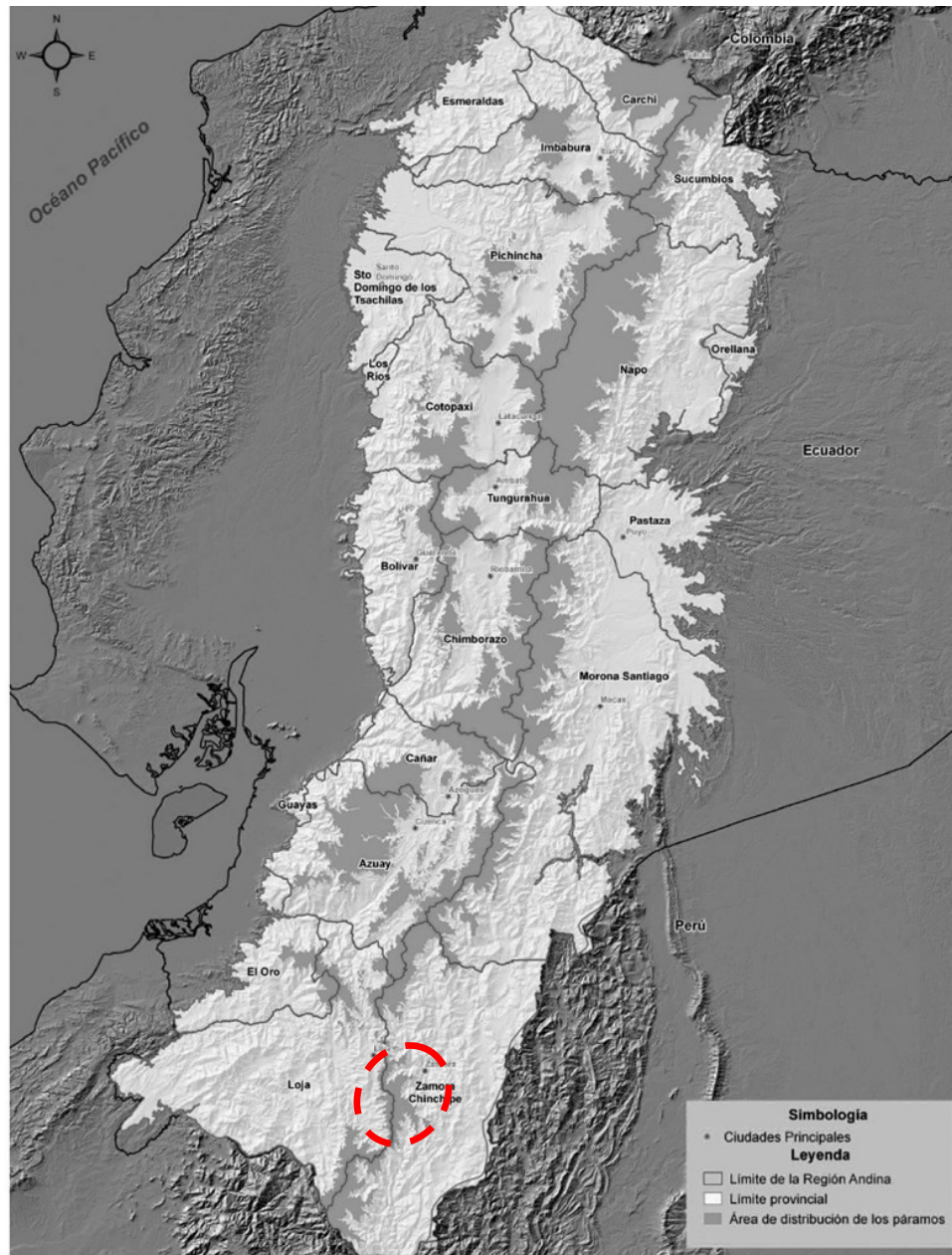


Figura 3.2.11. Localización de los páramos de Loja (*Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus*) en la región alto-andina de Ecuador. En círculo de color rojo se indica la localización de la zona (Mapa fuente: Beltrán *et al*, 2010).

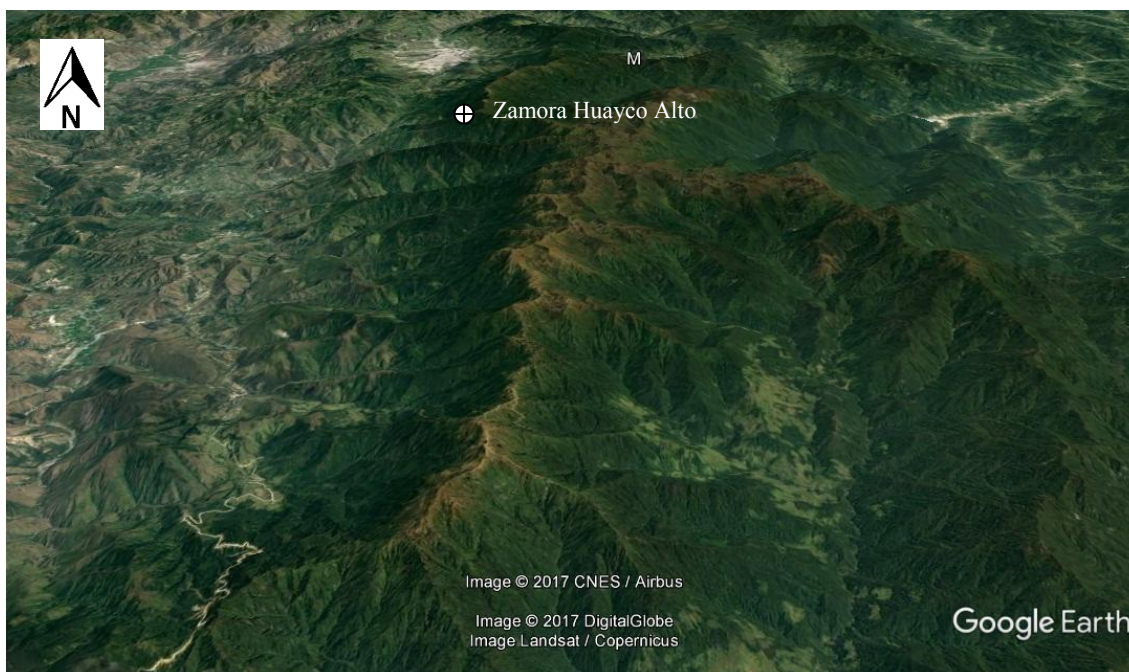


Figura 3.2.12. Fotografía satelital Landsat de los páramos de Loja (*Páramos de Lagunillas -Piura-Podocarpus*). Se indica el sitio específico de muestreo, Zamora Huayco Alto (Google Earth, 2017).

### 3.2.6.2 Condiciones climáticas

Según la estación meteorológica más cercana, la Argelia del INAMHI (2016), la precipitación normal acumulada es de  $950,5 \text{ mm a}^{-1}$ , el número de días de lluvia es de 263 y la temperatura promedio es de  $16,1^{\circ}\text{C}$ . En un análisis para los años 2000-2014 se vió que los meses más lluviosos son de enero a mayo y de octubre a diciembre (Samaniego-Rojas *et al*, 2015). Por su parte, la humedad promedio es de  $74,2\%$  (Piedra *et al*, 2016).

### 3.2.6.3 Geomorfología

De acuerdo con la información de IGM y SECSUELO (1982) las formas dominantes son cuencas sinclinales. Por su parte, y de acuerdo a la información del portal IEE (2018), la geomorfología dominante que corresponde a esta zona es la Tectónica-Erosiva, siendo algunas formas comunes vertientes y laderas.

La mayor parte de la microcuenca del Zamora Huyaco ( $48,6\%$ ) es de pendiente fuertemente quebrada y se encuentra en el rango de  $25-50^{\circ}$ , la otra mayor parte ( $42,9\%$ ) se encuentran en el rango de  $12$  a  $25^{\circ}$  es decir fuertemente ondulado, un  $5,7\%$  tiene pendientes onduladas de  $2$  a  $7^{\circ}$  y en un  $2,8\%$  el área tiene pendientes escarpadas en rangos mayores a  $50^{\circ}$  (Ochoa-Cueva *et al*, 2008). Los sitios de muestreo fueron de pendiente fuertemente ondulada.



#### 3.2.6.4 Geología

Según Ochoa-Cueva *et al* (2013) la zona corresponde a una geología compuesta por rocas sedimentarias con una base litológica variable de rocas metamórficas que incluye pizarras, conglomerados y areniscas superpuestas. Con base en la información del mapa geológico del Ecuador (IGM, 1982) se puede indicar que en la zona la formación geológica dominante pertenece a la serie Zamora (rocas metamórficas del Paleozoico) que tiene más de 400 millones de años y está constituida por esquistos, cuarcitas y gneis (roca metamórfica de estructura anillada o foliada, de grano grueso y consistente, principalmente de feldespato, cuarzo y mica).

#### 3.2.6.5 Suelos

Los suelos de la zona del Parque Nacional Podocarpus y sus alrededores son *Entisoles* e *Inseptisoles* (Eguiguren *et al*, 2015). Son rojos o pardo amarillentos, arcillosos, con presencia de caolinitas en superficie y montmorillonita en profundidad y saturación de bases >50% (OEA *et al*, 1994). Los perfiles de suelo reportados para la zona por el IEE (2013f; 2013g; 2013h) indican que son suelos franco arcillosos con densidad aparente promedio de 1,0 g/cm<sup>3</sup> y contenidos de COS entre 1,5 y 5,8%.

#### 4.2.6.6 Cobertura vegetal y uso de la tierra

De acuerdo con Ochoa-Cueva *et al* (2008) la microcuenca del río Zamora Huayco es una zona en la que han ocurrido gran cantidad de incendios y se ha estimado que la tasa de pérdida de cobertura vegetal original fue de 0,94 entre 1976-2001, siendo actualmente, la CVUT pastizales y plantaciones de pino, que cubren el 51,5% del área total, mientras que la CVUT de páramo arbustivo y fragmentos de bosque natural cubre el 48,5%. Se han realizado varios esfuerzos por mejorar esta situación, por ejemplo, la zona Reserva del Madrigal del Podocarpus tiene 12 años de estar bajo protección (Piedra *et al*, 2016).

#### 3.2.6.7 Biodiversidad vegetal

Según la propuesta de Beltrán *et al* (2009) esta zona está dominada por “Pajonales Altimontanos y Montanos Paramunos” (páramo de pajonal) y “Pajonales Arbustivos Altimontanos Paramunos” (páramo arbustivo) cuya alianza corresponde a Pajonales de *Neurolepis elata*, *Bryophyta sp.* y *Arcytophyllum setosum*. Para Valencia *et al* (1999) en el Páramo arbustivo las hierbas en penacho son reemplazadas por arbustos, hierbas de varios

tipos, plantas en roseta y, especialmente en los páramos más húmedos, por plantas en almohadilla. Pueden aparecer pequeños árboles de los géneros *Polylepis* y *Escallonia*.

Los “Arbustales Bajos y Matorrales Altoandinos Paramunos” (bosques de Chaparro), son también frecuentes, e incluyen como alianza a los Arbustales bajos y Matorrales de *Gynoxys buxifolia* y *Escallonia myrtilloides* (Beltrán *et al*, 2009). Según Lozano, (2002) estas formaciones se denominan también Matorral húmedo montano y están incluidas en algunas clasificaciones dentro de los bosques montanos, siendo algunas de las especies más comunes: *Freziera verrucosa*, *Baccharis latifolia*, *Mutisia magnifica*, *Cleome longifolia*, *Elaphoglossum sp.*, *Tibouchina laxa*, *Paspalum humboldtianum*, *Brugmansia arborea*, *Cestrum tomentosum*, *Streptosolen jamesonii*, *Passiflora ligularis*, *Myrsine sodiroana*, *Roupala obovata* y *Amicia glandulosa*.

Para Aguirre-Mendoza *et al* (2015) en esta zona también existe Páramo herbáceo bambusoide y se distingue por la presencia de vegetación abierta de bambúes como *Chusquea neurophylla*, *Chusquea laegardii* y especies como *Calamagrostis macrophylla*, *Bartsia orthocarpiflora*, *Geranium acaule* y *Isidrogalvia falcata*.

### **3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS BIOTOPOS Y LAS COMUNIDADES VEGETALES DE ESTUDIO**

En diferentes estudios ecológicos se evidencia que los conceptos de biotopo y biocenosis son muy útiles para examinar la relación entre los diferentes organismos (o comunidades de organismos) y las características de su medio ambiente (Prévost *et al*, 2004; Bireescu *et al*, 2008a; Czylok ySzymczyk, 2009; Sima, 2011). Se ha visto que permiten particularmente discernir y entender mejor los procesos ecológicos como, por ejemplo, en las investigaciones de Zwolinski (1990), Kesh *et al* (1997), Mulochau *et al* (2007) y Khedher (2014); además también permiten tener criterio para diseñar el tipo de muestreo y definir los rangos de dimensión espacial de los estudios (Olenin y Ducrotoy, 2006; Czerniak y Poszyler-Adamska 2007; Bireescu *et al*, 2008b; Trofimov. 2009). Por ello, con el fin de examinar la MOS bajo diferentes CVUT y en diferentes zonas andinas del país (estudio ecológico) se realizó una definición y caracterización de biotopos y de comunidades vegetales, objeto de estudio.

Dahl (1908) propuso que el biotopo es el territorio o espacio vital cuyas condiciones ambientales son las adecuadas para que en él se desarrolle una determinada comunidad de seres vivos (Schreiber, 1990). También se ha propuesto que biotopo es un conjunto de condiciones ambientales donde es posible el desarrollo y la vida de determinadas

comunidades de organismos (Whitaker *et al*, 1973; Petruta *et al*, 2009). Para que un biotopo pueda ser considerado como tal, debe tener principalmente una característica o varias de uniformidad de los hábitats y, además, el tamaño suficiente como para contener las comunidades biológicas que son objeto de estudio (Hiscock y Tyler-Walters, 2003; Olenin y Ducrotoy, 2006; Ducrotoy, 2010; Sanchez y Pontes, 2010; Qiu et al, 2010).

En las zonas Alto-Andinas elegidas para este estudio, las condiciones ambientales fuertemente marcadas presentan uniformidad muy clara y ocurren en áreas de extensión considerables, lo cual permiten distinguir (sin dudas ni errores) un grupo de páramos con determinadas condiciones de otro grupo diferente; las condiciones son: (a) aislamiento biogeográfico; (b) geológicas; (c) climatológicas (precipitación y temperatura); y (c) de estado de conservación e historia del uso del suelo. Además, estas condiciones de uniformidad tienen un área suficientemente grande para abarcar las principales comunidades vegetales que son objeto de estudio. Con base en esas consideraciones se definieron y caracterizaron los siguientes 6 biotopos de páramo (Fig. 3.3.1.).

| Código    | Nombre propuesto para biotopo                 | Coordenadas geográficas  | Isla geográfica vegetal                                   | Sector de la isla | Cordillera | Subregión Andina | Formación geológica  | Suelos  | Geomorfología   | Relieve  | Condiciones climáticas   | Estado de conservación   | Comunidades vegetales   | Escala cobertura abundancia | Escala de sociabilidad |
|-----------|---|--|---|-------------------|------------|------------------|--|---|---|--|--|--|---|-----------------------------|------------------------|
| Biotopo 1 | Zona oeste de los Páramos del Ángel           | 0°42'57.48"N<br>78° 0'2.52"W<br>0°44'34.82"N<br>78° 1'33.31"W  | Páramos de Galeras-Chiles                                 | oeste             | Occidental | Norte y Centro   | Altar (1 a 13 millones de años), andesitas, lavas y piroclásticos (IGM, 1982). Rocas volcánicas cenozoicas: series calc-alcalina y andesita-dacite (Hörmann y Pichler 1982; Stern 2004).   | Andosoles, alofanos (3.0 ± 2.6%) y abundantes complejos orgánicos de Al y Fe, e hidróxidos de Al y Fe (Jansen <i>et al.</i> , 2006).  | Meseta alta y húmeda, recubierta por material volcánico y modelado por la glaciación (MAE, 2015).   | Ondulado (20 a 30°) y suavemente ondulado (5 a 10°); MAE, 2015.  | 973 mm a <sup>-1</sup> ; 148 días de lluvia; 11.5 °C (INAMHI, 2016)  | Áreas perturbadas en recuperación. Tipo de perturbación: Incendios y ganadería (Moscol-Olivera, 2010)  | (I) Páramo de frailejones<br>(II) Plantaciones de Pino ( <i>Pinus patula</i> )<br>(III) Pastizales<br>(IV) Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo (secundario) | 5<br>1<br>2<br>+            | 5<br>2<br>2            |
| Biotopo 2 | Zona centro oeste de los Páramos del Cotopaxi | 0°38'44.00"S<br>78°29'51.02"W<br>0°40'42.75"S<br>78°32'33.87"W | Páramos del Norte de la Cordillera Oriental Ecuatoriana   | centro-oeste      | Oriental   | Norte y Centro   | Cangagua y Cotopaxi del Holoceno de 0,6 a 1 millón de años (IGM, 1982). Lavas andesíticas, piroclásticos, cenizas y piedra pómez (Pistolesi, 2008). Arenas y gravas -muy pocos limos y arcillas- (Ettinger <i>et al.</i> , 2014) | Troporthents (entisoles) y Vitrandepts (inceptisoles), son suelos arenosos derivados de materiales piroclásticos (MAE, 2010)  | Cono simétrico con 3000 m de relieve, sobre este, dos estratovolcanes. Drenajes descienden desde el Cotopaxi dando formas quebradas al terreno. Las predominantes ondulado y moderadamente ondulado (Mothes, 2009). | Colinado (25-50°) y Moderadamente ondulado (12-25°); MAE, 2010.  | 500 mm a <sup>-1</sup> ; 132 días de lluvia (INAMHI, 2016); 10.5 °C (SECSUELO, 1986).  | Áreas perturbadas. Tipo de perturbación: naturales (material volcánico reciente) y antropogénicas -ganado y plantaciones para madera- (MAE, 2010; Farley Kelly, 2014)  | (II) Páramo de Pajonal<br>(III) Planataciones de pino ( <i>Pinus radiata</i> )  | 5<br>1                      | 5<br>2                 |
| Biotopo 3 | Zona sur de los Páramos del Chimborazo        | 1°33'4.34"S<br>78°50'3.14"W<br>1°32'35.85"S<br>78°48'59.72"W   | Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana | sur               | Occidental | Norte y Centro   | Altar y Latacunga (2.5 a 1.5 millones de años) Lavas Andesíticas y piroclásticos, además tobas de pómez, Ignimbritas, volcanoclasticos (IGM, 1982). Conglomerados del cretácico superior (MAE, 2006).                            | Andosoles con texturas franco-arenosas. Typic Hapludands, Vitric Hapludands, Humic Vitricryands, Vitrics Melanocryands (IEE, 2017a; 2017b; 2017c; 2017d)  | Cuencas sinclinales, depresiones y valles (IGM y SECSUELO, 1986). formas dominantes son Fluvio Glaciar, y Glaciar y Periglaciar, y Vertiente de valle glaciar (IEE, 2018).  | Pendientes regulares del 12% al 25% (sitio específico) y pendientes fuertes (25-50°); MAE, 2006.         | 660 mm a <sup>-1</sup> ; 111 días de lluvia; 10.2 °C (INAMHI, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012); INAMHI, 2012          | Área perturbada. Tipo de perturbación: Incendios, cultivo de papa, ganado vacuno y camélidos (MAE, 2006; Samaniego y Romero, 2012; Castro, 2016)                       | (II) Páramos de Pajonal<br>(II) Plantaciones de Pino ( <i>Pinus patula</i> )<br>(III) Pastizales<br>(IV) Páramo degradado   | 5<br>1<br>2<br>2<br>1       | 5<br>2<br>2<br>2       |
| Biotopo 4 | Zona este de los Páramos del Cajas            | 2°46'54.64"S<br>79°11'28.45"W<br>3° 0'43.06"S<br>79° 7'54.63"W | Páramos Macizo del Cajas                                  | este              | Occidental | Sur              | Tarqui y Turi (1 a 2 millones de años) y cenizas volcánicas del holoceno (IGM, 1982).  | Andosoles no alofanicos. Formados de cenizas volcánicas. Suelos hísticos con epípedos melánicos. Histosoles o andisoles hídricos (Coblens y Keating, 2008).   | Valles y llanuras accidentados, principalmente de formación glaciar. - Las dos formas dominantes pertenecen al Holoceno, son terrazas y depósitos coluviales y aluviales (ETAPA, 2002a).                            | Bastante ondulado, pendiente media aproximada de 54% (ETAPA, 2002a)                                      | 1.200 mm a <sup>-1</sup> ; 152 días de lluvia (INAMHI, 2016); 8 °C (Montalvo <i>et al.</i> , 2018)   | Áreas poco perturbadas (Boyauet <i>et al.</i> 2008). De intensidad media, recientes. Tipo de perturbación: Carretera, Turismo y Ganadería (ETAPA <i>et al.</i> , 2012) | (I) Páramos de Pajonal<br>(II) Plantaciones de Pino ( <i>Pinus patula</i> )<br>(IV) Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo (secundario)<br>(III) Pastizales    | 5<br>1<br>+<br>2            | 5<br>2<br>2            |
| Biotopo 5 | Zona oeste de los Páramos de Oña-Yacuambi     | 3°34'45.27"S<br>79° 3'41.32"W<br>3°35'25.48"S<br>79° 6'50.59"W | Páramos de Azuay, Morona Santiago y Zamora Chinchipe      | oeste             | Oriental   | Sur              | Zamora (400 millones de años); esquistos, cuarcitas y gneis (IGM, 1982)  | Histosoles (GAD, 2014); MOS (43.83- 47.28 %) y pH ácidos (4.9 - 5.1; Villarreal, 2010)  | Una extensa superficie relativamente plana, con algunas colinas y numerosas zonas deprimidas en donde los ríos describen cursos meándricos (Santos, 2010)   | Colinados suaves, pendientes moderadas -5 a 10°- y pendientes suaves -0 a 2°- (MAE <i>et al.</i> , 2009) | 1.429 mm a <sup>-1</sup> ; 239 días de lluvia, 11 °C (INAMHI, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012); GAD de Urdaneta, 2015 | Áreas poco perturbadas, perturbaciones suaves recientes (MAE y GIZ, s/a)   | (I) Páramos de Pajonal<br>(II) Plantaciones de Pino ( <i>Pinus patula</i> )<br>(IV) Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo (secundario)                        | 5<br>1<br>+                 | 5<br>2<br>2            |
| Biotopo 6 | Zona oeste de los Páramos de Loja             | 4° 6'27.73"S<br>79°11'17.71"W                                  | Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus                    | oeste             | Oriental   | Sur              | Zamora (400 millones de años); esquistos, cuarcitas y gneis (IGM, 1982)  | Entisoles e Inceptisoles (Eguiguren <i>et al.</i> , 2015). Franco arcillosos con densidad aparente promedio de 1 g/cm <sup>3</sup> y contenidos de COS entre 1.46 y 5.79% (IEE, 2017a; 2017b; 2017c). | Formas dominantes son cuencas sinclinales (IGM y SECSUELO, 1986). Geomorfología dominante: Tectónica-Erosiva, formas comunes: vertientes y laderas (IEE, 2008)  | Fuertemente Ondulado 12 a 25 °, Ochoa-Cueva <i>et al.</i> , 2012   | 950 mm a <sup>-1</sup> ; 263 días de lluvia, 16.1 °C (INAMHI, 2016)  | Áreas perturbadas en recuperación, tipo de perturbación: Incendios y ganadería (Ochoa <i>et al.</i> , 2008)  | (I) Páramos de Pajonal<br>(II) Plantaciones de Pino ( <i>Pinus patula</i> )<br>(IV) Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo (secundario)<br>(III) Pastizales    | 5<br>2<br>+<br>2            | 5<br>2<br>3<br>3       |

Figura 3.3.1. Definición y caracterización de los biotopos Alto-Andinos de estudio

La caracterización de los biotopos precisó primero recorrer las zonas de estudio para identificar las comunidades vegetales -objeto de evaluación- y seleccionar las parcelas (método clásico de Braun–Blanquet, 1932).

La comunidad vegetal puede definirse como una combinación de especies de plantas que son dependientes de su ambiente, ejercen una mutua influencia y modifican el lugar donde se encuentran (Roig, 1973; Van der Maarel, 1975; Wikum y Shanholtzer, 1978; Townsend, 1989; Simberloff y Dayan, 1991; Palmer y White, 1994). Para Braun–Blanquet (1932) las comunidades vegetales son consideradas la unidad básica de clasificación taxonómica y deben presentar homogeneidad fisonómica, homogeneidad florística (determinada composición de especies debe repetirse en toda el área) y homogeneidad ecológica. Cabe indicar que homogeneidad es un concepto bastante relativo, raras veces hay dos lugares iguales (FCNYM, 2016), sin embargo, también la mayor parte de las veces es posible distinguir visualmente un grupo de especies que viven en conjunto con rasgos morfológicos similares, a los de otro grupo distinto.

En los recorridos realizados a lo largo 6 zonas Alto-Andinas de interés se examinaron los diferentes grupos de plantas agrupadas o agregadas que se encontraron. Para considerar que se trataba de una comunidad vegetal se verificó (según lo indicado en párrafo anterior) que cada grupo presente homogeneidad fisonómica, homogeneidad florística y homogeneidad ecológica.

Se encontraron 9 tipos de comunidades vegetales clara y marcadamente definidas, estas son: (I) Páramo de frailejones, (II) Plantaciones de Pino (*Pinus patula*), (III) Pastizales, (IV) Bosque siempre verde montano alto, (V) Páramo herbáceo. (VI) Plantaciones de pino (*Pinus radiata*), (VII) Páramo degradado, (VIII) Páramos arbustivos, (IX) Arbustales Bajos y Matorrales Altoandinos Paramunos.

Se registró el hábito de vida de cada comunidad, el tamaño del área que ocupan todo el grupo comunitario, la forma del área que ocupa y las especies vegetales dominantes (Van der Maarel, 1975). A continuación, se explican las características generales de cada comunidad vegetal:

(I) Páramo de frailejones (Valencia *et al*, 1999) También denominado “Rosetal caulescente y herbazal del páramo” (MAE *et al*, 2013) y como “Arbustales y Frailejonales Altimontanos Paramunos” (Josse *et al*, 2009). Es una comunidad vegetal donde la mayor parte de las especies son de hábito herbáceo y se caracteriza por la presencia de frailejones (*Espeletia pycnophylla*). Es la comunidad vegetal predominante que cubre la mayor parte de los Páramos de Chiles-Galeras y no está presente en las otras áreas fisiográficas de páramo

ecuatoriano. Las especies dominantes de esta comunidad son *E. pycnophylla* y gramíneas de los géneros *Agrostis* y *Calamagrostis*.

(II) Plantaciones de Pino (*Pinus patula*). Son comunidades vegetales artificiales de hábito arbóreo que fueron sembradas para capturar carbono principalmente. Son la especie de pino más común en los Andes ecuatorianos (con excepción de la zona del Cotopaxi). Las edades de las plantaciones por lo general están entre los 15 y 30 años de edad, pudiendo existir ocasionalmente también rodales de 10 y de más de 30 años. Es una comunidad monoespecífica, pues prácticamente no crecen otras especies bajo su dosel. Estas comunidades tienen formas rectangulares y tamaños que van desde las 50 hasta 500 ha.

(III) Pastizales. Son también comunidades vegetales artificiales que fueron establecidas para la cría de ganado vacuno principalmente. Son de hábito herbáceo. Las especies dominantes son raigrás y trébol. Por lo general presentan manejo que incluye quemadas, fertilización y encalado. Presentan formas rectangulares, los tamaños son también bastante variados pueden ir desde las 5 ha hasta las 1000 ha.

(IV) Bosque siempre verde montano alto (Valencia *et al*, 1999; Báez *et al*, 2010). Conocido también como “Bosque Altimontano Norte-Andino Siempre verde” (Josse *et al*, 2003). Bosque siempre verde del paramo (MAE *et al*, 2013). Esta comunidad vegetal está compuesta por especies arbóreas y arbustivas, pequeñas y de tallos retorcidos. Son bastante diversos y se caracterizan por su endemismo; entre las especies más comunes están *Buddleja incana*, *B. pichinchensis*, *Columellia oblonga*, *Escallonia myrtilloides*, *Geranium ayavacense*, *Gynoxys acostae*, *G. cuicochensis*, *G. hallii*, *Hesperomeles ferruginea*, *H. obtusifolia*, *Luzula gigantea*, *Polylepis incana*, *P. lanuginosa*, *P. microphylla*, *P. pauta*, *P. reticulata*, *P. sericea*, *P. weberbaueri*, *Rubus coriaceus*, *Weinmannia fagaroides*. Tiene tamaños muy variables que van desde 250 m<sup>2</sup> hasta no más de 2500 m<sup>2</sup>.

(V) Páramo herbáceo (Valencia *et al*, 1999) “Pajonal montano alto paramuno” y “Pajonal paramuno” (Báez *et al*, 2010); “Pajonales Altimontanos y Montanos Paramunos” (Josse *et al*, 2003); Herbazal del páramo (MAE *et al*, 2013). Más conocido como paramo de pajonal. Es la comunidad vegetal predominante en todas las áreas fisiográficas de páramo del Ecuador con excepción del Páramo Chiles Galeras (donde domina el páramo de frailejones). Se caracteriza por vegetación herbácea resistente a vientos y heladas, asociada ocasionalmente con arbustos. Entre las principales especies destacan *Calamagrostis spp*, *Lupinus pubescens*, *Stipa sp*, *Festuca sp*, *Baccharis buxifolia*, *Rumex acetosella*, *Hydrocotyle humboldtii*, *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris sessiliflora*, *Halenia wedeliana*, *Chuquiraga jussie* y *Usnea sp*.

(VI) Plantaciones de pino (*Pinus radiata*). Son comunidades vegetales artificiales que fueron establecidas en zonas de páramo principalmente para obtener madera. Las edades de las plantaciones por lo general están entre los 20 y 50 años de edad. Son también una comunidad monoespecífica; prácticamente tampoco crecen otras especies bajo su dosel. Tienen formas rectangulares y tamaños que van desde las 50 hasta 500 ha. Se encuentran en la zona de los páramos del Cotopaxi principalmente; están manejadas por los productores.

(VII) Páramo degradado. Se trata de un Páramo herbáceo (Valencia *et al*, 2009) en condiciones de degradación. Son comunidades vegetales compuestas por páramo de pajonal en estado perturbado. No cubren completamente el suelo, sino que se encuentran dispersas. La mayor parte del área no presenta cobertura vegetal (se estima que un 75%). Tienen formas rectangulares tamaños que no superan las 10 ha. Y se encuentran en los páramos *Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana* (o páramos del Chimborazo). Las pocas especies presentes son principalmente *Calamagrostis spp*, *Lupinus pubescens*, *Stipa sp*, y *Festuca sp*.

(VIII) Páramo arbustivo. (Valencia *et al*, 1999, Lozano, 2002). Comunidad vegetal denominada “Pajonales Arbustivos Altimontanos Paramunos” por Josse *et al* (2003). De hábito herbáceo y arbustivo. Se encuentra presente exclusivamente en los *Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus* (páramos de Loja). Presenta especies vegetales con espinos como, por ejemplo, los wuikundos (bromeliaceae) *Puya hamata*, y *Puya sp*. Además de Pajonales de *Neurolepis elata*, *Bryophyta sp*. y *Arcytophyllum setosum*.

(IX) Arbustales Bajos y Matorrales Altoandinos Paramunos (Josse *et al*, 2003). Según Lozano (2002) considerados en algunas clasificaciones dentro de los bosques montanos; son comúnmente conocidos como bosques de chaparro. De hábito arbóreo y arbustivo. Esta comunidad vegetal está conformada principalmente por los denominados Arbustales bajos y Matorrales de *Gynoxys buxifolia* y *Escallonia myrtilloides*. Tienen formas irregulares, tamaños que van desde los 50 m hasta los 2500 m. Presenta principalmente especies como *Freziera verrucosa*, *Baccharis latifolia*, *Cleome longifolia*, *Elaphoglossum sp.*, *Tibouchina laxa*, *Cestrum tomentosum*, *Streptosolen jamesonii*, *Passiflora ligularis*, y *Myrsine sodiroana*.

### 3.4. DISEÑO Y DIMENSIÓN ESPACIAL DEL ESTUDIO

Para realizar esta investigación se utilizó un diseño experimental jerárquico cruzado-anidado (Fig. 3.4.1). Este análisis a nivel local examinó el efecto de la CVUT y a nivel biogeográfico analizó la influencia del biotopo y su conjunto de características (isla geográfica vegetal, clima, altitud, material parental y estado de conservación). Las variables o factores de análisis fueron: CVUT y Zona de estudio, mientras que las variables de respuesta fueron los diferentes parámetros de la MOS.

Se estudiaron 6 de los 9 grupos fisiográficos de páramo propuestos por Beltrán *et al* (2009). En cada uno de ellos se estableció una zona de estudio con dos pisos altitudinales. Se consideró que cada zona y cada piso tuvieran la CVUT de Páramo y Pino adyacente al mismo. Además, varios sitios presentaron otros tipos de CVUT adyacentes al Pino y Páramo, como son Bosque montano, Pastizales y Páramo degradado, que también fueron evaluados.

Por su parte, en cada piso altitudinal se ubicaron dos parcelas de estudio para cada tipo de CVUT y se recolectó una muestra de suelo compuesta por cada sitio específico. Cada muestra de suelo representa 0.25 ha de terreno. Se trata de una muestra compuesta por 4 submuestras que fueron tomadas en cada uno dentro de los cuatro cuadrantes de una parcela de 50 m x 50 m (Fig. 3.4.1.). Por lo tanto, la unidad mínima de resolución espacial que utilizamos en este estudio (es decir, el grano) fue de 50 m x 50 m. Se buscó que la distancia promedio entre parcelas se encontrara entre 300 y 350 m distancia.



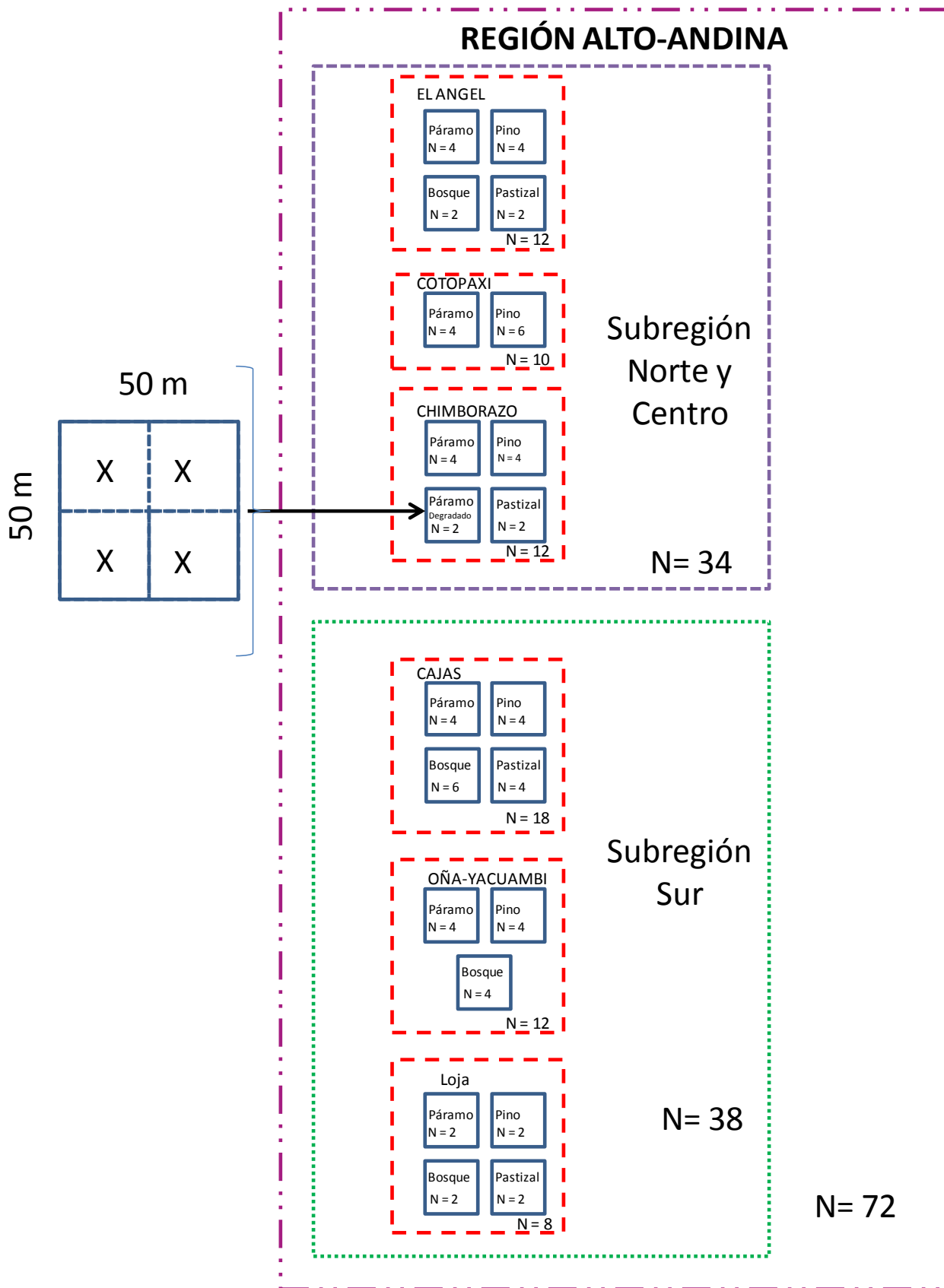


Figura 3.4.1. Diseño experimental jerárquico Cruzado-Anidado para evaluar la MOS a nivel local (CVUT), a nivel biogeográfico (Biotopo y sus características) y a nivel regional (Subregión).

Para estimar la Extensión Total de Muestreo (ETM) se sumaron las superficies correspondientes a las Extensión del Muestreo (EM) de cada una de las 6 zonas de estudio. Por su parte, para estimar la EM en cada zona de estudio, se consideró las propuestas para estudios ecológicos de Li (2000), Cueto (2006) y García (2006), las cuales emplean para el cálculo: (i) el tamaño de las parcelas o grano; (ii) el número de parcelas por cada zona de estudio; (iv) la distancia de separación entre éstas; y (v) la superficie del área geométrica que se forma entre las parcelas relacionadas.

Con base en ese concepto de Extensión de Muestreo se planteó la siguiente fórmula (adecuada a las características de este estudio) para determinar la superficie de extensión de muestreo de cada zona:

$$EM = APAM + APAm + APDA + AT$$

Donde:

EM= Extensión de muestreo

APAM (Área entre parcelas del piso altitudinal mayor) = distancia horizontal entre parcelas x distancia vertical entre parcelas

APAm (Área entre parcelas del piso altitudinal menor) = distancia horizontal entre parcelas x distancia vertical entre parcelas

APDA (Área entre parcelas de diferente piso altitudinal) = distancia horizontal entre parcelas del mismo piso x distancia vertical entre parcelas de diferente piso altitudinal

De formarse triángulos entre las áreas geométricas de las parcelas se calculará la superficie del triángulo, con la fórmula: Base por altura dividido para dos.

AT (Área de Triangulación entre parcelas) = distancia horizontal entre parcelas del mismo piso x distancia vertical entre parcelas de diferente piso altitudinal, todo esto dividido por 2.

Luego del siguiente esquema modelo (Fig. 3.4.2.) se presentan los cálculos utilizados para determinar su respectivo EM. El grano es de 0,25 ha (50 x 50 m), el espaciamiento o la dimensión de la separación espacial entre unas parcelas (y otras) es de 350 m promedio entre unidades de estudio del mismo piso altitudinal y 1.500 m entre unidades de estudio de la misma zona, pero de diferente rango altitudinal (Fig. 3.4.2.).

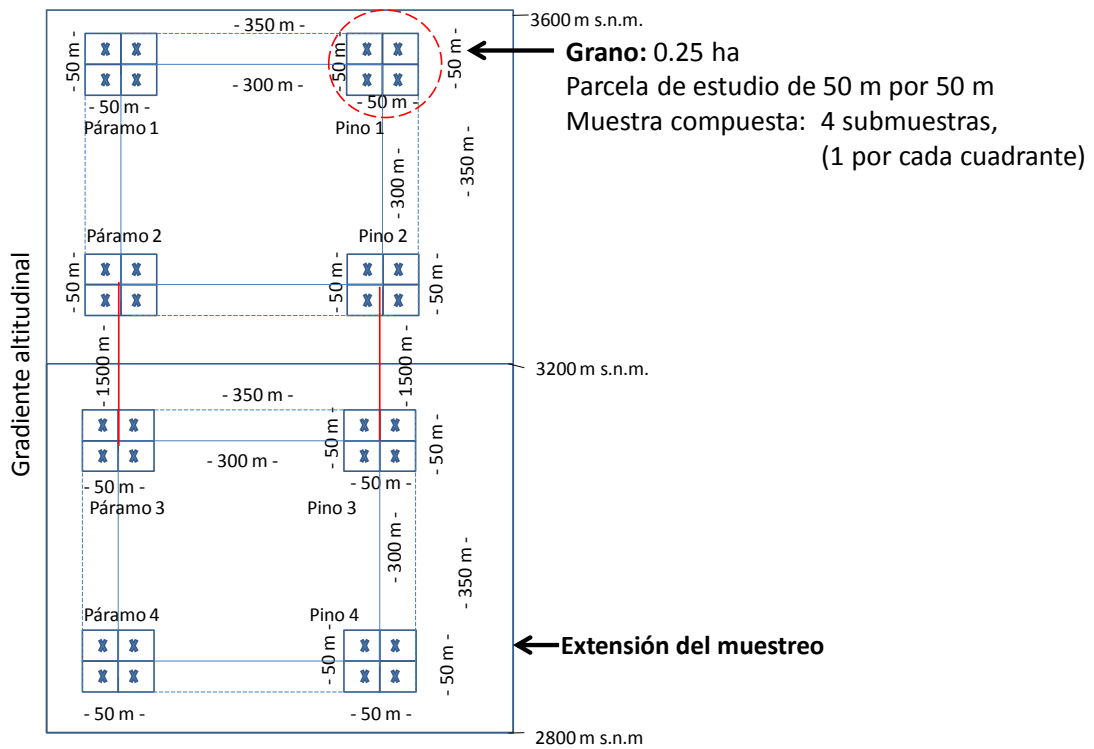


Figura 3.4.2. Ejemplo modelo del grano y la extensión de muestreo

En función del gráfico presentado en el esquema modelo, del tamaño del grano y de la medida de las distancias entre las diferentes parcelas se realizaron los siguientes cálculos de la Extensión del Muestreo:

$$EM = APAM + APAm + APDA$$

$$APAM = 350 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 122.500 \text{ m}^2$$

$$APAm = 350 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 122.500 \text{ m}^2$$

$$APDA = 1500 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 525.500 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$EM = 122.500 + 122.500 + 525.000 = 770.000 \text{ m}^2 = 77,0 \text{ ha}$$

$$EM = 77 \text{ ha.}$$

A continuación, se presentan la distribución de las unidades de muestreo en cada una de los 6 biotopos de estudio y los cálculos realizados para determinar las extensiones de muestreo.

### 3.4.1 Distribución de parcelas y dimensión espacial de muestreo en la zona del Ángel

En dos rangos altitudinales (3.350 y 3.864 m s.n.m.) de la zona suroeste de la Reserva Ecológica Los Páramos del Ángel se tomaron muestras de suelo superficial bajo Páramo ( $n = 4$ ) y bajo la plantación de Pino ( $n = 4$ ) adyacente. En los sitios de menor altitud, además se tomaron muestras de suelo bajo Pastizal ( $n = 2$ ) y Bosque montano ( $n = 2$ ) que estuvieron adyacentes al Páramo y su plantación de Pino correspondiente.

En la Fig. 3.4.3. se presenta un esquema de la distribución de las parcelas y las distancias entre parcelas que fueron consideradas para determinar la EM en la zona de los páramos del Ángel. Luego, a continuación, se presentan los cálculos realizados.

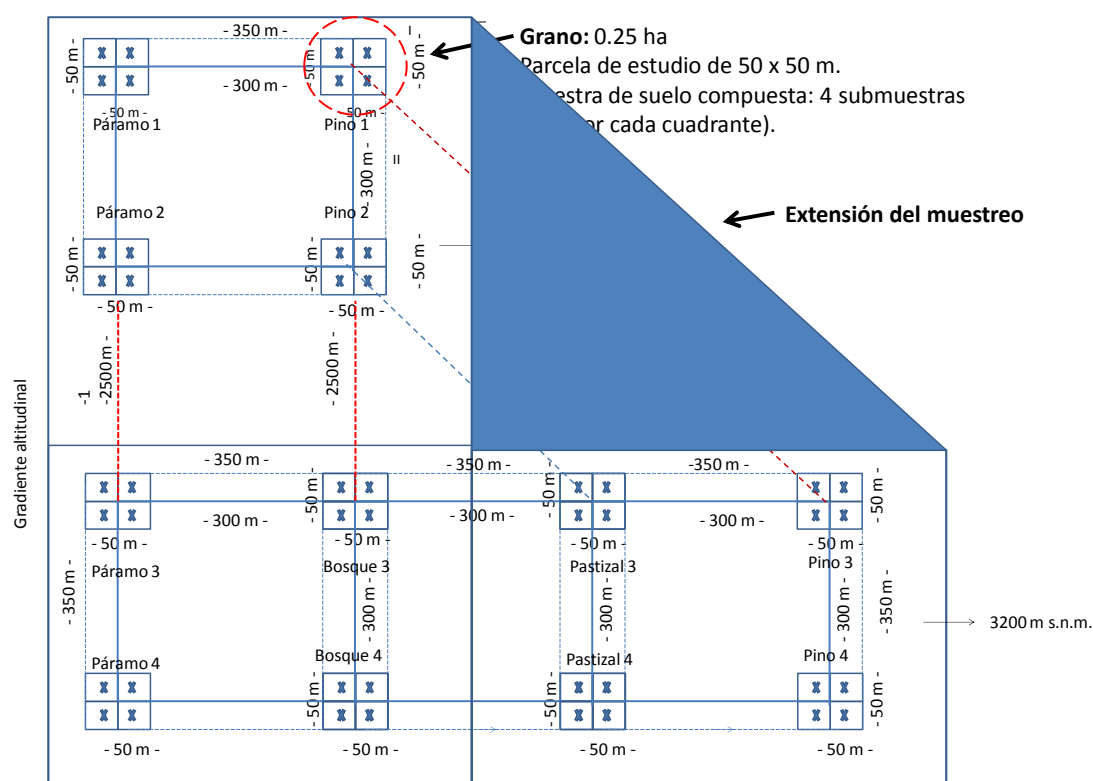


Figura 3.4.3. Esquema de la distribución de parcelas y la extensión espacial del muestreo realizado en los páramos del Ángel ( $n = 12$ )

El grano fue de 0,25 ha (50 x 50 m), las distancias promedio entre parcelas dentro de un mismo piso altitudinal fue de 300 m, la distancia entre parcelas de distinto piso altitudinal fue 2.500 m y la extensión de muestreo promedio fue 290,5 ha (Fig. 3.4.3).

$$EM = APAM + APAm + APDA + AT$$

$$APAM = 350 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 122.500 \text{ m}^2$$

$$APAm = 350 \text{ m} \times 1050 \text{ m} = 367.500 \text{ m}^2$$

$$APAm = 2500 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 875.000 \text{ m}^2$$

$$AT = (350 \text{ m} \times 2500 \text{ m})/2 = 437.500 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$EM = 122.500 + 367.500 + 875.000 + 437.500 = 2.905.000 \text{ m}^2$$

$$EM = 290,5 \text{ ha}$$

### **3.4.2 Distribución de parcelas y dimensión espacial de muestreo en la zona del Cotopaxi**

En esta zona el número total ( $n$ ) de unidades de muestreo de 0.25 ha fue de 10. En los sitios de mayor altitud se tomaron muestras de suelo bajo Páramo ( $n = 2$ ) y bajo la plantación de Pino adyacente ( $n = 2$ ). Por su parte en los sitios de menor altitud también se tomaron muestras de suelo en sitios bajo Páramo ( $n = 2$ ) y bajo Pino adyacente ( $n = 4$ ). No se tomaron muestras de suelo bajo Pastizal o Bosque montano debido a que no estuvieron adyacentes al Páramo y su Plantación de pino correspondiente. La pendiente de ambos sitios específicos de muestreo es irregular, de ondulación moderada con un grado de inclinación del 12 al 25%.

En el siguiente esquema se presenta la distribución de las parcelas ( $n = 10$ ) y las distancias entre parcelas que fueron consideradas para determinar la Extensión del Muestreo de esta zona. Luego, a continuación, se presentan los cálculos realizados.

El grano fue de 0,25 ha y la extensión de muestreo promedio fue 124,2 ha, las distancias promedio entre parcelas dentro un mismo piso altitudinal fue de 300 m, la distancia entre parcelas de distinto piso altitudinal fue 2.000 m (Fig. 3.4.4).

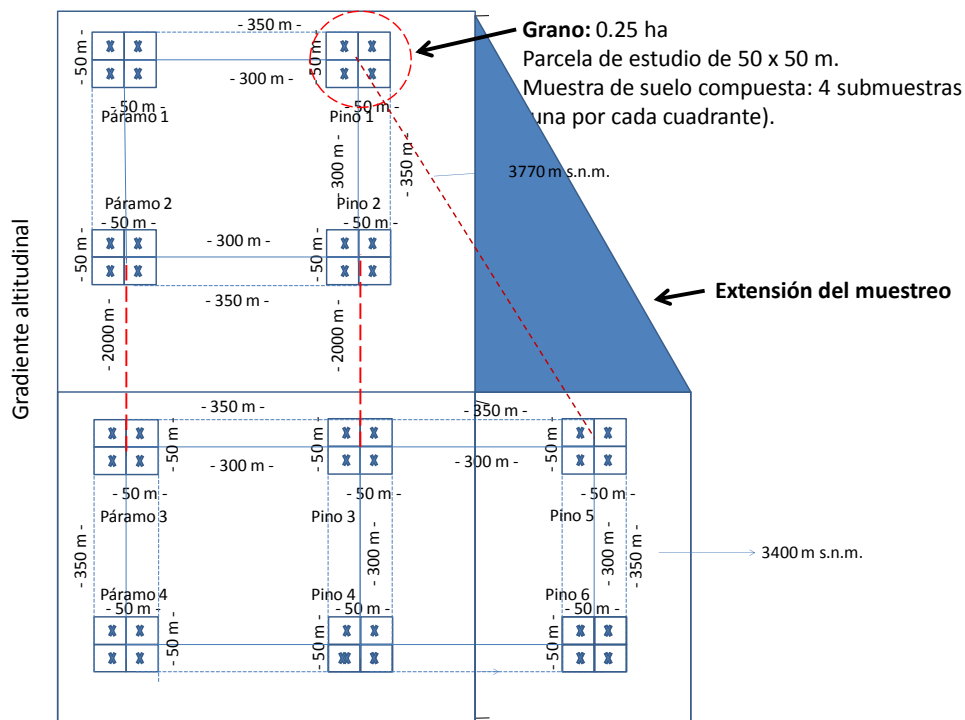


Figura 3.4.4. Esquema de la distribución de parcelas y la extensión espacial del muestreo realizado en los páramos del Cotopaxi ( $n=10$ )

$$EM = APAM + APAm + APDA + AT$$

$$APAM = 350 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 122.500 \text{ m}^2$$

$$APAm = 350 \text{ m} \times 700 \text{ m} = 245.000 \text{ m}^2$$

$$APDA = 2000 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 700.000 \text{ m}^2$$

$$AT = (175 \text{ m} \times 2000 \text{ m}) / 2 = 175.000 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$EM = 122.500 + 245.000 + 700.000 + 175.000 = 1.242.500 \text{ m}^2$$

$$EM = 124,2 \text{ ha}$$

### 3.4.3 Distribución de parcelas y dimensión espacial en la zona del Chimborazo

En los páramos del Chimborazo el número total de unidades de muestreo de 0,25 ha fue de 12 ( $n$ ). Tanto para los sitios de mayor como de menor altitud (3.880 y 3.610 m s.n.m., respectivamente) se tomaron muestras de suelo bajo Páramo ( $n = 4$ ) y bajo la plantación de Pino adyacente ( $n = 4$ ). Adicionalmente, en los sitios de mayor altitud se tomaron muestras bajo Pastizal ( $n = 2$ ) mientras que en los de menor altitud se tomaron muestras de suelo en Páramos que visualmente se veían degradados ( $n = 2$ ). No se encontraron sitios con vegetación de Bosque montano que estuvieran adyacentes al Pino y al Páramo. La pendiente para ambos rangos altitudinales de muestreo fue irregular, de ondulación moderada con un grado de inclinación del 12 al 25%.

En la siguiente Fig. 3.4.5. se presenta un esquema de la distribución de las parcelas o unidades de muestreo y las distancias entre parcelas que se consideraron para determinar la extensión del muestreo de esta zona del Chimborazo. Después, a continuación, se presentan los cálculos realizados.

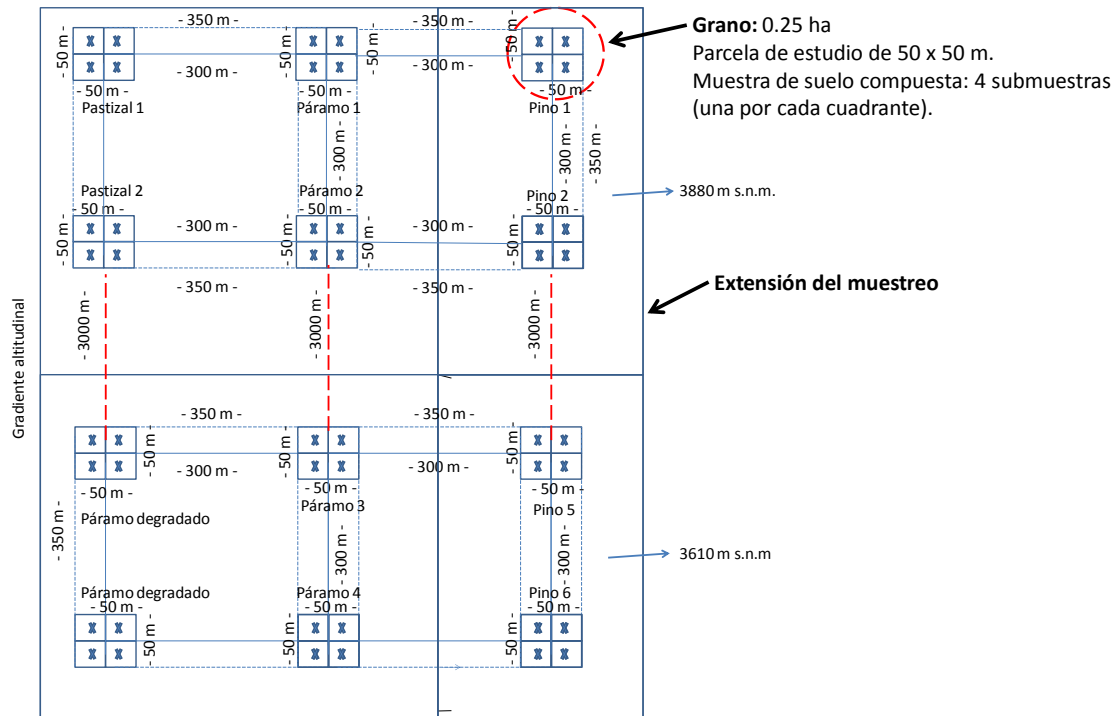


Figura 3.4.5. Esquema de la distribución de parcelas y la extensión espacial del muestreo realizado en los páramos del Chimborazo ( $n = 12$ )

El grano fue de 0,25 ha, las distancias promedio entre parcelas dentro un mismo piso altitudinal fue de 300 m, la distancia entre parcelas de distinto piso altitudinal fue 3000 m y la EM fue 259 ha (Fig. 3.4.5).

$$EM = APAM + APAm + APDA$$

$$APAM = 350 \text{ m} \times 700 \text{ m} = 245.000 \text{ m}^2$$

$$APAm = 350 \text{ m} \times 700 \text{ m} = 245.000 \text{ m}^2$$

$$APAm = 3000 \text{ m} \times 700 \text{ m} = 2.100.000 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$EM = 245.000 + 245.000 + 2.100.000 = 2.590.000 \text{ m}^2$$

$$EM = 259 \text{ ha}$$

### 3.4.4 Distribución de parcelas y dimensión espacial en la zona del Cajas

En los páramos estudiados del Macizo del Cajas, el número total de unidades de muestreo de 0,25 ha fue de 18 ( $n$ ). En el piso de mayor altitud (3.645 m s.n.m.) se tomaron muestras de suelo bajo Páramo ( $n = 2$ ) y bajo las CVUT adyacentes de Pino ( $n = 2$ ), Pastizal ( $n = 2$ ) y Bosque montano secundario ( $n = 4$ ). De igual manera en el piso de menor altitud (3.225 m s.n.m.) se recolectaron muestras de suelo bajo Páramo ( $n = 2$ ) y bajo las CVUT adyacentes de Pino ( $n = 2$ ), Pastizal ( $n = 2$ ) y Bosque montano secundario ( $n = 2$ ). La pendiente de ambos sitios específicos de muestreo es irregular, de ondulación moderada con un grado de inclinación del 12 al 25%.

En la siguiente Fig 3.4.6. se muestra un esquema que explica la distribución de las parcelas y las distancias entre parcelas que se utilizaron para determinar la Extensión del Muestreo de esta zona del Cajas. Después de la figura se presentan los cálculos realizados para la determinación. El grano fue de 0,25 ha y la Extensión de Muestreo fue 698 ha (Fig. 3.4.6).

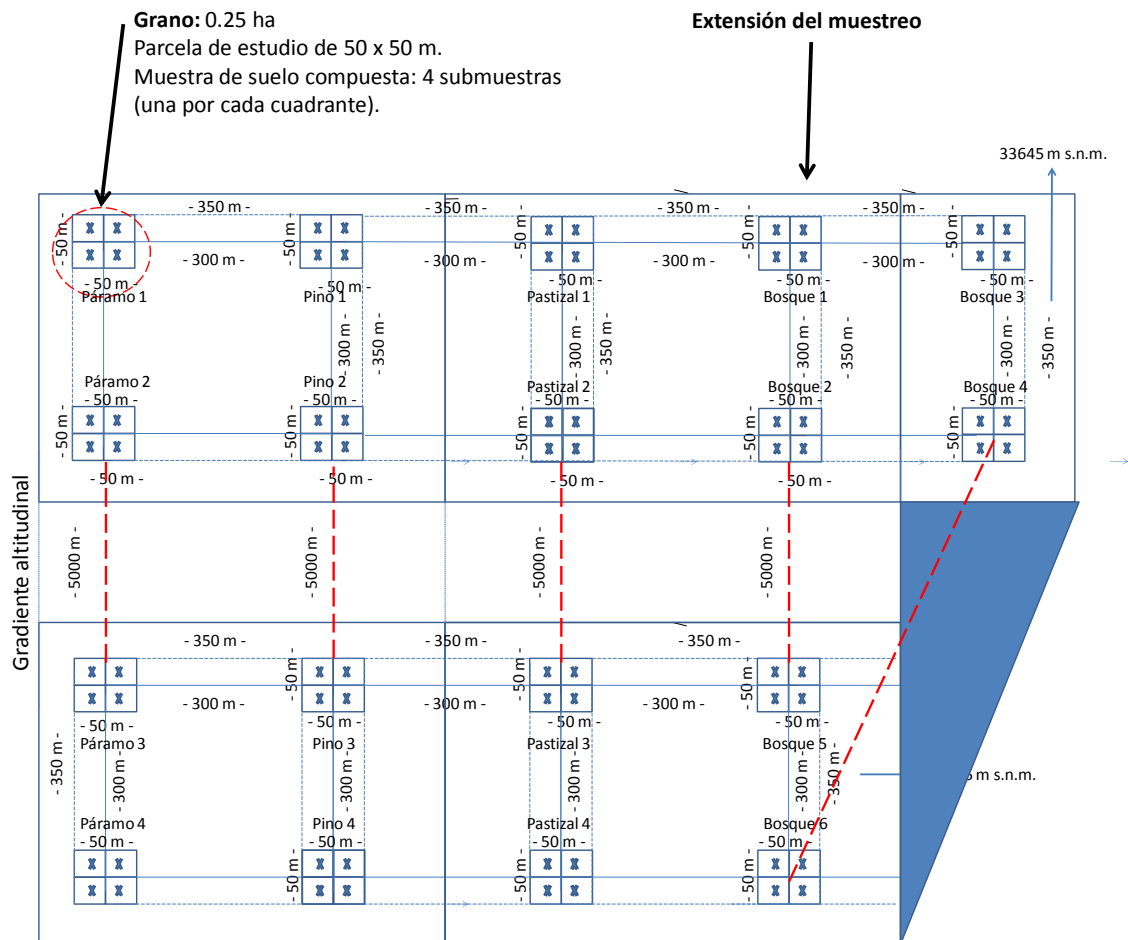


Figura 3.4.6. Esquema de la distribución de parcelas y la extensión espacial del muestreo realizado en los páramos del Cajas ( $n = 18$ )

$$EM = APAM + APAm + APDA$$



$$APAM = 350 \text{ m} \times 1.400 \text{ m} = 490.000 \text{ m}^2$$

$$APAm = 350 \text{ m} \times 1.050 \text{ m} = 367.500 \text{ m}^2$$

$$APAm = 5.000 \text{ m} \times 1.050 \text{ m} = 5.250.000 \text{ m}^2$$

$$AT = (350 \text{ m} \times 5000 \text{ m})/2 = 875.000 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$EM = 490.000 + 367.500 + 5.250.000 + 875.000 = 6.982.500 \text{ m}^2$$

$$EM = 698,2 \text{ ha}$$

### 3.4.5 Distribución de parcelas y dimensión espacial en la zona de Oña-Yacuambi

En esta zona se establecieron 12 unidades de muestreo de 0.25 ha de grano y 189 ha de Extensión de Muestreo (Fig 3.4.7.). En el piso altitudinal mayor (3.782 m s.n.m.) se tomaron muestras compuestas de suelo bajo la CVUT de Páramo ( $n = 2$ ) y las CVUT adyacentes de Pino ( $n = 2$ ) y Bosque secundario montano ( $n = 2$ ). De igual manera se recolectaron las muestras (compuestas) de suelo en el piso altitudinal inferior (3.380 m s.n.m.) bajo la CVUT de Páramo ( $n = 2$ ) y las CVUT adyacentes de Pino ( $n = 2$ ) y Bosque secundario montano ( $n = 2$ ).

A continuación, en la Fig. 3.4.7. se presenta el esquema de la distribución de las parcelas y las distancias entre parcelas que se consideraron para determinar la EM en esta zona de los páramos de Oña-Yacuambi. Seguido de ello, se presentan los cálculos realizados.

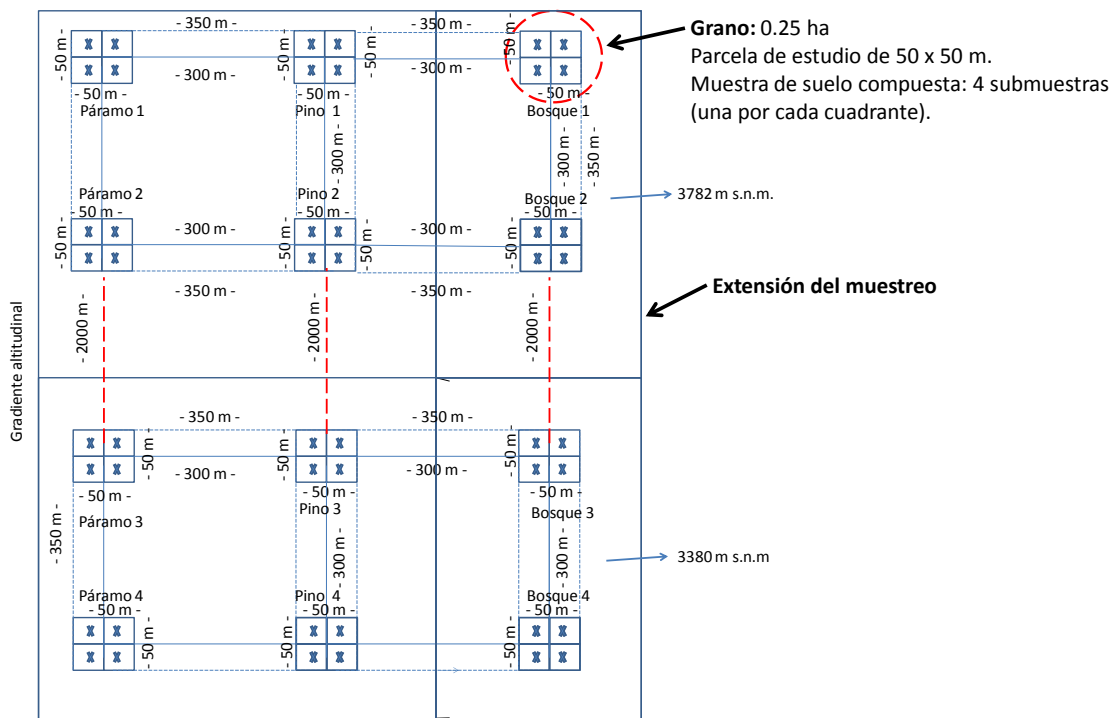


Figura 3.4.7. Esquema de la distribución de parcelas y la extensión espacial del muestreo realizado en los páramos de Oña-Yacuambi ( $n = 12$ )

$$EM = APAM + APAm + APDA$$

$$APAM = 350 \text{ m} \times 700 \text{ m} = 245.000 \text{ m}^2$$

$$APAm = 350 \text{ m} \times 700 \text{ m} = 245.000 \text{ m}^2$$

$$APAm = 700 \text{ m} \times 2.000 \text{ m} = 1.400.000 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$EM = 245.000 + 245.000 + 1.400.000 = 1.890.000 \text{ m}^2$$

$$EM = 189 \text{ ha}$$

### 3.4.6 Distribución de parcelas y dimensión espacial en la zona de Loja

En los páramos de Loja se establecieron 8 unidades de muestreo ( $n$ ), el grano fue de 0,25 ha y la Extensión de Muestreo fue 42 ha (Fig. 3.4.8). Los sitios de muestreo estuvieron a localizados 2.772 m s.n.m. Se recolectaron muestras de suelo bajo la CVUT de Páramo ( $n = 2$ ) y bajo las coberturas vegetales adyacentes de Pino ( $n = 2$ ), Pastizal ( $n = 2$ ) y Bosque montano secundario ( $n = 2$ ). La pendiente de la zona donde se ubicaron las parcelas fue de entre 15 y 25°.

En la siguiente Fig. 3.4.8. se presenta el esquema de la distribución de las parcelas y las distancias que se consideraron para determinar la Extensión del Muestreo en la zona de los páramos de Loja. Inmediatamente después de la figura se presentan los cálculos realizados.

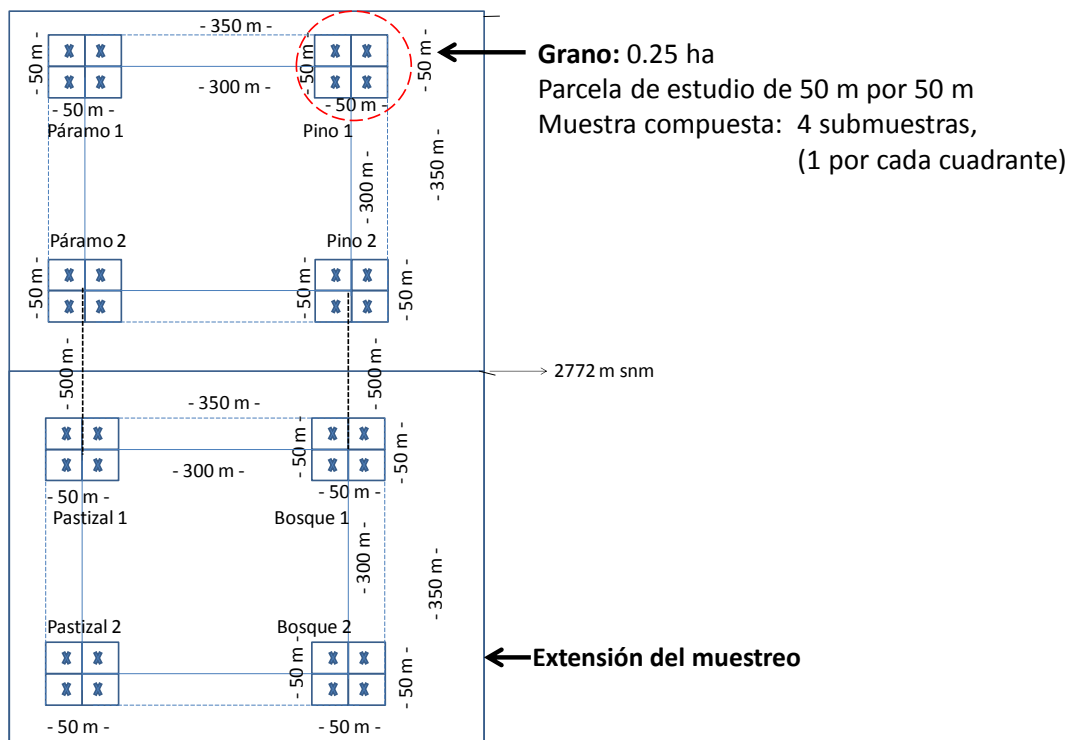


Figura 3.4.8. Esquema de la distribución de parcelas y la extensión espacial del muestreo realizado en los páramos de Loja ( $n = 8$ ).

$$EM = APAM + APAm + APDA$$

$$APAM = 350 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 122.500 \text{ m}^2$$

$$APAm = 350 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 122.500 \text{ m}^2$$

$$APAm = 500 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 175.000 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$EM = 122.500 + 122.500 + 175.000 = 420.000 \text{ m}^2$$

$$EM = 42 \text{ ha}$$

### 3.5 ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE LABORATORIO

Para realizar las diferentes determinaciones se siguieron principalmente los Protocolos utilizados por el Servicio de Análisis e Instrumentación y el Laboratorio de Contaminación del CSIC-IRNASA. Los análisis correspondientes a C, N y S de la temporada húmeda fueron realizados con el mismo método (Dumas) y similar Protocolo en el Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Salamanca. La densidad aparente del suelo ( $D_{ap}$ ) y la textura fueron determinadas siguiendo los Protocolos definidos por el Laboratorio del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca (Ecuador). Para complementar con la información descrita en los Protocolos de los diferentes Laboratorios se realizó también una revisión de publicaciones científicas sobre cada método empleado.

#### 3.5.1. Análisis Físicos

##### 3.5.1.1 Determinación de la densidad aparente del suelo

Se realizó el procedimiento del cilindro descrito por Gabriels y Lobo (2006). Previamente, se retiró la capa vegetal y el mantillo, y se realizaron cortes triangulares con una pala de hasta -20 cm de profundidad. No se retiraron las piedras de la muestra, ya que están incluidas en la medida de densidad aparente. Se introdujeron cilindros graduados de 50 mL directamente sobre el suelo compacto no perturbado, haciendo presión con un martillo de hierro cubierto de caucho, de aproximadamente 1,2 kg de peso. Las muestras fueron secadas a 105 °C de temperatura por varios días. Una vez secas se pesaron las muestras de suelo (se

restó el peso del cilindro) y el valor obtenido se dividió por el volumen del cilindro ( $\text{gcm}^{-3}$ ) como indica la siguiente ecuación:

$$D_{ap} = \frac{P_s}{V}$$

En donde,

$D_{ap}$ : densidad aparente del suelo

$P_s$ : Peso seco de la muestra contenida en el cilindro (en gramos)

$V$ : Volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ )

#### 3.5.1.2 Determinación de la humedad relativa del suelo

Se utilizó el método termogravimétrico (Florentino, 2006). En el que las mismas muestras de suelo que fueron utilizadas en el análisis de la densidad; antes de secarse fueron pesadas frescas; luego se restó el peso seco del peso húmedo de las muestras y se obtuvo el porcentaje de humedad relativa del suelo.

$$\% \text{ Humedad} = \left( \frac{P_h - P_s}{P_s} \right) * 100$$

En donde,

$P_h$ : Peso húmedo de la muestra de suelo

$P_s$ : Peso seco de la muestra de suelo

#### 3.5.1.3 Determinación granulométrica por el método de pipeta

La determinación de la textura del suelo se realizó por el método de pipeta descrito por Fernández-Linares *et al* (2006); primero se realiza la eliminación de la MOS y luego se realiza la determinación granulométrica por sedimentación de partículas.

##### *Eliminación de la MOS*

Se tomaron 20 g de suelo seco y tamizado a través de una malla de 2 mm y se colocaron en un vaso de precipitado de 500 mL; se agregó agua destilada hasta cubrir el suelo. Se adicionaron 10 mL de agua oxigenada al 6% y con un agitador de vidrio se revolvieron durante 10 min. Se volvieron a agregar 10 mL de agua oxigenada cada 15 min, hasta que no se produjo espuma. Se colocó el vaso en una estufa dentro de una campana de extracción y se calentó hasta 90 °C. Se vertió nuevamente 10 mL más de agua oxigenada hasta que no se forme espuma. Para eliminar el exceso de agua oxigenada se calentó 30 minutos más. Se pasó el suelo a un recipiente de aluminio (utilizando agua destilada cuando fue necesario para extraer todo). Se introdujo el recipiente a la estufa para secar a 105 °C hasta tener peso constante. Se vació la muestra seca en un mortero y se la molió.

### *Determinación de la textura*

Se pesaron 5 g de suelo seco (sin materia orgánica y molido) en una botella de 250 mL. Se agregaron 10 mL del dispersante hexametáfosfato de sodio. Se añadió agua destilada hasta completar un volumen aproximado de 50 mL. Se agitó la botella con suelo, agua y dispersante por 5 min, y se dejó reposar por 12 horas. Después del periodo del reposo se agitó la suspensión por 30 min a velocidad entre 40 y 50 rpm.

Se filtró la suspensión por un tamiz de 300 mallas o 0,04 mm (se lavó con una pequeña cantidad de agua destilada) y se recogió el filtrado en recipientes de porcelana. La arena quedó en el tamiz, mientras que la arcilla y el limo quedaron en la suspensión filtrada.

Esta suspensión se colocó en otra botella de 250 mL y se agregó agua destilada hasta un volumen de 200 mL. Se agitó la suspensión durante 2 min y se dejó reposar por 1 h 21 min 40 seg; luego con una pipeta se tomó una alícuota de 25 mL a la profundidad de 2 cm. Se colocó esta alícuota de 25 mL en un bote de aluminio previamente pesado y se secó en una estufa a 105 °C. Se enfrió en un desecador y se pesó el sustrato obtenido, con este peso se estimó el porcentaje de arcilla en la muestra.

Las arenas retenidas en el tamiz de 300 mallas (0,04mm) también fueron colocadas en un recipiente de aluminio previamente pesado, secadas en una estufa a 105 °C y pesadas. Se secaron y se pesaron cada una de las fracciones y estos resultados fueron procesados en porcentajes. Los cálculos se realizaron con las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ arena} = \frac{B}{A} * 100$$

$$\% \text{ arcilla} = \frac{E}{A} * 100$$

$$\% \text{ limo} = \frac{F}{A} * 100$$

En donde:

A: peso de la muestra procesada (5± 0,01 g; sin materia orgánica)

B: peso de las arenas

C: peso de la arcilla + limo = A – B

D: peso partículas < 0.04 mm de alícuota de 25 mL (secada)

E: peso de la arcilla = D \* 8

F: peso del limo = A – B – E

### **3.5.2. Análisis Físico-Químicos**

### 3.5.2.1 Determinación de la conductividad eléctrica ( $dSm^{-1}$ a $25^{\circ}C$ ) por potenciometría en extractos acuosos de suelos en relación 1:5 (suelo:agua).

Se siguió el protocolo de IRNASA, el cual es bastante similar a otros protocolos como el propuesto por Vásquez y Bautista (1993) o Fernández-Linares *et al* (2006). Se colocaron en botes 10 g de suelo seco tamizado a continuación, se añadió con pipeta 50 mL de agua destilada. Se taparon y agitaron las muestras durante 30 min a 60 rpm. Una vez transcurrido el tiempo de agitación se filtró la mezcla obtenida y reservó el extracto para la realización de la medida de la conductividad. Se calibró el equipo midiendo la Conductividad Eléctrica (CE) de una solución estándar de 50 mL de KCl 0.01 M. A continuación, se sumergió la celda de conductividad en cada uno de los extractos que se encontraban a temperatura ambiente ( $25^{\circ}C$ ), se enjuagó la celda con abundante agua destilada entre cada una de las medidas. El procedimiento indica que debe reportarse el valor corregido para la temperatura que se tomaron las medidas en  $dSm^{-1}$  y que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$CE_{25^{\circ}C} = CEt * f$$

Siendo:

$CE_{25^{\circ}C}$ : Conductividad eléctrica en  $dSm^{-1}$  a  $25^{\circ}C$ .

CEt: Conductividad eléctrica en  $dSm^{-1}$  a la temperatura que fue medida.

$f$  = factor de corrección de la temperatura (valor de 1 para  $25^{\circ}C$ )

En este caso cómo se midieron a temperatura ambiente de  $25^{\circ}C$ , el valor medido fue igual al valor final.

### 3.5.2.2 Determinación del pH del suelo por el método de dilución 1:2,5 M/V en $H_2O$

Se siguieron los procedimientos del Protocolo del Laboratorio del Servicio de Análisis e Instrumentación de CSIC-IRNASA, los cuales son bastantes similares a los descritos por Herve (1996) o Fernández-Linares *et al* (2006).

En una balanza analítica se pesaron  $10,00 \pm 0,01g$  de suelo seco tamizado. A continuación, se añadió 25 mL de agua destilada a cada una de las muestras por medio de una probeta graduada. Se colocaron los recipientes que contenían las muestras de suelo en el agitador rotatorio durante 5 min a una velocidad entre 50-60 rpm. Luego se dejó reposar al menos durante 30 min.

El potenciómetro fue previamente calibrado. Después del reposo de 30 min se homogenizó manualmente la muestra agitada (suelo-disolvente) justo antes de proceder a su medida. Se introdujo el electrodo en cada muestra y se esperó a que se establezca la medida del pH para registrarla.

Como señala el procedimiento, los resultados fueron expresados directamente como unidades de pH medidas en dilución suelo/agua 1:2,5 (M/V) (en este caso con 2 decimales).

3.5.2.3 Determinación de capacidad de intercambio catiónico y los cationes de cambio: calcio, magnesio, sodio, potasio y total.

Se siguieron los procedimientos descritos por el Protocolo del Laboratorio del Servicio de Análisis e Instrumentación de CSIC-IRNASA, los cuales son consistentes con Protocolos similares como por ejemplo los de Van Reeuwijk (1999), Fernández-Linares *et al* (2006) y González-Naranjo *et al* (2012); La extracción se realiza por el método de saturación de la superficie de intercambio con un catión índice y medición de analitos por espectrofotometría de UV-Visible con el autoanalizador de flujo segmentado sin embargo, difieren en la técnica final utilizada para leer los analitos.

*Extracción de los cationes intercambiables de Ca, Mg, K y Na*

El fundamento del método utilizado para la determinación consiste en saturar el suelo con una disolución de acetato de amonio (1M; pH =7,0), de tal manera que con ello se reemplazan y liberan los cationes de Ca, Mg, K y Na (propios del suelo), los cuales se recogen en los lixiviados y luego fueron medidos en el autoanalizador UV.

Se utilizaron tubos de percolación con llave desmontable, se tapó el orificio inferior de salida de cada tubo con una pequeña cantidad de lana de vidrio y se cerraron las llaves. Luego en cada tubo se colocaron 20 g de arena lavada y 5 g de cada muestra de suelo (pesados en balanza analítica), y con una espátula cuidadosamente se mezcló la arena lavada con el suelo hasta dejar una mezcla homogénea; se colocó también en la parte superior del contenido de los tubos lana de vidrio en cantidad suficiente para proteger el sustrato. Se prepararon dos tubos más por cada serie, correspondientes a un blanco sin suelo y a una réplica de muestra de suelo para verificación de calidad.

Se colocaron los tubos de percolación en una gradilla, protegidos del polvo con tapas simples de plástico, y debajo de cada uno de los tubos se colocaron (o conectaron) matraces de vidrio de 100 mL. El primer día se agregaron 25 mL de acetato amónico (1M; pH = 7,0) a cada tubo y se dejó reposar por 24 h. Al día siguiente se abrieron las llaves y se dejó percolar el líquido conduciéndolo hacia los matraces. Después se volvieron agregar 25 mL de acetato amónico (1M; pH = 7,0) por 3 veces más a cada tubo, esperando entre cada vez que el líquido se haya percolado completamente. Finalmente se enrasaron los matraces con el mismo acetato amónico luego fueron agitados manualmente para homogenizar las muestras; finalmente se

traspasaron los contenidos a botes plásticos de 60 mL y se guardaron en nevera a 4° C hasta su lectura.

#### *Extracción de los cationes intercambiables de amonio*

El fundamento de la técnica utilizada se basa en saturar el suelo con  $\text{Na}^+$  empleando una solución de alta concentración de este catión, de tal manera que se reemplazan y liberan los cationes de amonio, procedentes de la saturación inicial del suelo, los cuales son recogidos en los lixiviados y luego medidos en el autoanalizador UV.

Antes de la extracción de los iones amonio intercambiables (que se realizó desde el contenido que quedó en los tubos de percolación) se lavó el exceso de amonio en la suspensión con etanol. Para ello se colocó bajo cada tubo de percolación un bote de plástico de 60 mL y con la llave del tubo de percolación abierta, se añadieron a cada tubo por medio de una probeta 25 mL de etanol. Se procuró lavar bien las paredes del tubo de percolación utilizando el chorro de etanol producido por un frasco lavador. Una vez percolado el etanol se volvió a realizar el mismo procedimiento a diferentes intervalos de tiempo con 3 fracciones más de 25 mL de etanol.

Una vez percolado todo el etanol (se dejó durante 24 h), se colocó nuevamente bajo cada tubo de percolación un matraz aforado de 100 mL. Con la llave del tubo de percolación abierta, se añadió por medio de una probeta, 25 mL de NaCl al 10% a cada tubo. Los lixiviados quedaron recogidos en los matraces. Después de percolado todo el líquido se volvió a realizar el mismo procedimiento de añadir 25 mL de NaCl por dos veces más y la cuarta vez se añadió solamente 20 mL de la solución NaCl al 10%.

Se enrasaron los lixiviados obtenidos con NaCl al 10% y se homogeneizaron agitando manualmente. Los contenidos de los matraces fueron traspasados a botes de plástico de 60 mL y fueron conservados refrigerados aproximadamente a 4 °C hasta su análisis.

#### *Preparación de patrones para cationes de amonio*

Se prepararon 6 patrones de 0-25 mg N L<sup>-1</sup>. Para ello, a partir de la disolución madre de N de 1000 mg N L<sup>-1</sup>, mediante pipeta automática se añadieron a matraces aforados de 100 mL, las cantidades que se detallan a continuación para cada patrón:

- 0 mL: 0 mg N L<sup>-1</sup>
- 0,5 mL: 5 mg N L<sup>-1</sup>
- 1 mL: 10 mg N L<sup>-1</sup>
- 1,5 mL: 15 mg N L<sup>-1</sup>
- 2,0 mL: 20 mg N L<sup>-1</sup>
- 2,5 mL: 25 mg N L<sup>-1</sup>



Se enrasaron los matraces con NaCl 10% y se homogeneizaron manualmente. Se traspasaron los patrones a botes de plástico de 60 mL, indicando concentración, fecha de preparación y caducidad.

#### *Lectura de las muestras*

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico se realizó por espectrofotometría de UV-Visible con el autoanalizador de flujo segmentado. Para ello se prepararon los respectivos patrones. Se verificó que las diferentes rectas para cada grupo de patrones (Ca, Mg, Na, K y  $\text{NH}_4^+$ ), tuviera una linealidad  $R \geq 0,998$ , y cuando no fue el caso se prepararon nuevos patrones

Previamente a todo se realizaron los lavados de los recipientes y las sondas del equipo con las soluciones de lavado correspondientes. Posteriormente, se colocaron las muestras y los patrones en pequeños recipientes propios del equipo para espectrofotometría, según el orden establecido en la hoja de trabajo, en la bandeja de muestras del automuestreador. Se utilizó un filtro de lámpara de 660 nm. Se encendió la lámpara y el programa. Se cerró el canal 1. Se introdujeron las sondas en los reactivos correspondientes. Una vez introducidas todas las sondas (unos 2 min después) se puso la bomba del equipo a alta velocidad. Cuando apareció el color y estuvieron alineadas las burbujas se puso nuevamente la bomba a velocidad normal. Se esperó hasta que apareció una línea base estable y se leyeron los patrones y las muestras.

#### *Cálculo de cationes intercambiables de Ca*

Para calcular la cantidad del  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiables se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{CIC (cmol Ca}^{2+}\text{/kg suelo)} = \frac{(\text{mgCa}^{2+}\text{/L}_{\text{muestra}} - \text{mg Ca}^{2+}\text{/L}_{\text{blanco}}) * \text{dilución} * 10}{\text{peso muestra} * \text{peso equivalente del Ca}^{2+}}$$

Donde,

- $\text{mg Ca}^{2+}\text{/L}_{\text{muestra}}$ : Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible de cada muestra.
- $\text{mg Ca}^{2+}\text{/L}_{\text{blanco}}$ : Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible del blanco.
- Peso muestra:  $5 \pm 0,01$  g
- Peso equivalente del  $\text{Ca}^{2+}$ :  $20,039 \text{ mg meq}^{-1}$

#### *Cálculo de cationes intercambiables de Mg*

Para determinar la cantidad  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{CIC (cmol Mg}^{2+}\text{/kg suelo)} = \frac{(\text{mgMg}^{2+}\text{/L}_{\text{muestra}} - \text{mg Mg}^{2+}\text{/L}_{\text{blanco}}) * \text{dilución} * 10}{\text{peso muestra} * \text{peso equivalente del Mg}^{2+}}$$

Donde,

- mg Mg<sup>2+</sup> /L muestra: Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible de cada muestra.
- mg Mg<sup>2+</sup> /L blanco: Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible del blanco.
- Peso muestra: 5±0,01 g
- Peso equivalente del Mg<sup>2+</sup>: 12,525 mg meq<sup>-1</sup>

#### *Cálculo del Na intercambiable*

Para determinar la cantidad de Na<sup>+</sup> intercambiables presentes en cada muestra de suelo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{CIC (cmol Na}^+/\text{kg suelo)} = \frac{(\text{mgNa}^+/\text{L}_{\text{muestra}} - \text{mg Na}^+/\text{L}_{\text{blanco}}) * \text{dilución} * 10}{\text{peso muestra} * \text{peso equivalente del Na}^+}$$

Dónde,

- mg Na<sup>+</sup> /L muestra: Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible de cada muestra.
- mg Na<sup>+</sup> /L blanco: Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible del blanco.
- Peso muestra: 5±0,01 g
- Peso equivalente del Na<sup>+</sup>: 22,99 mg meq<sup>-1</sup>

#### *Cálculo de cationes intercambiables de K*

Para determinar la cantidad de cationes de K<sup>+</sup> intercambiables presentes en las muestras de suelo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{CIC (cmol K}^+/\text{kg suelo)} = \frac{(\text{mgK}^+/\text{L}_{\text{muestra}} - \text{mg K}^+/\text{L}_{\text{blanco}}) * \text{dilución} * 10}{\text{peso muestra} * \text{peso equivalente del K}^+}$$

Donde,

- mg K<sup>+</sup> /L muestra: Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible de cada muestra.
- mg K<sup>+</sup> /L blanco: Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible del blanco.
- Peso muestra: 5±0., g
- Peso equivalente del K<sup>+</sup>: 39,098 mg meq<sup>-1</sup>

#### *Cálculo de cationes intercambiables de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>*

Para calcular la cantidad de cationes de amonio en las muestras de suelo, en cmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>kg<sup>-1</sup> suelo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{CIC total (cmol NH}_4(+)/\text{kg suelo)} = \frac{\text{mg/L}_{\text{muestra}} - \text{mg/L}_{\text{blanco}} * \text{dilución} * 10}{\text{peso atómico N} * 5}$$

Siendo,

- mg/L muestra: Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible de cada muestra.

- $\text{mg/L}_{\text{blanco}}$ : Medida obtenida por espectroscopía de UV-Visible del blanco.
- Peso atómico del N: 14,0

### 3.5.3 Análisis Bioquímicos

#### 3.5.3.1 Determinación de la materia orgánica del suelo (carbono orgánico total del suelo) y nitrógeno total por el método de Dumas (combustión seca).

Se siguieron los procedimientos del Protocolo del Laboratorio del Servicio de Análisis e Instrumentación de CSIC-IRNASA, los cuales son consistentes con los descritos por Eyherabide *et al* (2014). Se secó el suelo a temperatura ambiente, se tamizó con un tamiz de malla de 2 mm y luego se molió el suelo tamizado y se pesaron 0,2 g de suelo molido. Posteriormente, utilizando un analizador TruSpec CN (LECO, 2008), se realizó la combustión de la muestra a 950 °C con oxígeno de alta pureza (99,9%). El producto de la combustión ( $\text{CO}_2$  y otros gases) fue filtrado, secado y cuantificado de forma automática por medio de una celda de radiación infrarroja del equipo. El valor cuantificado de C y N por la máquina es reportado en porcentajes. Para la calibración del equipo se utilizaron estándares de suelo certificados y provistos por la empresa Leco. Para estimar el valor del COS y de la MOS en  $\text{Mg ha}^{-1}$  se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cantidad de MOS}_{\text{Lha}} = \text{Cantidad de COS}_{\text{Lha}} * \text{Mg C ha}^{-1}$$

$$\text{Cantidad de COS}_{\text{Lha}} = \frac{\text{Ms}_{\text{Lha}} * \% \text{COS}}{100}$$

$$\text{Ms}_{\text{Lha}} (\text{Masa de suelo}) = L * A * \text{Pr} * \text{Dap}$$

$$\text{Dap}_{\text{g m}^{-3}} = \text{Dap}_{\text{g cm}^{-3}} * 1.000.000$$

En donde,

% COS = porcentaje de C orgánico reportado por la máquina para cada muestra

L (largo de 1 ha) = 100 m

A (ancho de 1 ha) = 100 m

Pr (profundidad de muestra de suelo) = 20 cm

$\text{Dap}_{\text{(g cm}^{-3})}$  = el valor de la densidad de suelo obtenido para cada muestra

Por otra parte, para estimar el contenido de N total en  $\text{Mg N ha}^{-1}$  se utilizó la misma ecuación empleada para determinar la cantidad de COS en 1,0 ha, pero substituyendo el factor % COS por el factor % N.

$$\text{Cantidad de } N_{1\text{ha}} = \frac{\text{Ms} * \% N}{100}$$

Donde,

% N = porcentaje de nitrógeno total reportado por el equipo para cada muestra.

### 3.5.3.2. Determinación del carbono lábil del suelo por el Método de Ghani (modificado)

Se realizaron los procedimientos del Protocolo del Laboratorio de Contaminación de CSIC-IRNASA los cuales son similares a los procedimientos descritos por Ghani *et al* (2003), Ahn *et al* (2009) y Cepáková *et al* (2016).

Se pesaron  $5 \pm 0,01$  g de suelo seco y tamizado en malla de 2 mm. Después se colocó el suelo pesado en tubos de centrifuga de 50 mL y se añadieron 30 mL de agua destilada, siendo entonces el factor de dilución igual 7. Se agitaron los tubos con el suelo y el agua destilada, a 30 rpm por 24 h y a una temperatura de 20 °C. Luego se colocaron los tubos en una centrifuga a 10.000 rpm durante 20 min o a veces un poco más hasta lograr la sedimentación de la muestra. Una vez separados los componentes, sólido y líquido debido a efectos de la centrifugación, se continuó extrayendo el sobrenadante con una jeringuilla con aguja, 3 ó 4 veces (lo que se pueda), aproximadamente 25 mL. Posteriormente se filtró el líquido extraído desde el sobrenadante de los tubos, utilizando filtros de nitrato de celulosa de 0,45 micras. El líquido filtrado fue recogido en botes de plástico de 30 mL y se midió el contenido de Carbono total, orgánico e inorgánico en un auto-analizador TOC.

Para ello se encendió el equipo TOC (marca Shimadzu serie VWS); previamente antes se abrió también la llave de gas butano. Se lavaron las sondas y se calibró el equipo utilizando 6 soluciones patrón de C orgánico de 0; 20; 40; 60; 80 y 100 mg C L<sup>-1</sup>. Una vez obtenida la recta de calibración se procedió a leer los extractos de las muestras colocando la sonda de lectura dentro de cada bote plástico de 30 mL.

Para determinar el contenido de COL en mg C g<sup>-1</sup> suelo, los cálculos fueron realizados con las siguientes ecuaciones:

$$COL_{mg/g \text{ suelo}} = \frac{Lectura_{mg/L} * Factor \ de \ dilución}{Peso \ real \ muestra}$$

$$Peso \ real \ muestra = Peso \ muestra \ húmeda - \left( \frac{\% \ humedad * Peso \ muestra \ húmeda}{100} \right)$$

Dónde,

- Lectura<sub>mg/L</sub>: Lectura que reporta el TOC para Carbono Orgánico Lábil
- Factor de dilución: 7
- Peso muestra húmeda: 5,00 ± 0.01 g de suelo (incluye peso de la humedad)
- % humedad: Porcentaje de humedad determinado en la muestra de suelo fresca

Por su parte, para determinar el contenido de COL en  $\text{Mg C ha}^{-1}$ , los cálculos fueron realizados con las siguientes ecuaciones:

$$COL_{\text{Mg/ha}} = \frac{COL_{\text{g/g suelo}} * Ms_{\text{g/ha}}}{1000000}$$

$$g \text{ COL} / g \text{ suelo} = \frac{COL_{\text{mg/g suelo}}}{1000}$$

$$Ms_{\text{g/ha}} (\text{Masa de suelo}) = L * A * Pr * Dap \text{ (g/m}^3\text{)}$$

$$Dap_{\text{g/m}^3} = Dap_{\text{g/cm}^3} * 1.000.000$$

Dónde

- L (largo de 1 ha) = 100 m
- A (ancho de 1 ha) = 100 m
- Pr (profundidad muestra de suelo) = 0,2 m = 20 cm.
- $Dap_{\text{(g/cm}^3\text{)}}$  = Valor de la densidad de suelo obtenido para cada muestra

Finalmente, para determinar el porcentaje del total de COS que corresponde al COL se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ COS que corresponde a COL} = \frac{COL_{\text{Mg/ha}} * 100}{COS_{\text{total Mg/ha}}}$$

### 3.5.3.3. Extracción de amonios, nitritos y nitratos intercambiables en suelo y determinación por espectroscopía de UV-Visible (autoanalizador de flujo segmentado).

Se siguieron los procedimientos del Protocolo de CSIC-IRNASA, los cuales son consistentes con los descritos por Fernandez- Linares *et al* (2006) en cuanto al principio básico sobre la extracción con KCl 1M, mientras que difieren en el método para leer el analito.

Se pesaron 5,00 g del suelo molido y estos fueron colocados en botellas de vidrio con tapón de rosca de 100 mL. Se agregaron 50 mL de KCl 1M con una pipeta de vidrio aforada de 50 mL. Se realizó un blanco por cada serie de muestras. Se colocaron en un agitador rotatorio durante 1 h a 60 rpm. Una vez transcurrido el tiempo de agitación, se filtró la mezcla obtenida con filtros cuantitativos y se colocó el extracto en botes de plástico de 60 mL.

Finalmente, para la determinación de amonios, nitritos y nitratos los extractos fueron leídos (antes de 24 h) por espectroscopía de UV-Visible en un autoanalizador de flujo

segmentado, utilizando los patrones respectivos para cada elemento que fueron preparados previamente y que se describen a continuación:

#### *Patrones para Amonios*

A partir de la disolución patrón de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$  se prepararon 6 de patrones de  $0-25 \text{ mg N L}^{-1}$ , para esto se añadió en matraces de 100 mL mediante pipeta automática las siguientes cantidades por cada patrón:

- $0 \text{ (mg N L}^{-1}\text{)}$ : 0 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$  5 (mg N): 0,5 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $10 \text{ (mg N L}^{-1}\text{)}$ : 1,0 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $25 \text{ (mg N L}^{-1}\text{)}$ : 1.5 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $20 \text{ (mg N L}^{-1}\text{)}$ : 2,0 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $25 \text{ (mg N L}^{-1}\text{)}$ : 2., mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$

Se enrasaron los matraces con KCl 1M y se homogeneizaron agitando manualmente.

#### *Patrones para Nitritos*

Se preparó una disolución patrón de  $1,000 \text{ mg N L}^{-1}$  para determinación de nitritos. Par ello, se pesó en balanza analítica 4,930 g de nitrito sódico y se añadió a un vaso de precipitados de 1 L con un agitador magnético de teflón. Se arrastró con agua destilada los restos de reactivo del pesasustancias al vaso de precipitados. A continuación, se añadieron unos 600 mL de agua destilada y se agitó. Una vez disuelto, mediante un embudo de vidrio, se trasvasó a un matraz aforado de 1,00 L, se enrasó con agua destilada y se homogenizó agitando manualmente el matraz.

A partir de la disolución se prepararon 6 patrones en matraces de 100 mL añadiendo con pipeta automática las cantidades que se detallan a continuación para cada patrón:

- $0 \text{ (mg N/l)}$ : 0 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $5 \text{ (mg N/l)}$ : 0,5 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$  10 (mg N/l): 1 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $25 \text{ (mg N/l)}$ : 1,5 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $20 \text{ (mg N/l)}$ : 2,0 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$
- $25 \text{ (mg N/l)}$ : 2,5 mL de solución patrón N de  $1000 \text{ mg N L}^{-1}$

Se enrasaron los matraces con KCl 1M y se homogeneizaron agitando manualmente. Luego se trasvasaron los patrones a botes de plástico de 60 mL.

*Patrones para Nitratos (si se consideran despreciables los nitritos)*

Se preparó una disolución patrón de 1000 mg N L<sup>-1</sup> para la determinación de nitratos+nitritos (si nitritos son despreciables). Para ello, se pesó en una balanza analítica 7,218 g de nitrato potásico y estos fueron añadidos a un vaso de precipitados de 1L con agitador magnético de teflón. Se arrastró con agua destilada los restos de reactivo del pesasustancias al vaso de precipitados. A continuación, se añadieron unos 600 mL de agua destilada y se agitó. Una vez disuelto, mediante un embudo de vidrio, se trasvasó a un matraz aforado de 1,00 L, se enrasó con agua destilada y se homogenizó agitando manualmente.

A partir de la disolución se prepararon 6 patrones en matraces de 100 mL añadiendo con pipeta automática las cantidades que se detallan para cada patrón continuación:

- 0 (mg N L<sup>-1</sup>): 0 mL de solución patrón N de 1000 mg N L<sup>-1</sup>
- 5 (mg N L<sup>-1</sup>): 0,5 mL de solución patrón N de 1000 mg N L<sup>-1</sup>
- 10 (mg N L<sup>-1</sup>): 1,0 mL de solución patrón N de 1000 mg N L<sup>-1</sup>
- 25 (mg N L<sup>-1</sup>): 1,5 mL de solución patrón N de 1000 mg N L<sup>-1</sup>
- 20 (mg N L<sup>-1</sup>): 2,0 mL de solución patrón N de 1000 mg N L<sup>-1</sup>
- 25 (mg N L<sup>-1</sup>): 2,5 mL de solución patrón N de 1000 mg N L<sup>-1</sup> Se enrasaron los matraces con KCl 1M y se homogeneizaron agitando manualmente. Luego se trasvasaron los patrones a botes de plástico de 60 mL.

Los cálculos fueron realizados con las siguientes ecuaciones:

$$\text{NH}_4^+ (\mu\text{g/g suelo}) = \frac{50 * (\text{concentración medida (mg/L)} - \text{blanco (mg/L)})}{\text{Peso (g de la muestra)}}$$

$$\text{NO}_3^- (\mu\text{g/g suelo}) = \frac{50 * (\text{concentración medida (mg/L)} - \text{blanco (mg/L)})}{\text{Peso (g de la muestra)}}$$

$$\text{NO}_2^- (\mu\text{g/g suelo}) = \frac{50 * (\text{concentración medida (mg/L)} - \text{blanco (mg/L)})}{\text{Peso (g de la muestra)}}$$

Posteriormente estos valores fueron transformados a mg N kg<sup>-1</sup>

3.5.3.4. Relación C:N del suelo

Se determinó a partir de los porcentajes de COS y de N total de suelo obtenidos en el equipo Leco. Se dividió el % COS para el % N total del suelo tal como expresa la siguiente ecuación.

$$\text{Relación C/N} = \frac{\text{mg C g}^{-1}}{\text{mg N total g}^{-1}}$$

#### 3.5.3.5 Determinación del fósforo disponible por el método Olsen.

Se siguieron los procedimientos indicados en el Protocolo del Servicio de Análisis e Instrumentación de IRNASA bastante similares a los descritos por Fernández-Linares *et al* (2006), y basados en el método Olsen (1954).

#### *Extracción con NaHCO<sub>3</sub> 0,5M pH=8,5.*

En un pesasustancias se pesaron en balanza analítica, 2,5 g de suelo tamizado (< 2 mm) que fue colocado en a botella de cristal con tapón de rosca de 100 mL. Se añadió a cada botella una punta de espátula de carbón activo. Se añadió mediante bureta automática 50 mL de NaHCO<sub>3</sub> 0,5M; (pH 8,5). Se preparó un blanco de carbón activo+extractante (NaHCO<sub>3</sub>). Se agitaron las botellas en rotatorio durante 30 min. Una vez terminada la agitación mecánica también se agitó de forma manual la botella, inmediatamente antes de filtrar la suspensión con un embudo y papel de filtro. De manera inmediata antes de ser leídos, los extractos fueron preparados añadiendo los respectivos reactivos (como se indica un poco más adelante).

#### *Preparación de los patrones.*

A partir de la solución madre de P de 100 mg L<sup>-1</sup> se prepararon 6 patrones de 0-1 mg L<sup>-1</sup>. Para ello, en matraces de 50 mL, mediante pipeta automática se colocaron las siguientes cantidades de solución madre de P para cada patrón:

- Patrón de 0 mgP L<sup>-1</sup>: 0 mL
- Patrón de 0,2 mgP L<sup>-1</sup>: 0,1 mL
- Patrón de 0,4 mgP L<sup>-1</sup>: 0,2 mL
- Patrón de 0,6 mgP L<sup>-1</sup>: 0,3 mL
- Patrón de 0,8 mgP L<sup>-1</sup>: 0,4 mL
- Patrón de 1,0 mgP L<sup>-1</sup>: 0,5 mL

Posteriormente se añadió con mucha precaución en cada matraz 10 mL de extractante NaHCO<sub>3</sub> y 10 mL de molibdato amónico. Luego poco a poco y con mucho cuidado se introdujeron por segundos los matraces en el baño de ultrasonido, hasta que terminen de burbujear explosivamente; después se dejaron los matraces (con un anillo de plomo) por 15 minutos para eliminar por completo las burbujas de CO<sub>2</sub> formadas. Finalmente, los matraces fueron retirados del ultrasonido y enrasados con agua destilada.



### *Reactivo antes de realizar la medida*

Justo antes de realizar las medidas, en vitrina de gases, utilizando protección facial y guantes, en una probeta de 100 mL se añadió 0,5 mL de la solución concentrada de  $\text{SnCl}_2$  y se enrasó con agua destilada hasta 66 mL. Se tapó y se homogeneizó la disolución.

Se vertió una pequeña cantidad de esta disolución preparada en un vaso de precipitado y se añadió a cada matraz aforado (correspondiente a los patrones), 2,0 mL de  $\text{SnCl}_2$  diluido. Se taparon los matraces con los patrones y se homogeneizaron. La medida en el espectrofotómetro se realizó entre los 10-60 min posteriores.

### *Preparación de los extractos para su lectura*

Con una micropipeta se tomó una alícuota de 10 mL de cada una de las muestras filtradas y se colocó en un matraz de 50 mL. Se añadieron lentamente, con bastante precaución y mediante pipeta automática 10 mL molibdato amónico, debido a la gran cantidad de burbujas de  $\text{CO}_2$  que se produjeron de manera explosiva.

De la misma manera que los patrones las muestras con el molibdato amónico se introdujeron por segundos los matraces en el baño de ultrasonido, hasta que terminaron de burbujear explosivamente y después se dejaron los matraces (con un anillo de plomo) por 15 min para eliminar por completo las burbujas de  $\text{CO}_2$ . Finalmente, los matraces fueron retirados del ultrasonido y enrasados con agua destilada.

Igual que se hizo con los patrones; se añadió a cada matraz aforado el reactivo de 2,0 mL de  $\text{SnCl}_2$  diluido, luego se taparon los matraces y se homogeneizaron. La medida en el espectrofotómetro se realizó entre los 10-60 min posteriores.

### *Lectura de los patrones y las muestras*

Se encendió el espectrofotómetro de UV-Visible junto con el programa *Cary* (en el computador); se ajustaron las características, longitud de onda a 660 nm, número de patrones de 6, número de réplicas (un poco más grande que la cantidad de muestras y blancos a medirse por cada serie) y un mínimo de R de recta de calibración de 0,9950.

Después se introdujo la sonda del espectrofotómetro dentro de cada matraz (cuidando que no exista interferencias con burbujas), se tomaron las medidas de los 6 patrones y se verificó que la recta de calibración este dentro de los límites fijados. Siendo así se dio por válido y se leyeron las muestras y los blancos preparados con el reactivo de  $\text{SnCl}_2$  diluido. La sonda fue lavada con agua destilada y secada cuidadosamente entre cada lectura.

El cálculo de la concentración de P disponible fue realizado con la siguiente ecuación:

$$\text{mg P kg}^{-1}\text{suelo} = \frac{250 * \text{Concentración de P medido (mgL}^{-1}\text{)}}{\text{Peso muestra(g)}}$$

La concentración de P medida se obtiene de restar la concentración de P medida para la muestra menos la concentración de P medida para el blanco de cada serie de muestras.

Finalmente, para calcular la concentración de P asimilable (Pas) en kg P ha<sup>-1</sup> se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Pas (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Pas (ppm)} * \frac{\text{Ms (g ha}^{-1}\text{)}}{1000}$$

$$\text{Ms (g ha}^{-1}\text{)} = \text{L} * \text{A} * \text{Pr} * \text{Dap (g m}^{-3}\text{)}$$

$$\text{Dap (g m}^{-3}\text{)} = \text{Dap (g cm}^{-3}\text{)} * 1.000.000$$

En donde,

- L (largo de 1 ha) = 100 m
- A (ancho de 1 ha) = 100 m
- Pr (profundidad de muestra de suelo) = 0,2 m
- Dap (g/cm<sup>3</sup>) = el valor de la densidad de suelo obtenido para cada muestra

#### 3.5.3.6. Determinación de calcio, potasio y magnesio asimilables, extracción con acetato amónico y medición por espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo

Se siguieron los pasos del Protocolo del Servicio de Análisis e Instrumentación de CSIC-IRNSA, los cuales fueron consistentes con los Protocolos descritos por Van Reeuwijk (1999) y Fernández-Linares *et al* (2006) en cuanto a la extracción de los elementos, pero difieren en la técnica para leerlos.

Por cada serie de análisis y por cada disolución extractante con diferente fecha (cuando fue el caso) se filtro también, un blanco con 50 mL de la disolución de acetato amónico 1M (pH = 7,0).

Se pesaron 2,50 g de suelo seco tamizado en balanza analítica y fueron colocados en botellas de vidrio de 100 mL con tapa rosca. Se verificó que el pH de la disolución de acetato amónico 1 M se encuentra ajustado a pH = 7,00 ± 0,05 (cuando fue el caso se ajustó el pH), y se añadió a cada recipiente mediante bureta de vidrio graduada, 100 mL de acetato amónico, y se cerraron las botellas de vidrio.

Las botellas fueron colocadas en un agitador rotatorio por 30 min aproximadamente a 60 rpm. Una vez transcurrido el tiempo de agitación, se filtraron las mezclas obtenidas en

botes de plástico de 60 mL y conservaron las disoluciones filtradas en nevera a 4°C aproximadamente, hasta su lectura.

#### *Medición de las muestras*

Previamente a partir de soluciones madre monoelementales de 1000 mg L<sup>-1</sup> de Ca, K y Mg; se prepararon patrones de 0, 10, 20, 40 y 60 mg L<sup>-1</sup> para cada elemento.

Se colocaron los tubos con las muestras en las gradillas de plástico y los patrones en las gradillas metálicas. Se colocaron las gradillas en el automuestreador. Se introdujo el capilar en el itrio, se encendió el plasma y se arrancó con el análisis señalando “PLAY” en la pestaña Análisis y seleccionando las muestras a analizar.

El equipo efectuó una auto-calibración analizando los patrones introducidos, y cuando las longitudes de onda de la recta alcanzaban un coeficiente de correlación mínimo de 0,9980 y todos los puntos tuvieran un error inferior al 40%, se empleaban esas longitudes de onda procediendo al análisis de las muestras.

Es importante mencionar que se debe seleccionar en el equipo “las líneas” que se utilizaran para la emisión de los resultados, siendo las recomendadas y utilizadas, para el Ca 183.738, 183.944, 315.887 y 317.933; para el K 769.897; y para el Mg 279.800 y 280.270.

El equipo proporcionó 3 réplicas para cada lectura, indicando como resultado la media de las tres réplicas y la desviación estándar relativa (RSD). Los resultados finales se expresan como la media en mg L<sup>-1</sup> con 3 cifras decimales. Estos resultados fueron transformados utilizando la siguiente ecuación:

Corregir ppm por mg L<sup>-1</sup>

$$\text{Cación (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{\left[ \text{Lectura del blanco (mgL}^{-1}\text{)} * \text{N}^{\circ} \text{diluciones} \right]}{\text{Peso muestra}}$$

En donde

- Cation<sub>mgL<sup>-1</sup></sub>: es el valor de la concentración de elemento asimilable (Ca, Mg o K) en partes por millón
- Lectura del catión<sub>(mg/l)</sub>: Es la lectura del elemento asimilable (Ca, Mg o K) que reporta el equipo para cada muestra.
- Número de diluciones: Número de veces que se diluyo el extracto de muestra antes de medir (en este caso fue 1).
- Lectura del blanco<sub>(mg/l)</sub>: Es la lectura del elemento asimilable (Ca, Mg o K) para cada blanco que reporta el equipo.
- Peso de la muestra: Peso en gramos de la muestra seca que fue analizada.

Por último, se transformaron las concentraciones de  $\text{mg L}^{-1}$  de los elementos asimilables (Ca, Mg o K) en  $\text{kg ha}^{-1}$ , utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Elemento asimilable}_{(\text{kg/ha})} = \text{elemento asimilable}_{\text{ppm}} * (\text{Ms}_{\text{g/ha}}/1000)$$

$$\text{Ms}(\text{g ha}^{-1}) = \text{L} * \text{A} * \text{Pr} * \text{Dap}(\text{g m}^{-3})$$

$$\text{Dap}(\text{g m}^{-3}) = \text{Dap}(\text{g cm}^{-3}) * 1.000.000$$

En donde,

- L (largo de 1 ha) = 100 m
- A (ancho de 1 ha) = 100 m
- Pr (profundidad de muestra de suelo) = 0,2 m
- Dap ( $\text{g/cm}^3$ ) = el valor de la densidad de suelo obtenido para cada muestra

### 3.5.3. Análisis biológicos

#### 3.5.3.1 Determinación de la emisión potencial de $\text{CO}_2$ del suelo (respiración microbiana)- Método por respirómetro de circuito cerrado

Se siguieron los procedimientos del protocolo del Laboratorio de Contaminación de IRNASA-CSIC, que son bastante similares a los descritos por Peham y Bruckner (2012), Kopec *et al* (2013) y Barrales-Brito *et al* (2014).

Se pesaron 30 g de suelo fresco y tamizado con malla de 2 mm. Luego se preparó un litro de solución de NaOH 1 M. Después, se colocó el suelo pesado y los 20 mL de la solución de NaOH en los recipientes del respirómetro. Se continuó colocando los recipientes del respirómetro en una cámara ajustando la temperatura entre 25 y 26 °C. Posteriormente cada 24 horas se toman las lecturas del respirómetro por 4 días (incluyendo el día 0).

El respirómetro tomó medidas en hPa (unidades de presión) y estas medidas fueron utilizadas para determinar la emisión de  $\text{CO}_2$  (en moles) producida por los microorganismos del suelo. Los cálculos fueron realizados a partir de la aplicación de las ecuaciones (incluida la de los gases ideales) descritas por Kopec *et al* (2013) y Barrales-Brito *et al* (2014), las cuales se presentan a continuación.

Ecuación de los gases ideales:

$$RS_{\text{mg/l}} = \frac{PM(O_2)}{R * T} * \frac{V_{\text{libre}}}{Mms_{\text{kg}}} * |\Delta P|$$

Dónde,

- $RS$ : Respiración del suelo (oxígeno consumido en  $\text{mg L}^{-1}$ )
- $PM(O_2)$ : Peso molecular del oxígeno (31,998  $\text{mg} * \text{mol}$ ),

- $R$ : constante universal de los gases (83,14 l hPa /kmol)
- $T$ : temperatura de incubación en °Kelvin (293,15)
- $V_{libre}$ : volumen libre del sistema (L)
- $Mms_{kg}$ : masa de muestra de suelo (kg),
- $|\Delta P|$  es el cambio de presión en hPa registrado por el sensor localizado en el cabezal de los frascos.

El volumen total del sistema ( $V_{Libre}$ ) fue igual a volumen del frasco ( $V_{fr}$ ) menos el volumen ocupado por la muestra ( $V_m$ ) y el dispositivo ( $V_d$ ) que contenía el absorbente. Por lo tanto, el cálculo se realizó con la siguiente ecuación:

$$V_{libre} = V_{fr} - (V_d + V_m)$$

Dónde,

- $V_{libre}$ : volumen libre del sistema
- $V_{fr}$ : 1000 mL
- $V_d$ : Volumen ocupado por absorbente y dispositivos del absorbente
- $V_m$ : Volumen ocupado por muestra de suelo (obtenido con peso en g muestra de suelo y su valor de la densidad).

La cantidad de oxígeno consumido en  $\text{mgL}^{-1}$   $\text{O}_2$  fue obtenida para un determinado peso real específico que tuvo la muestra de suelo; por lo tanto, para encontrar el valor del Oxígeno consumido en  $\text{mgkg}^{-1}$ , se dividió la cantidad obtenida de  $\text{O}_2$  en  $\text{mgL}^{-1}$ , por el peso real en kg que tuvo la muestra de suelo que fue colocada dentro del recipiente de 1,00 L.

$$\text{O}_2 \text{ mg/kg} = \frac{\text{O}_{2\text{mg/L}}}{\text{Peso real de muestra (Kg/L)}}$$

Por su parte, el cálculo de la cantidad de  $\text{CO}_2$  emitido se realizó con base en la cantidad de oxígeno consumido por cada muestra de suelo, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_2 \text{ mg/kg} = \frac{\text{O}_2}{\frac{(\text{Peso molecular O}_2)_{\text{equivalente gramos}}}{\text{Peso (molecular CO}_2)_{\text{equivalente gramo}}}}$$

Donde,

- $\text{CO}_{2\text{mg/kg}}$ : emisión potencial de  $\text{CO}_2$  en  $\text{mgkg}^{-1}$  de suelo
- $\text{O}_2$ : cantidad de oxígeno consumido en la incubación ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
- $\text{Peso (molécula O}_2)_{\text{equivalente en gramos}}$ : 8 g
- $\text{Peso (molécula CO}_2)_{\text{equivalente en gramos}}$ : 22 g

Finalmente se estimó la cantidad potencial de CO<sub>2</sub> en Mg ha<sup>-1</sup>, utilizando la siguiente ecuación.

$$CO_{2 \text{ Mg/ha}} = \frac{CO_2 \text{ (mg/kg)} * 0,0000001 * M_s \text{ (masa de suelo g/ha)}}{1000000}$$

$$M_{s \text{ g/ha}} \text{ (Masa de suelo)} = L * A * Pr * Dap \text{ (g/m}^3\text{)}$$

$$Dap_{\text{g/m}^3} = Dap_{\text{g/cm}^3} * 1.000.000$$

En donde,

- *L* (largo de 1 ha) = 100 m
- *A* (ancho de 1 ha) = 100 m
- *Pr* (profundidad de muestra de suelo) = 0,2 m 0 20 cm
- *Dap* (g/cm<sup>3</sup>) = Valor de la densidad de suelo obtenido para cada muestra

### 3.6. METADATOS DE COS

#### 3.6.1. Recolección de mediciones de COS en los andes ecuatorianos

Se generó de una base de datos con mediciones de COS reportadas para los diferentes tipos de CVUT en las diferentes zonas andinas del país. Esta base de datos para cada sitio donde se realizaron la medida de COS (y otros parámetros del suelo) tiene información sobre: (i) nivel de influencia de cenizas volcánicas; (ii) material parental o tipo de suelo; (iii) edad de los suelos, (iv) cobertura vegetal y uso de la tierra; (v) historia del uso de la tierra; (vi) altura sobre el nivel del mar; (vii) precipitación; (viii) temperatura promedio y (ix) pH. Se tienen poco más de 1.005 datos sobre mediciones de COS. La recolección de mediciones de COS se obtuvieron de dos maneras; de la extracción de información de artículos científicos (259) y de un muestreo virtual (746) realizado en los perfiles de suelo reportados en el portal del Instituto Espacial Ecuatoriano (<[www.ideportal.iee.gob.ec](http://www.ideportal.iee.gob.ec)>). Los detalles de los autores de las publicaciones y del número de perfil de suelo del IEE se encuentran en el Anexo I.

### 3.7. MÉTODOS Y MODELOS ESTADÍSTICOS

#### 3.7.1 Análisis de la Varianza: Efecto del factor CVUT sobre las variables de respuesta que corresponden a los diferentes parámetros de la MOS.

Para analizar los parámetros físicos (densidad edáfica, pH edáfico y humedad relativa), químicos (contenido de MOS, Relación C/N, Nitrógeno, Nitritos, Amonios, Fósforo disponible, Cationes de Cambio) y biológicos (Respiración y COL) de la MOS bajo los

diferentes tipos de CVUT, se utilizaron análisis de varianza cruzado-anidados y análisis de varianza con medidas repetidas.

Las variables de respuesta fueron los diferentes parámetros del la MO; las variables independientes fueron factor CVUT, factor Zona de estudio y factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio. Por su parte, el factor con medidas repetidas fue Estación climática. El nivel de significancia utilizado fue  $P \leq 0.05$ . Los diferentes análisis fueron realizados en el programa *Satística 7* (*StatSoft*, versión de prueba).

#### Modelos cruzado-anidados

En algunas situaciones específicas no se pueden combinar todos los niveles de un factor con todos los niveles de otro; es decir, no se pueden determinar todos los posibles tratamientos que aparecen al cruzar los factores; para estos casos se pueden utilizar los modelos de diseños anidados o cruzado-anidados (McDonald, 2014). Los modelos anidados y cruzado anidados, también llamados jerárquicos se caracterizan por tener una hipótesis nula para cada nivel (Ojeda-Ramírez y Gutierrez-Reyes, 2005; Badii *et al*, 2014). Por su parte, los diseños cruzado-anidados presentan tanto factores cruzados como anidados (DEUCIIM, s/a). Cuando no presentan todos los sujetos se utiliza la Suma de cuadrados Tipo IV: Estimable (Restrepo 2007a; 2007b).

En este caso se utilizó el modelo de diseño cruzado-anidado, ya que una parte de los niveles del factor principal CVUT sí se pueden cruzar (páramo y pino) y otra parte no se pueden cruzar del todo (bosque secundario, pastizal y páramo degradado) ya que están anidados al factor Zona de estudio. Es decir, el factor cobertura vegetal tiene 2 niveles completos y tiene 3 niveles incompletos; donde el factor CVUT está anidado en el factor Zona de estudio. En el modelo de análisis propuesto la zona de estudio es el factor más fuerte sobre la variación, mientras que la CVUT influye de forma local dentro de cada grupo. Los factores y niveles de factor son los siguientes:

#### *Factor 1: CVUT*

Niveles del factor: Páramo y Pino (completos)  
Bosque secundario, Pastizal y Páramo degradado (incompletos)

#### *Factor 2: Zona de estudio (localidad)*

Niveles del factor: El Ángel, Cotopaxi, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja

Mientras que el modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k(ij) + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

$i$  = CVUT

$j$  = Zona de estudio (localidad)

$k$  = CVUT anidado en Zona de estudio

$l$  = n

$\mu$  =  $y_{\dots}$  (valor medio del parámetro evaluado)

$\alpha_i$  =  $y_{i\dots} - y_{\dots}$

$\beta_j$  =  $y_{\cdot j \cdot} - y_{\dots}$

$(\alpha\beta)_{ij}$  =  $y_{ij\dots} - y_{i\dots} - y_{\cdot j \cdot} + y_{\dots}$

Los supuestos indicados por Cayuela (2010) que se verificaron para poder utilizar el modelo fueron:

- (a) Independencia. Los sujetos muestrales; es decir, las parcelas y, por tanto, los residuales del modelo son independientes entre sí.
- (b) Linealidad. La respuesta de Y, en este caso los diferentes parámetros de la MOS, frente a las variables X que son la CVUT y la Zona de estudio, es lineal.
- (c) Normalidad. Mediante la prueba Shapiro-Wilk se examinó que los residuales del modelo sean normales, es decir, que sigan una distribución de tipo gaussiana.
- (d) Homocedasticidad. Se utilizó la prueba de Levene para observar que las varianzas sean homogéneas en los distintos niveles del factor o en los diferentes intervalos de la variable respuesta.

Para el caso de algunas variables de respuesta como, por ejemplo, la Dap, se trataron los datos utilizando la función *seno*, con lo cual llegaron a cumplir con las cuatro condiciones (a, b, c y d).

#### Modelos con medidas repetidas

Por otra parte, para evaluar el efecto de la estacionalidad se utilizó un análisis de varianza con medidas repetidas (Blanca-Mena, 2004). Estos análisis se caracterizan porque todos los niveles de factor se realizan a los mismos sujetos (Jennrich y Schluchter, 1986). Es decir a los mismos sujetos se realiza la misma valoración en diferentes ocasiones (Vallejo y Lozano, 2006). En este caso los sujetos son las 72 unidades experimentales con áreas de 0,25 ha; el factor de medidas repetidas fue la Estación climática con dos niveles (lluviosa y seca),



el factor de análisis fue la CVUT y la variable de respuesta la MOS y cada uno de los paraentros medidos.

*Factor A:* CVUT

Niveles del factor: Páramo y Pino (completos);  
Pastizal, Bosque secundario y Páramo degradado (incompletos)

*Factor B* (medidas repetidas): Estación climática

Niveles del factor: Estación seca y Estación Lluviosa.

El modelo matemático de análisis utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \eta_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = la puntuación de  $i$  sujeto bajo la  $j$  (tratamiento CVUT)

$\mu$  = la media global de todos los datos

$\eta_i = \mu_i - \mu$  = el efecto asociado al  $i$ ésimo sujeto (medidas repetidas)

$\alpha_j = \mu_j - \mu$  = el efecto de  $j$ ésimo nivel de la variable CVUT

$\varepsilon_{ij}$  = el error experimental asociado al  $i$  sujeto bajo el  $j$  tratamiento CVUT

Para poder utilizar este modelo, además de los supuestos de: (a) Independencia, (b) Linealidad, (c) Normalidad y (d) Homocedasticidad; también se verificó la (e) esfericidad, es decir, la homogeneidad de las covarianzas (Vallejo y Lozano, 2006; IBM, 2013).

#### Comparaciones posteriores

Para ver las diferencias específicas se utilizó la prueba *LSD* (*Least Significant Difference*) de Fischer (Carmer y Walker, 1982; Saville, 2003), ya que esta a diferencia de la prueba HSD de Tukey, permite trabajar con modelos no equilibrados; es decir, modelos en los cuales el tamaño de la muestra de los tratamientos no es el mismo (Saville, 1990). Además, esta prueba es más potente debido a que el nivel  $\alpha$  para cada comparación no se corrige para comparaciones múltiples (Williams y Abdi, 2010). La prueba *LSD* compara las medias de los niveles  $t$  de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA.

El modelo para el análisis *LSD* no equilibrado fue el siguiente:

$$LSD = t_{\alpha/2; N-I} \sqrt{\hat{S}_R^2 \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

En donde,

- $n_i$  y  $n_j$ : Número de observaciones correspondiente a cada media
- $N - I$ : Número de grados de libertad de la varianza residual,
- $t_{\alpha/2; N-I}$ : Valor crítico de la distribución t con  $N - 1$  grados de libertad que deja una probabilidad a su derecha igual a  $\alpha/2$ .
- $\hat{S}_R^2$ : varianza residual

### **Análisis de Componentes Principales (ACP)**

El análisis de componentes principales (ACP) fue realizado a partir de datos que se corresponden con 48 variables y 72 unidades muestrales; es decir, un total de 3.456 datos.

Las variables fueron: 1) Zona de estudio; 2) CVUT; 3) MOS; 4)  $D_{ap}$ ; 5) Relación C/N edáfica de la estación seca; 7) Relación C/N edáfica de la estación lluviosa; 7)  $NO_3^-/NH_4^+$  de estación seca; 8)  $NO_3^-/NH_4^+$  de estación lluviosa; 9) C/N de la estación seca; 10) C/N de la estación lluviosa; 11) Respiración potencial; 12)  $V$  de la estación seca; 12)  $V$  de la estación lluviosa; 13)  $P_{as}$  de la estación seca; 14)  $P_{as}$  de la estación lluviosa; 15) pH del suelo de la estación seca; 16) pH del suelo de la estación lluviosa; 17)  $Mg_{as}$ ; 18)  $Ca_{as}$ ; 19)  $K_{as}$ ; 20) CIC de la estación seca; 21) CIC de la estación lluviosa; 22)  $Mg^{2+}$  intercambiable de la estación seca; 23)  $Mg^{2+}$  intercambiable de la estación lluviosa; 24)  $Ca^{2+}$  intercambiable de la estación seca; 25)  $Ca^{2+}$  intercambiable de la estación lluviosa; 26)  $K^+$  intercambiable de la estación seca; 27)  $K^+$  intercambiable de la estación lluviosa; 28)  $Na^+$  intercambiable de la estación seca; 29) Conductividad; 30) Arcilla (%); 31) Limo (%); 32) Arena (%); 33) Días de lluvia; 34) Promedio anual de lluvia; 35) Temperatura; 36) Altitud; 37) Conservación; 38) COL; 39) NTS de la estación seca; 40) NTS de la estación lluviosa; 41) Humedad gravimétrica edáfica de la estación seca; 42) Humedad gravimétrica edáfica de la estación lluviosa; 43) Nitratos de la estación seca; 44) Nitratos de la estación lluviosa; 45) Amonio de la estación seca; 46) Amonio de la estación lluviosa; 47) contenido de COS de la estación seca; y 48) contenido de COS de la estación lluviosa. Mientras que las 72 unidades muestrales corresponden al número total de parcelas que fueron evaluadas en esta investigación

Casi todas las variables fueron medidas directamente en esta investigación; sin embargo, los datos correspondientes a promedio anual de precipitación, días de lluvia, temperatura y estado de conservación (cualitativo) fueron obtenidos a partir de información secundaria disponible, principalmente del INAMHI (2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2016), además de documentos complementarios (IGM, 1981; Hofstede *et al*, 2002a; Buytaert *et al*, 2009; M.A.E., 2010; Ulloa *et al*, 2010; GAD de Urdaneta, 2015).

### *Tratamiento previo de los datos*

La mayor parte de las variables tuvieron datos en la temporada seca y lluviosa; es decir, dos cohortes de datos que fueron consolidados en un solo cohorte para realizar el ACP.

Debido a que cada variable tiene una magnitud de medida diferente a las demás se realizó un tratamiento previo para normalizar los datos de todas las variables, de modo que estas puedan tener comparación entre sí dentro del modelo matemático de análisis (Villardón, 2002); para ello, se utilizó el procedimiento de *homogenización a partir de la desviación estándar*, en el cual se restó al valor de la media de la variable el valor de la variable medida  $n$ ; el resultado se divió para la desviación estándar (Gurrea, 2000; Carmona, 2014).

A partir de los primeros resultados del ACP se fueron eliminando las variables poco representativas y las que estaban correlacionadas entre sí, hasta llegar a tener un número total de 20 variables independientes que estuvieron altamente correlacionados con los componentes principales.

## **CAPITULO IV: RESULTADOS**



## **4.1. EFECTO DE LOS FACTORES ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO y CVUT SOBRE EL CONTENIDO DE MOS**

### **4.1.1. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable contenido de MOS (%) en la región Alto-Andina de Ecuador**

El rango promedio del contenido de MOS (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT en las zonas de estudio Alto-Andinas estuvo entre 3,9 % y 38,6 % (Tabla 4.1.1.1; Fig. 4.1.1.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de dos factores con medidas repetidas* para evaluar la estacionalidad no mostraron diferencias significativas en el contenido de MOS (%) entre la época seca y la época lluviosa (Tabla 4.1.1.2).

Por esa razón, se decidió consolidar los datos de las dos temporadas en un solo cohorte y luego de ello, se aplicaron las pruebas estadísticas para evaluar los efectos de la CVUT y de la Zona de estudio.

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio cómo el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable MOS (%) (Tabla 4.1.1.3).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio, indicaron que todas las zonas tuvieron significativamente diferente porcentaje de MOS (Tabla 4.1.1.3); es decir, no hubo dos zonas con igual % promedio de MOS. La zona con mayor porcentaje fue la zona del Cajas, seguida de la zona del Ángel, en tercer lugar la zona de Oña-Yacuambi, en cuarto la zona de Loja, en quinto la zona de Chimborazo y en sexto lugar, la zona que tuvo significativamente menor % de MOS fue la de Cotopaxi (Fig.4.1.1.1.).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT indicaron que este factor influyo significativamente sobre la variable % de MOS en las zonas del Ángel, Chimborazo, el Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Sin embargo, influyo de forma diferente en cada zona. Todos estos resultados se describen a continuación.

#### MOS bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

En la zona del Ángel el rango de MOS promedio estuvo entre los en 13,1 y 34,2 % (Fig. 4.1.1.3.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que los sitios bajo Páramo y bajo Pino tuvieron similares contenido de MOS ( $p>0,05$ ); también indicaron que los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ); además indicaron que los sitios bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ); y finalmente también indicaron que los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor porcentaje de MOS que los sitios bajo Pastizal ( $p<0,005^{***}$ ).

#### MOS bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

El contenido de MOS promedio estuvo entre 3,5 y 4,6 % (Fig. 4.1.1.4.). En la zona del Cotopaxi el contenido de MOS no mostró diferencias significativas entre los sitios bajo Páramo y bajo Pino ( $p>0,05$ ).

#### MOS bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

El contenido de MOS en las CVUT de la zona de Chimborazo varió entre 4,2 y 22,3 % (Fig. 4.1.1.5.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que el contenido de MOS (%) no tuvo diferencias significativas entre sitios bajo Páramo y bajo Pino ( $p>0,05$ ). También indicaron que los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de MOS (%) que los sitios bajo Páramo ( $p<0,001^{***}$ ), Pino ( $p<0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p<0,001^{***}$ ). Por su parte, los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor MOS (%) que los sitios bajo Páramo degradado ( $p<0,05^*$ ); y también, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de MOS (%) que los suelos bajo Páramo degradado ( $p<0,05^*$ ).

#### MOS bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

El rango promedio de MOS entre 31,9 y 38,6 % (Fig. 4.1.1.6.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* para la temporada seca mostraron que los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Pino ( $p<0,005^{**}$ ), bajo Pastizal ( $p<0,005^{**}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ).

#### MOS bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

El promedio del contenido de MOS para esta zona estuvo entre 15,2 y 29,3 % (Fig. 4.1.1.7.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* mostraron que los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,005^{**}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ); y también, que los sitios bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### MOS bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la zona de Loja el rango promedio de MOS estuvo 12,5 y 18 % (Fig. 4.1.1.8.). Los resultados de la prueba *LSD* indicaron que los sitios bajo Páramo no tuvieron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Pino ( $p > 0,05$ ) y bajo Bosque secundario ( $p > 0,05$ ), pero si significativamente mayor contenido que los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,05^{*}$ ). Por su parte, los sitios bajo Pino no presentaron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Pastizal ( $p > 0,05$ ), pero si presentaron significativamente menor contenido de MOS que los sitios bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ). Finalmente, los sitios bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor contenido de MOS que los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,05^{*}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de ecuación de regresión indicó que los datos de MOS (%) tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,95; *F* = 21,20;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,96; *F* = 32,87;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de MOS (%) bajo los diferentes tipos de CVUT tuvieron significativamente distribución normal (Fig. 4.1.1.9.) tanto en la temporada seca (*W* = 0,93;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo para la temporada lluviosa (*W* = 0,93;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos estimados de MOS tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca (*F* = 3,73;  $p < 0,001^{***}$ ) como los de la temporada lluviosa (*F* = 4,45;  $p < 0,001^{***}$ ).



Tabla 4.1.1.1. Contenido de MOS (%) bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Zona         | n  | Páramo    |         | Pino      |          | Pastizales |         | Bosque secundario |         | Páramo degradado |         | Promedio general |         |
|--------------|----|-----------|---------|-----------|----------|------------|---------|-------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
|              |    | media (%) | EE      | media (%) | EE       | media (%)  | EE      | media (%)         | EE      | media (%)        | EE      | media (%)        | EE      |
| El Ángel     | 24 | 34        | ± 1,4 a | 32        | ± 0,8 a  | 13         | ± 0,3 c | 20                | ± 1,8 b | -                | -       | 28               | ± 1,8 B |
| Cotopaxi     | 20 | 4         | ± 0,6 a | 4,6       | ± 0,3 a  | -          | -       | -                 | -       | -                | -       | 4                | ± 0,3 F |
| Chimborazo   | 24 | 8         | ± 0,7 b | 8         | ± 1,3 b  | 22         | ± 2,3 a | -                 | -       | 4                | ± 0,3 c | 10               | ± 1,3 E |
| Cajas        | 36 | 39        | ± 1,1 a | 32        | ± 0,8 b  | 32         | ± 2,0 b | 32                | ± 1,9 b | -                | -       | 34               | ± 0,9 A |
| Oña-Yacuambi | 24 | 15        | ± 1,0 c | 22        | ± 2,6 b  | -          | -       | 29                | ± 2,4 a | -                | -       | 22               | ± 1,7 C |
| Loja         | 16 | 17        | ± 2,2 a | 14        | ± 1,2 ab | 13         | ± 1,6 b | 18                | ± 1,5 a | -                | -       | 15               | ± 0,9 D |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.1.1.2. Efecto de medidas repetidas (Estación climática) sobre el contenido de MOS en la región Alto-Andina de Ecuador

| <i>EFECTO</i>                 | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de Libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| Estación                      | 24                       | 1                         | 24        | 2,16     | 0,15     |
| Estación*Zona de estudio      | 56                       | 5                         | 11        | 1,01     | 0,42     |
| Estación*CVUT                 | 24                       | 4                         | 6         | 0,54     | 0,70     |
| Estación*Zona de estudio*CVUT | 55                       | 11                        | 5         | 0,45     | 0,92     |
| Error                         | 565                      | 51                        | 11        |          |          |

Tabla 4.1.1.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el contenido de MOS (%) en la región Alto-Andina de Ecuador

| <i>Efecto</i>                | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Media suma cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>p</i>   |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|------------|
| Intercepción                 | 47984                    | 1                         | 47984                       | 2838     | < 0,001*** |
| Zona de estudio              | 14143                    | 5                         | 2829                        | 167      | < 0,001*** |
| CVUT anidado Zona de estudio | 3529                     | 15                        | 235                         | 14       | < 0,001*** |
| Error                        | 2079                     | 123                       | 17                          |          |            |

Tabla 4.1.1.4. Resultados de la prueba *LSD* sobre diferencias significativas en % de MOS entre zonas Alto-Andinas de estudio

|              | El Ángel   | Cotopaxi   | Chimborazo | Cajas      | Oña-Yacuambi | Loja       |
|--------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|
| El Ángel     |            | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001***   | < 0,001*** |
| Cotopaxi     | < 0,001*** |            | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001***   | < 0,001*** |
| Chimborazo   | < 0,001*** | < 0,001*** |            | < 0,001*** | < 0,001***   | < 0,001*** |
| Cajas        | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001*** |            | < 0,001***   | < 0,001*** |
| Oña-Yacuambi | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001*** |              | < 0,001*** |
| Loja         | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001*** | < 0,001***   |            |

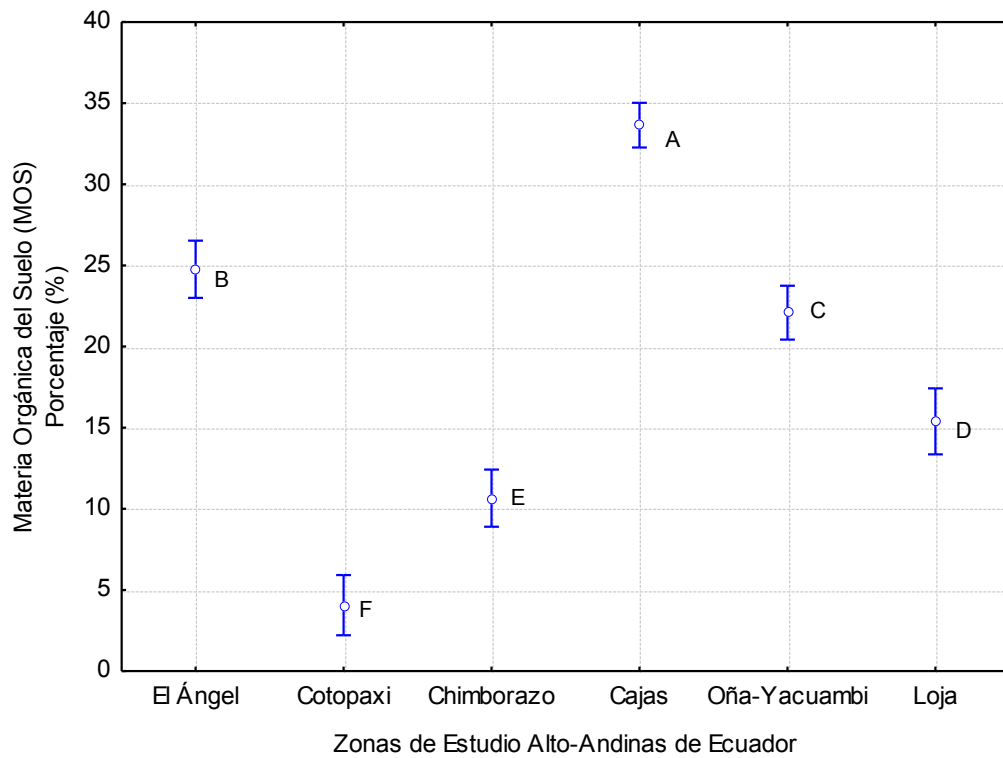


Figura 4.1.1.1. MOS (%) en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores consolidados de las estaciones seca y lluviosa (n = 144). La barra (I) indica la desviación estándar y las letras las diferencias significativas.

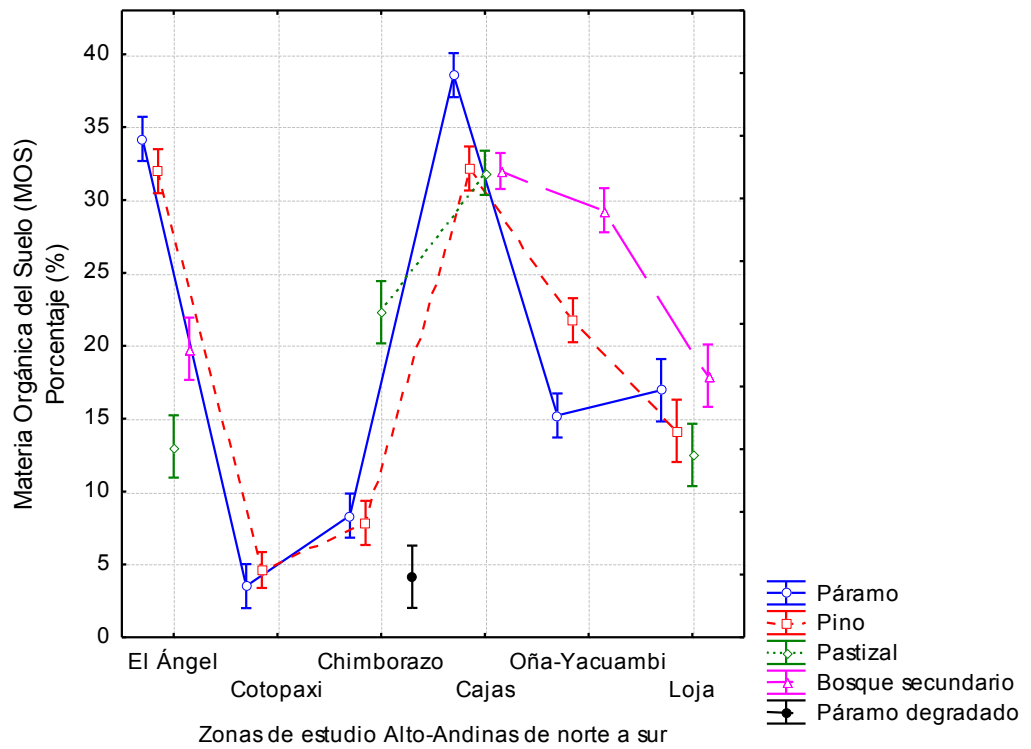


Figura 4.1.1.2. Materia Orgánica del Suelo (%) bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador (n= 144). La barra (I) indica la desviación estándar

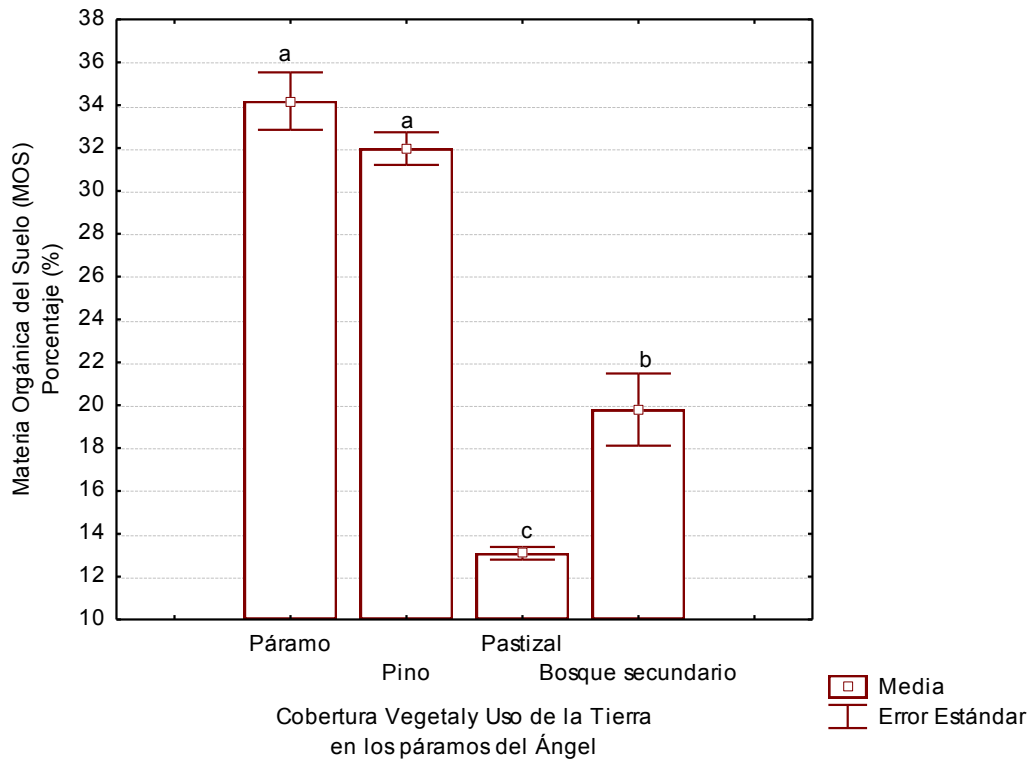


Figura 4.1.1.3. Contenido de MOS (%) bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras (a, b, c) indican las diferencias significativas.

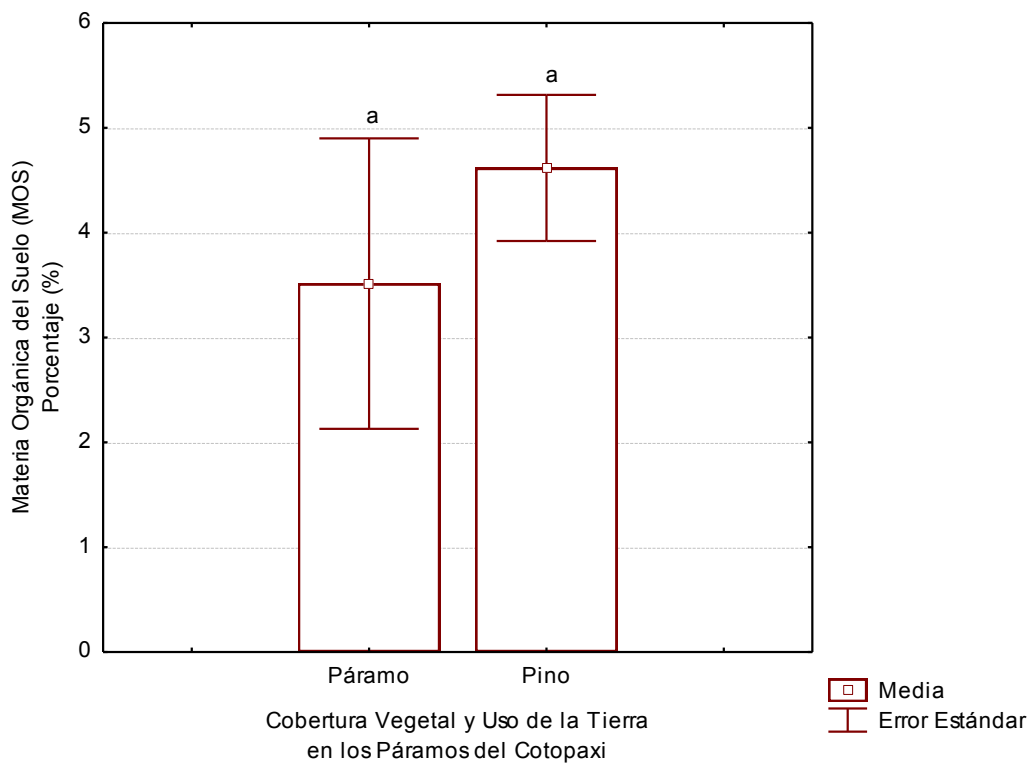


Figura 4.1.1.4. Contenido de MOS (%) bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras (a, b, c) indican las diferencias significativas.

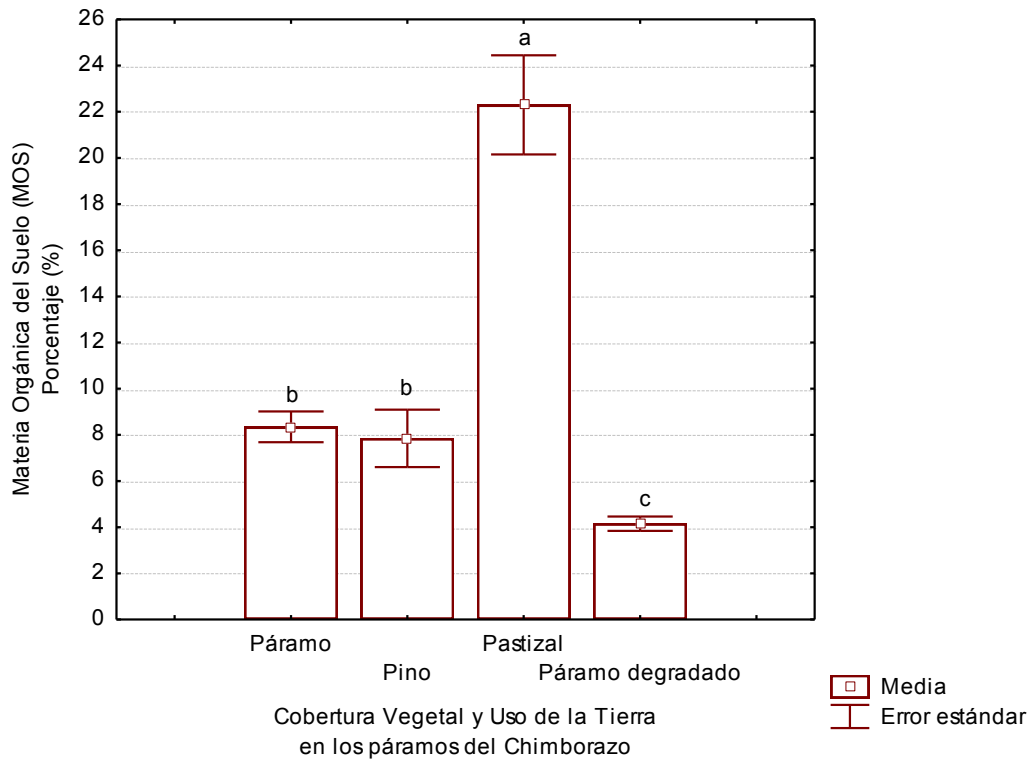


Fig. 4.1.1.5. Contenido de MOS (%) bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras (a, b, c) indican las diferencias significativas.

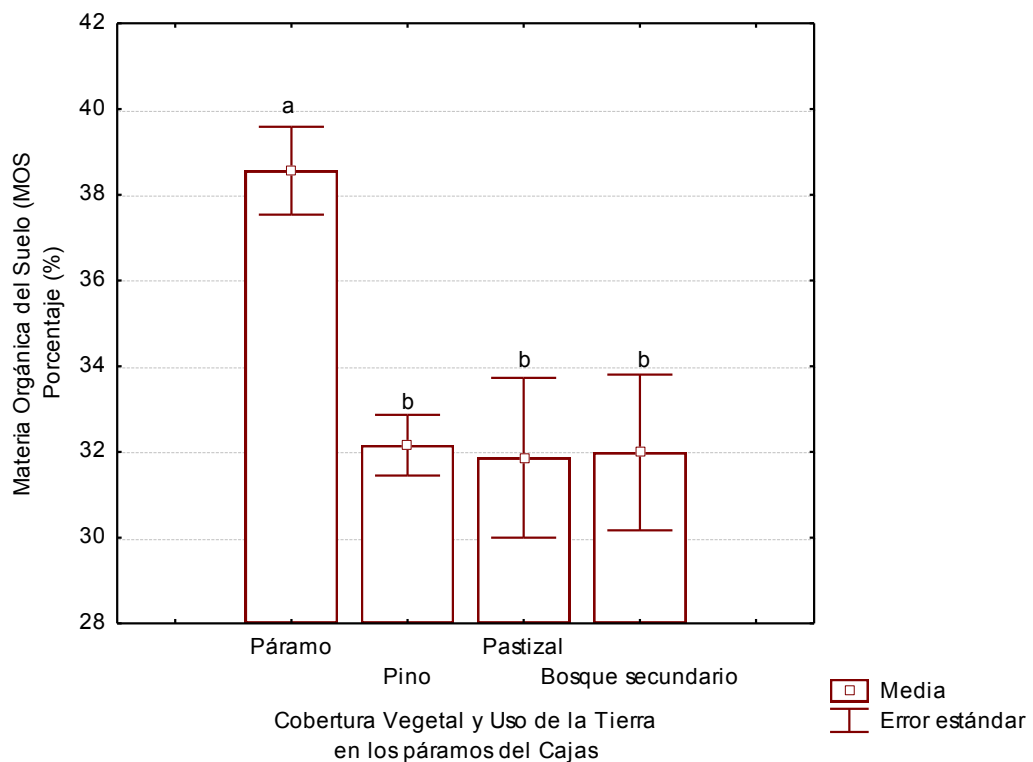


Figura 4.1.1.6. Contenido de MOS (%) bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras (a, b, c) indican las diferencias significativas.

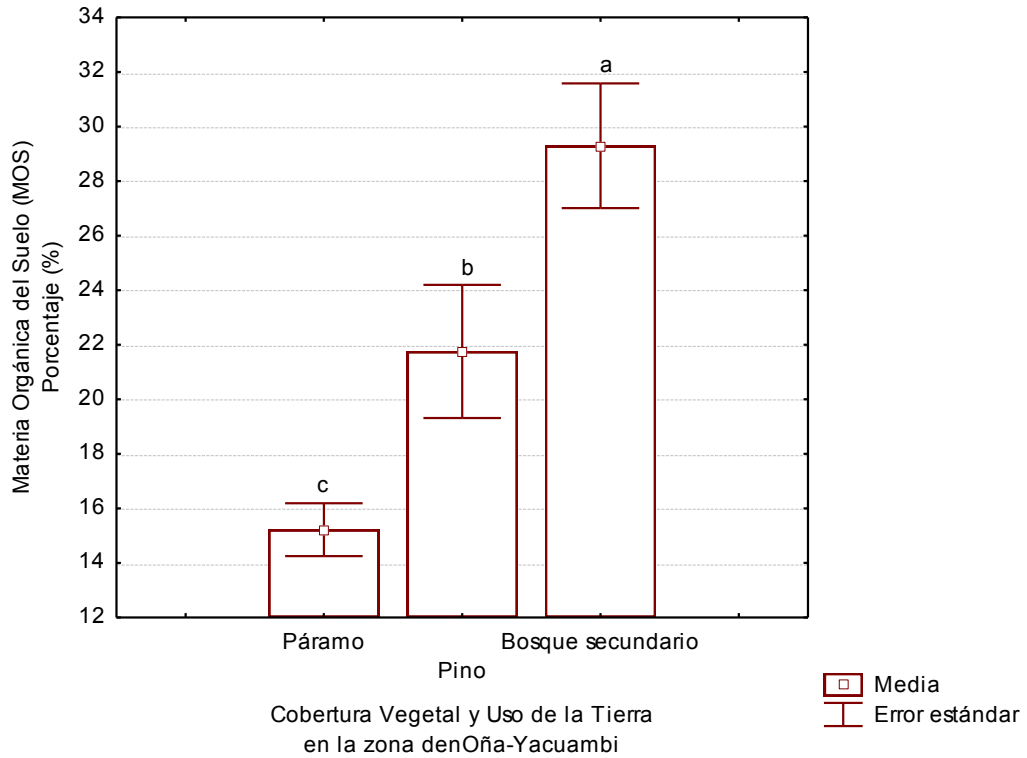


Figura 4.1.1.7. Contenido de MOS (%) bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras (a, b, c) indican las diferencias significativas.

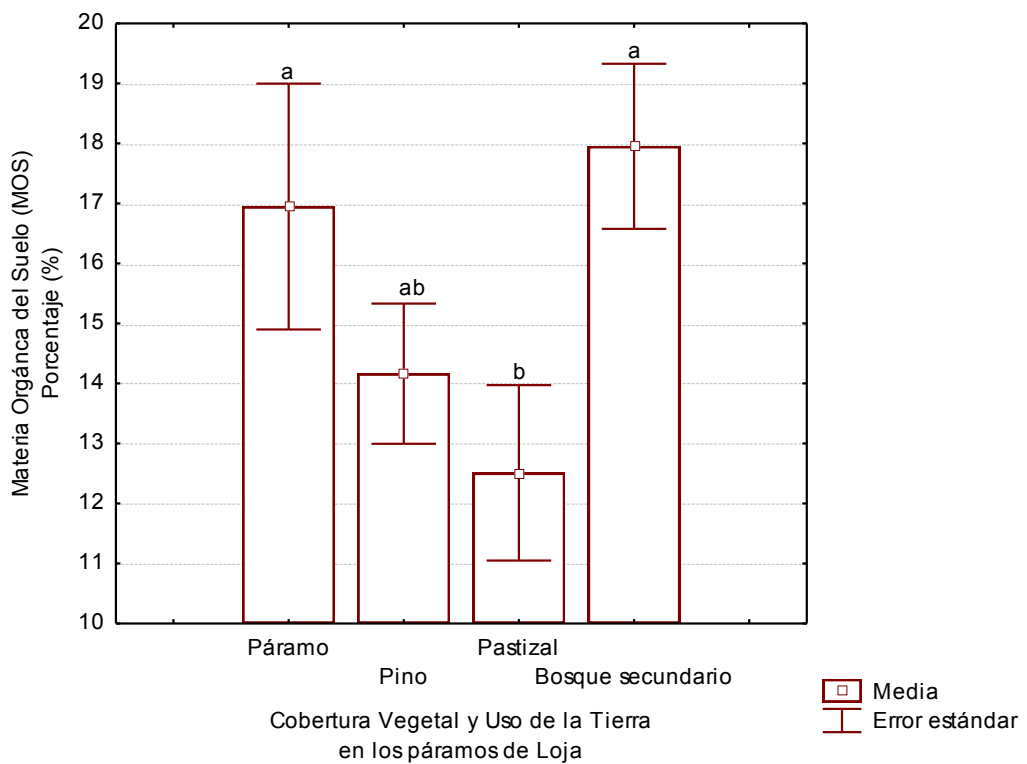


Figura 4.1.1.8. Contenido de MOS (%) bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras (a, b, c) indican las diferencias significativas.

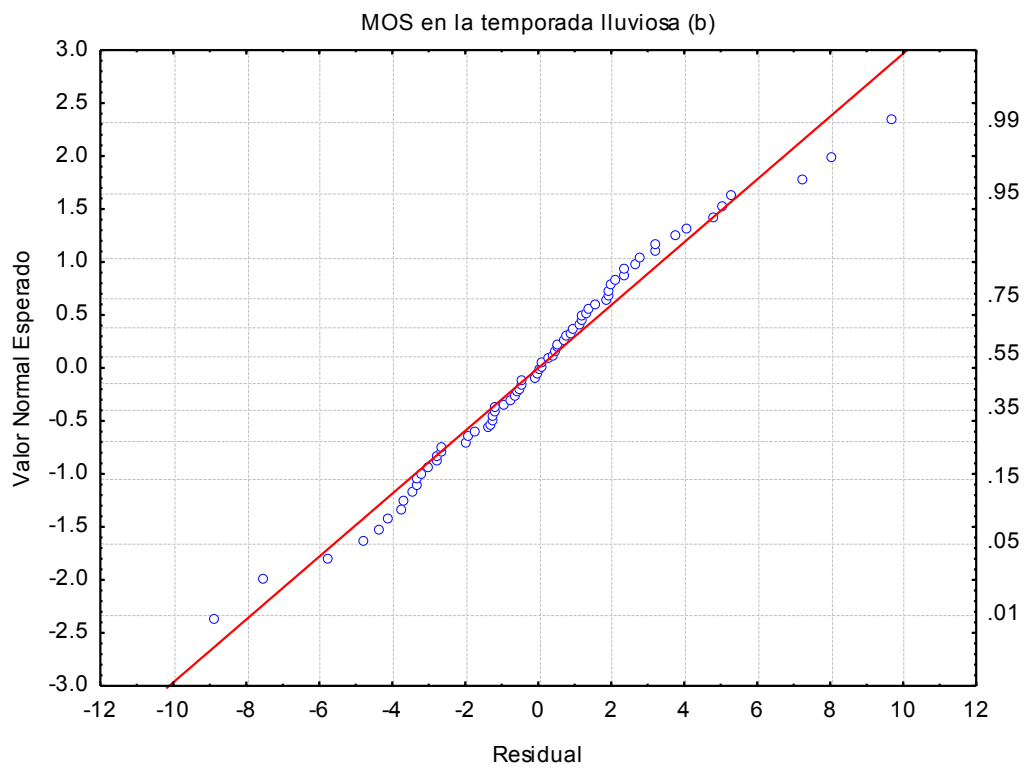
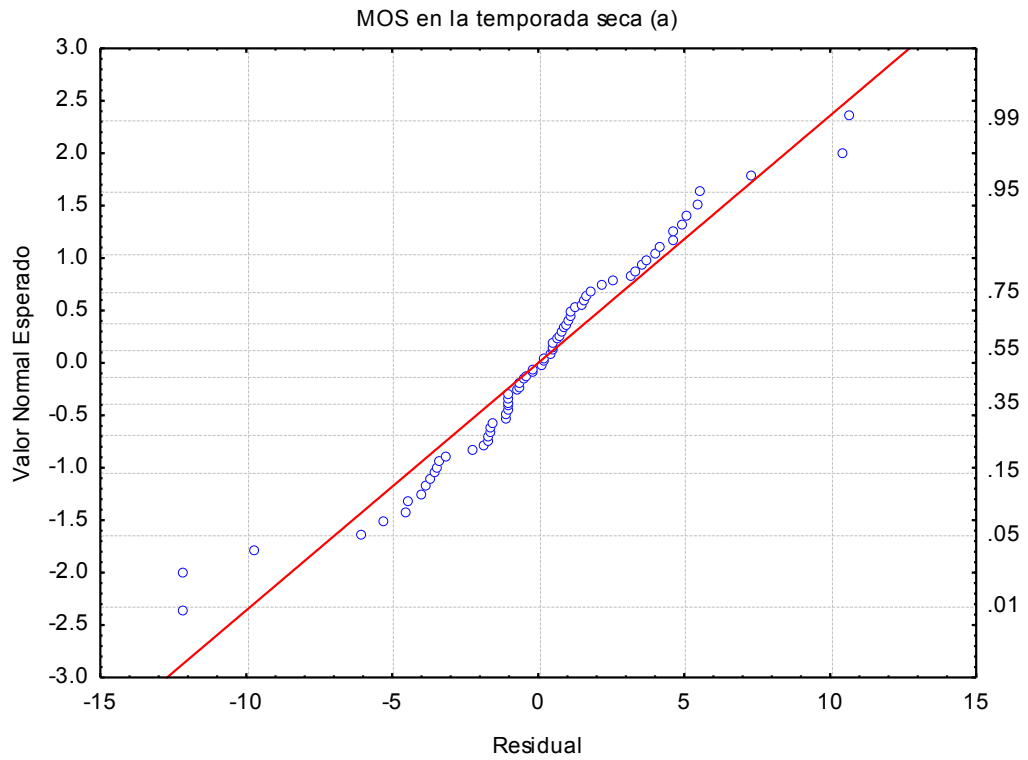


Figura 4.1.1.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales crudos de MOS (%) para los datos de las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

## **4.2. EFECTO DE LOS FACTORES ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO Y CVUT SOBRE LAS VARIABLES FÍSICAS, FISICOQUÍMICAS, BIOQUÍMICAS, DE FERTILIDAD EDÁFICA Y BIOLÓGICAS DEL SUELO**

### **A EFECTO DE DE LOS FACTORES ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO Y CVUT SOBRE LAS VARIABLES FÍSICAS DEL SUELO-**

#### **4.2.1. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable porcentaje de humedad gravimétrica del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador, temporadas lluviosa y seca.**

Los rangos promedio de humedad gravimétrica del suelo bajo diferente CVUT en las zonas de estudio Alto-Andinas estuvieron entre 3% y 32 % para la temporada seca y entre 10 % y 74% para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.1.1; Fig. 4.2.1.2).

Los resultados de la prueba *ANOVA de dos factores con medidas repetidas* indicaron que existió un efecto significativo de la estación climática sobre la humedad gravimétrica del suelo. También indicaron que la estacionalidad tuvo un efecto significativo en la interacción con los factores zona de estudio y CVUT (Tabla 4.2.1.2).

Los resultados de la prueba *LSD* para evaluar los efectos específicos de la estación climática bajo cada CVUT en las diferentes zonas Alto-Andinas indicaron que en todos los sitios de estudio hubo significativamente mayor humedad gravimétrica del suelo en la época de lluvias.

Debido a que la humedad gravimétrica del suelo fue diferente para cada estación climática, se aplicó la prueba *Anova con factor anidado* considerando dentro del mismo modelo matemático una cohorte independiente de datos para cada estación climática (secas y lluvias).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio cómo el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable porcentaje de humedad gravimétrica del suelo (Tabla. 4.2.1.3.).

Los resultados de la prueba *LSD* entre zonas indicaron que en la estación seca los suelos de zona de Oña-Yacuaambi tuvieron significativamente mayor humedad gravimétrica que los suelos de las demás zonas (Fig. 4.2.1.1.a): el Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ). Los suelos de Loja fueron los segundos con mayor humedad gravimétrica, siendo

significativamente su porcentaje mayor a las zonas del Ángel ( $p<0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *LSD* en la estación lluviosa indicaron que los suelos de zona de Oña-Yacuambi tuvieron mayor humedad gravimétrica que los suelos de las demás zonas (Fig. 4.2.1.1.b): el Ángel ( $p<0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,001^{***}$ ) y Loja ( $p<0,001^{***}$ ). Sin embargo, en lluvias, los suelos del Ángel y Cajas fueron los segundos con mayor % de humedad gravimétrica del suelo. Los suelos del Ángel tuvieron significativamente mayor % de humedad gravimétrica que los suelos de Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ) y Loja ( $p<0,001^{***}$ ). Por su parte, los suelos del Cajas tuvieron significativamente mayor % de humedad gravimétrica que los suelos de Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ) y Loja ( $p<0,001^{***}$ ).

Los resultados de las pruebas posteriores *LSD* indicaron que los efectos de la CVUT sobre el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo ocurrieron en todas las zonas de estudio (con excepción de Cotopaxi) y en las dos temporadas, con patrones particulares para cada zona. Los mismos que se describen a continuación.

#### *Humedad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

En las dos estaciones la CVUT tuvo un efecto significativo sobre la humedad gravimétrica del suelo (Fig. 4.2.1.3.)

En la estación seca indicaron que el suelo bajo Páramo tuvo significativamente mayor humedad gravimétrica que el suelo bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,005^{**}$ ); además, indicaron que los suelos bajo Pino tuvieron similar humedad gravimétrica que los suelos bajo Pastizal ( $p>0,05$ ) y significativamente mayor humedad gravimétrica que los suelos bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ) (Fig. 4.1.3.3.)

Por su parte, en la estación lluviosa el suelo bajo Páramo tuvo significativamente mayor humedad gravimétrica que el suelo bajo Pino ( $p<0,05^*$ ), bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ).

#### *Humedad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi*

No se encontró un efecto significativo de la CVUT sobre la humedad gravimétrica del suelo (Fig. 4.2.1.4.).



#### Humedad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

La CVUT tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.1.5.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* para la estación seca indicaron que los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{**}$ ), bajo Pino ( $p < 0,005^{**}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ); también, indicaron que los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{**}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* para la estación lluviosa mostraron que los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Pino ( $p < 0,001^{**}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{**}$ ); además, indicaron que los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^{*}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Humedad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

Se encontró un efecto significativo de la CVUT sobre la humedad gravimétrica del suelo y los suelos fueron más húmedos en la estación lluviosa (Fig. 4.2.1.6.)

Los resultados de la prueba posterior *LSD* para la estación seca indicaron que en los sitios bajo Páramo hubo significativamente mayor humedad gravimétrica del suelo que en los sitios bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ), Pastizal ( $p < 0,05^{*}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* para la estación lluviosa mostraron que los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ). También, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ).

#### Humedad del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

Se encontró un efecto significativo de la CVUT sobre la humedad del suelo, y el suelo fue significativamente más húmedo que en la estación lluviosa (Fig. 4.2.1.7.).

Los resultados de la prueba *LSD* para la temporada seca indicaron que los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba *LSD* para la temporada lluviosa mostraron que el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo bajo Bosque secundario fue significativamente mayor que el del suelo bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Humedad del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

Se evidencia un efecto significativo de la CVUT sobre la humedad gravimétrica del suelo y en la estación lluviosa, el suelo fue más húmedo que en la estación seca (Fig. 4.2.1.8.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* para la estación seca indicaron que los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor humedad gravimétrica que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); y significativamente menor humedad gravimétrica que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^{*}$ ).

Mientras que los resultados de la prueba *LSD* para la temporada lluviosa indicaron que los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor humedad gravimétrica que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ); y que los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor porcentaje de humedad gravimétrica que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de regresión indicó que los datos de porcentaje de humedad gravimétrica del suelo tuvieron significativamente linealidad tanto en la estación seca (*múltiple R* = 0,97;  $F = 47,71$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,96;  $F = 29,41$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro Wilk*, por su parte, indicaron que los datos de humedad gravimétrica del suelo tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.1.9.) tanto para la temporada seca ( $W = 0,93860$ ;  $p < 0,01^{**}$ ; Fig. 1a) cómo para la temporada lluviosa ( $W = 0,95178$ ,  $p < 0,01^{**}$ ; Fig. 1b).

Finalmente, la prueba *Levene* indicó que los datos de humedad gravimétrica del suelo (%) tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto en la temporada lluviosa ( $F = 2,45$ ;  $p < 0,01^{**}$ ) cómo en la temporada seca ( $F = 2,56$ ;  $p < 0,01^{**}$ ).

Tabla 4.2.1.1 Porcentaje de humedad gravimétrica del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores de las temporadas seca y lluviosa (media y error estándar: E.E.).

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo    |    | Pino      |    | Pastizal  |    | Bosque secundario |    | Páramo degradado |     | Promedio general |    |
|--------------|--------------------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-------------------|----|------------------|-----|------------------|----|
|              |                    |    | media (%) | EE | media (%) | EE | media (%) | EE | media (%)         | EE | media (%)        | EE  | media (%)        | EE |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 16 ± 1,2  | a  | 13 ± 1,2  | ab | 11 ± 1,7  | b  | 10 ± 1,7          | b  | -                | -   | 12,4 ± 0,7       | c  |
|              | Lluviosa           | 12 | *64 ± 3,1 | A  | *56 ± 3,1 | BC | *44 ± 4,4 | B  | *52 ± 4,4         | C  | -                | -   | 57 ± 1,9         | B  |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 9,5 ± 1,2 | a  | 7,5 ± 1,0 | a  | -         | -  | -                 | -  | -                | -   | 8,5 ± 0,8        | d  |
|              | Lluviosa           | 10 | *27 ± 3,1 | A  | *21 ± 2,6 | A  | -         | -  | -                 | -  | -                | -   | 24 ± 2,0         | D  |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 3,7 ± 1,2 | b  | 3,0 ± 1,2 | bc | 10 ± 1,7  | a  | -                 | -  | 1,4              | 1,7 | 4,5 ± 0,7        | e  |
|              | Lluviosa           | 12 | *25 ± 3,1 | B  | *14 ± 3,1 | C  | *38 ± 4,4 | A  | -                 | -  | *10              | 4,4 | 22 ± 1,9         | D  |
| Cajas        | Seca               | 18 | 16 ± 1,2  | a  | 13 ± 1,2  | b  | 13 ± 1,2  | b  | 13 ± 1            | b  | -                | -   | 14 ± 0,6         | c  |
|              | Lluviosa           | 18 | *64 ± 3,1 | A  | *55 ± 3,1 | B  | *57 ± 3,1 | B  | *48 ± 2,6         | C  | -                | -   | 56 ± 1,5         | B  |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 28 ± 1,2  | ab | 31 ± 1,2  | a  | -         | -  | 26 ± 1,2          | b  | -                | -   | 28 ± 0,7         | a  |
|              | Lluviosa           | 12 | *60 ± 3,1 | B  | *58 ± 3,1 | B  | -         | -  | *74 ± 3,1         | A  | -                | -   | 64 ± 1,8         | A  |
| Loja         | Seca               | 8  | 27 ± 1,7  | b  | 22 ± 1,7  | c  | 32 ± 1,7  | a  | 13 ± 1,7          | d  | -                | -   | 23 ± 0,8         | b  |
|              | Lluviosa           | 8  | *44 ± 4,4 | A  | *35 ± 4,4 | B  | *45 ± 4,4 | A  | *32 ± 4,4         | B  | -                | -   | 39 ± 2,2         | C  |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.1.2. Efecto de la estación climática sobre el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador.

| Efecto                               | Suma de cuadrados | Gardos de libertad | MS      | F    | p          |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|---------|------|------------|
| Estacionalidad                       | 26716             | 1                  | 26716.0 | 1345 | < 0,001*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 3520              | 5                  | 704.0   | 35   | < 0,001*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 460               | 4                  | 115.0   | 6    | < 0,001*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 754               | 11                 | 69.0    | 4    | < 0,01***  |
| Error                                | 1013              | 51                 | 20.0    |      |            |

Tabla. 4.2.1.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la variable porcentaje de humedad gravimétrica del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                         | Prueba | Valor    | F    | GL efecto | GL error | p          |
|--------------------------------|--------|----------|------|-----------|----------|------------|
| Intercepción de variables      | Wilks  | 0,010255 | 2413 | 2         | 50       | < 0,001*** |
| CVUT                           | Wilks  | 0,009546 | 92   | 10        | 100      | < 0,001*** |
| CVUT anidada a ZONA DE ESTUDIO | Wilks  | 0,145202 | 5    | 30        | 100      | < 0,001*** |

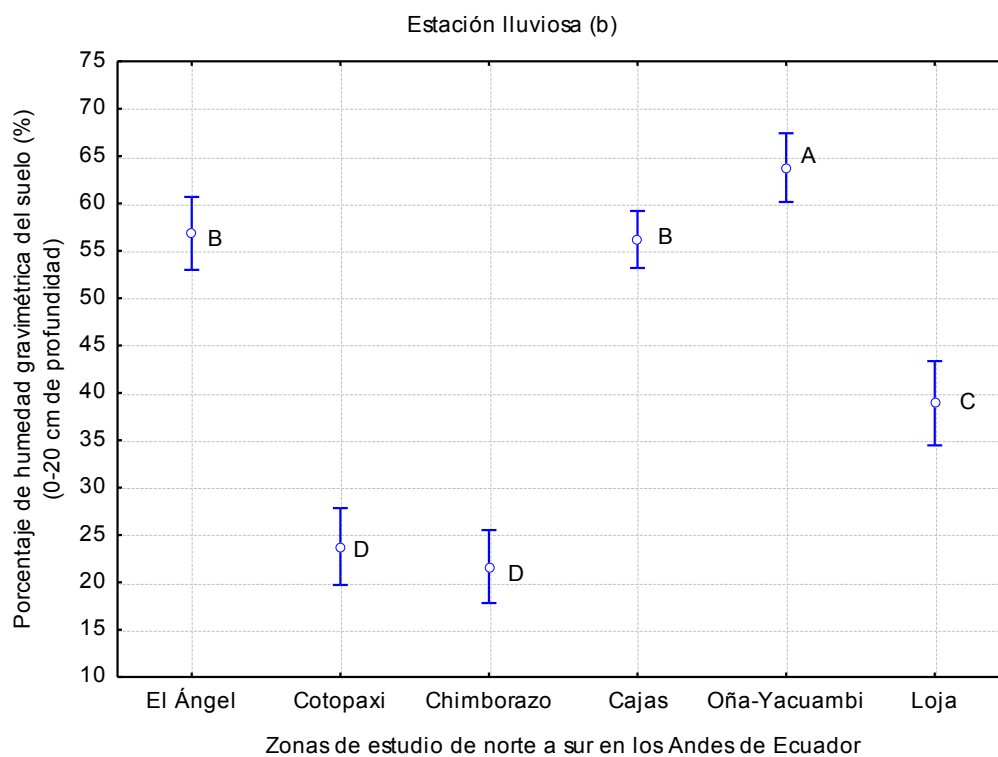
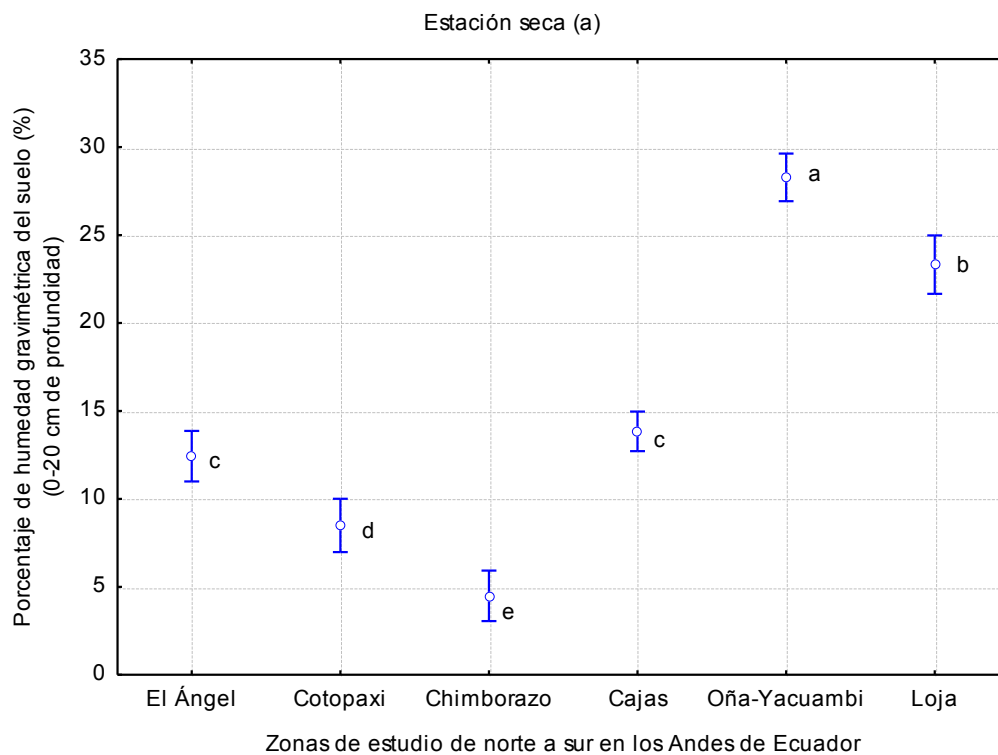


Figura 4.2.1.1 Humedad gravimétrica del suelo (%) de norte a sur en las Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b). La barra (I) indica la desviación estándar

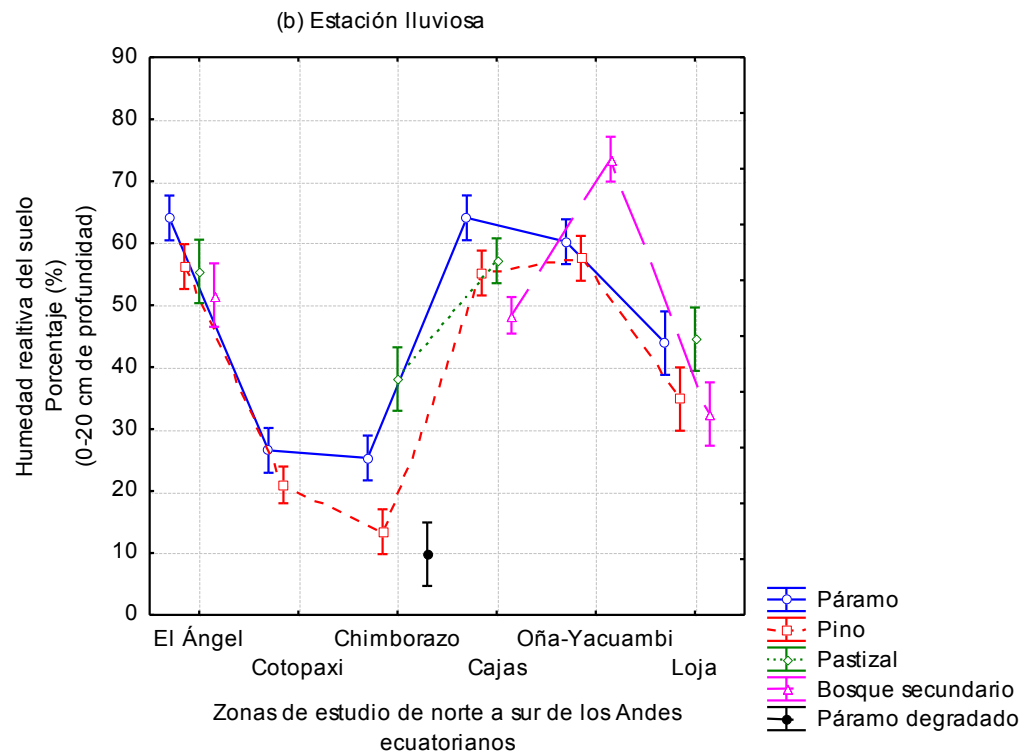
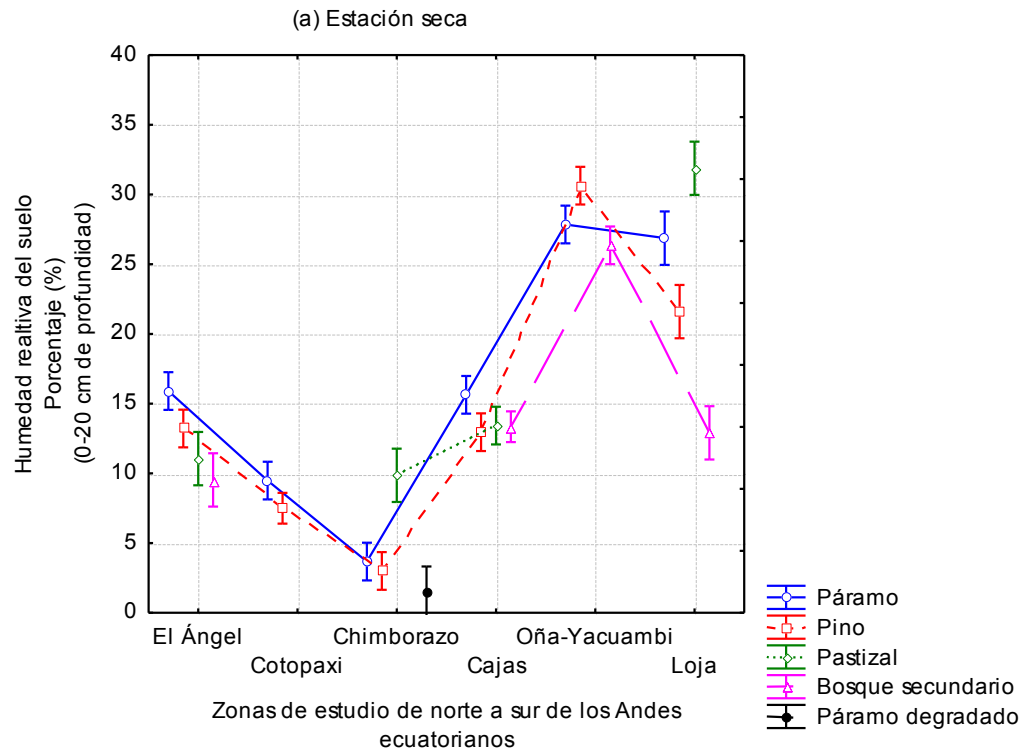


Figura 4.2.1.2 Humedad gravimétrica del suelo (%) bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b). La barra (I) indica la desviación estándar

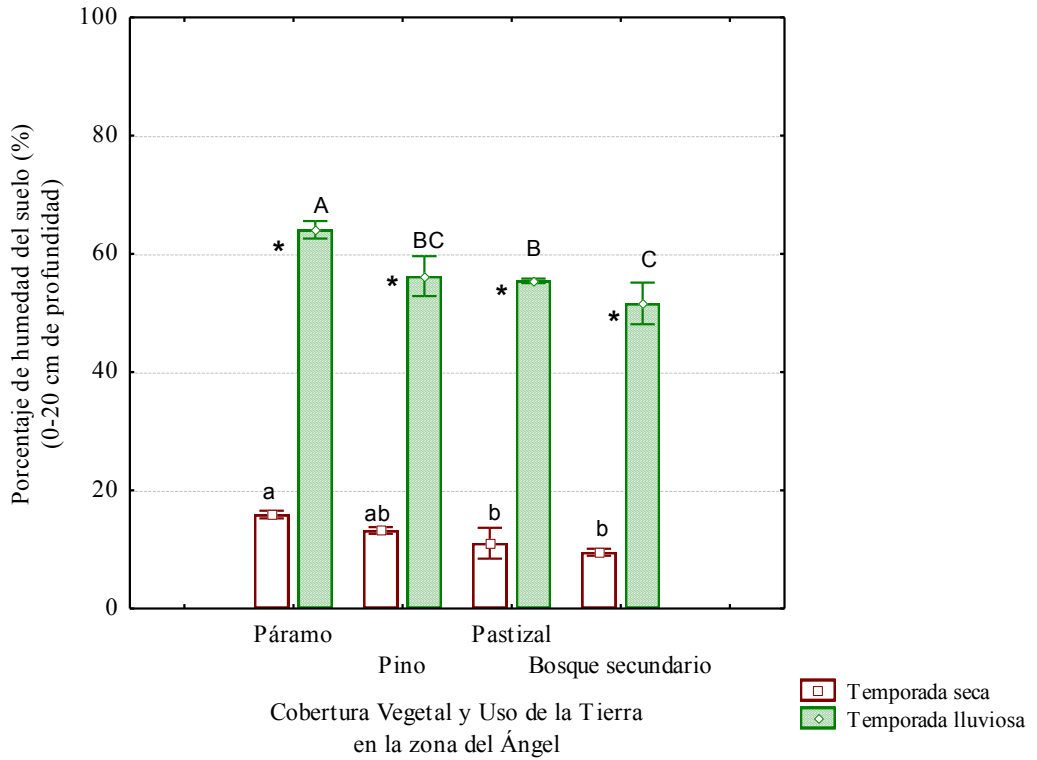


Figura 4.2.1.3. Humedad gravimétrica relativa del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

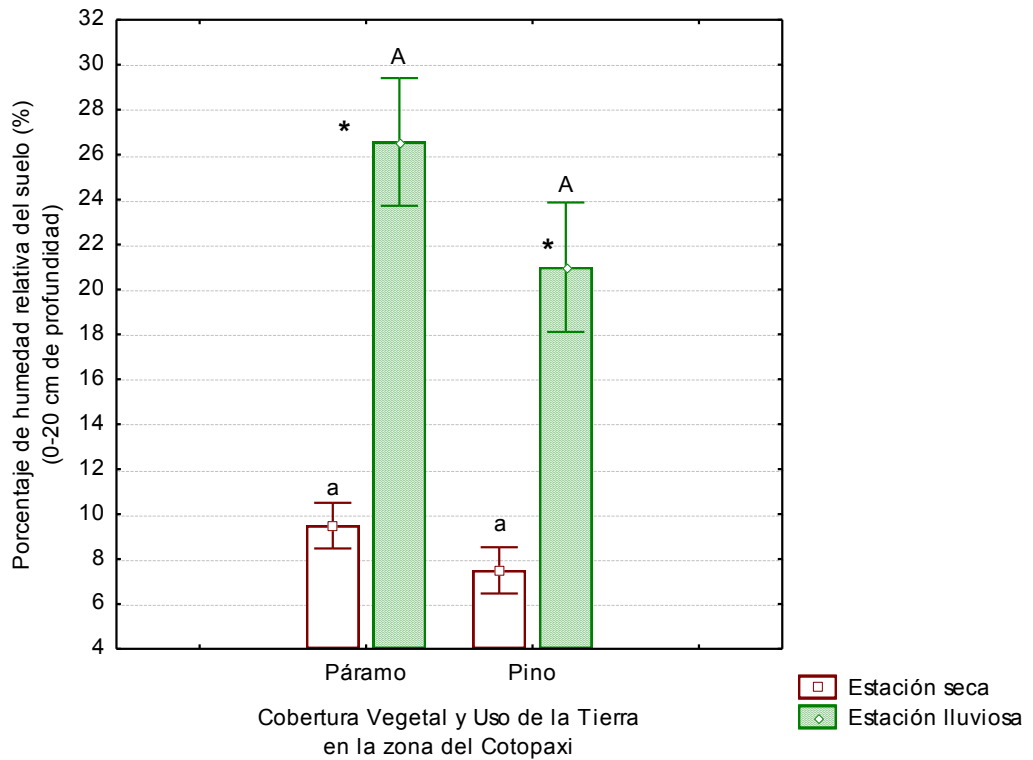


Figura 4.2.1.4. Humedad gravimétrica del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

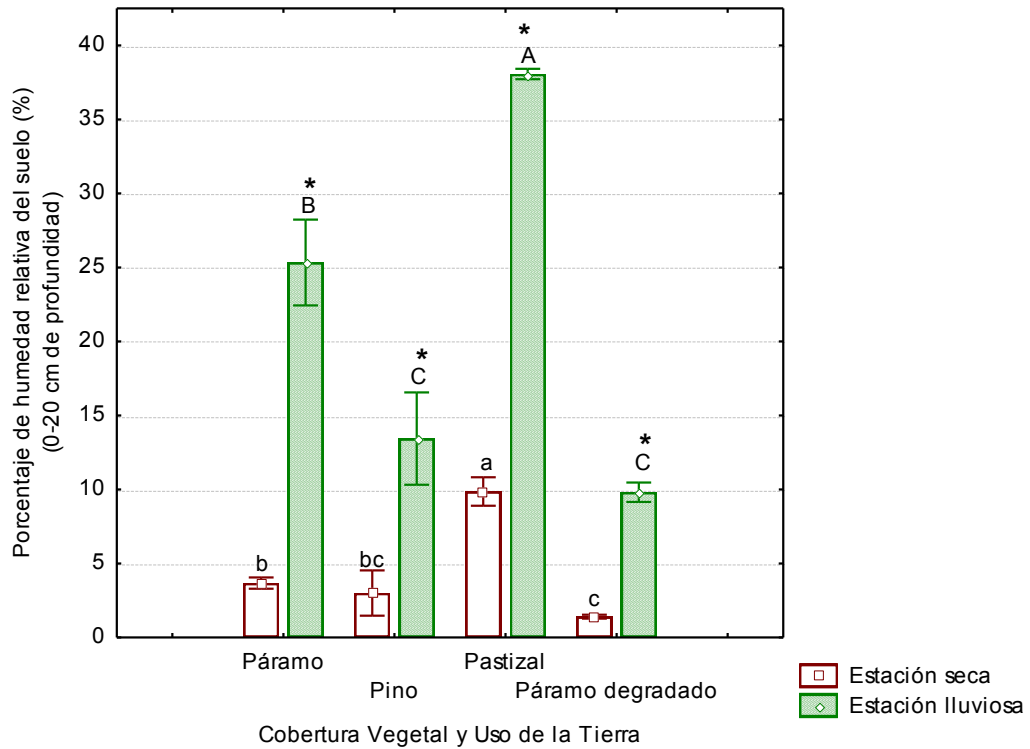


Figura 4.2.1.5. Humedad gravimétrica del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

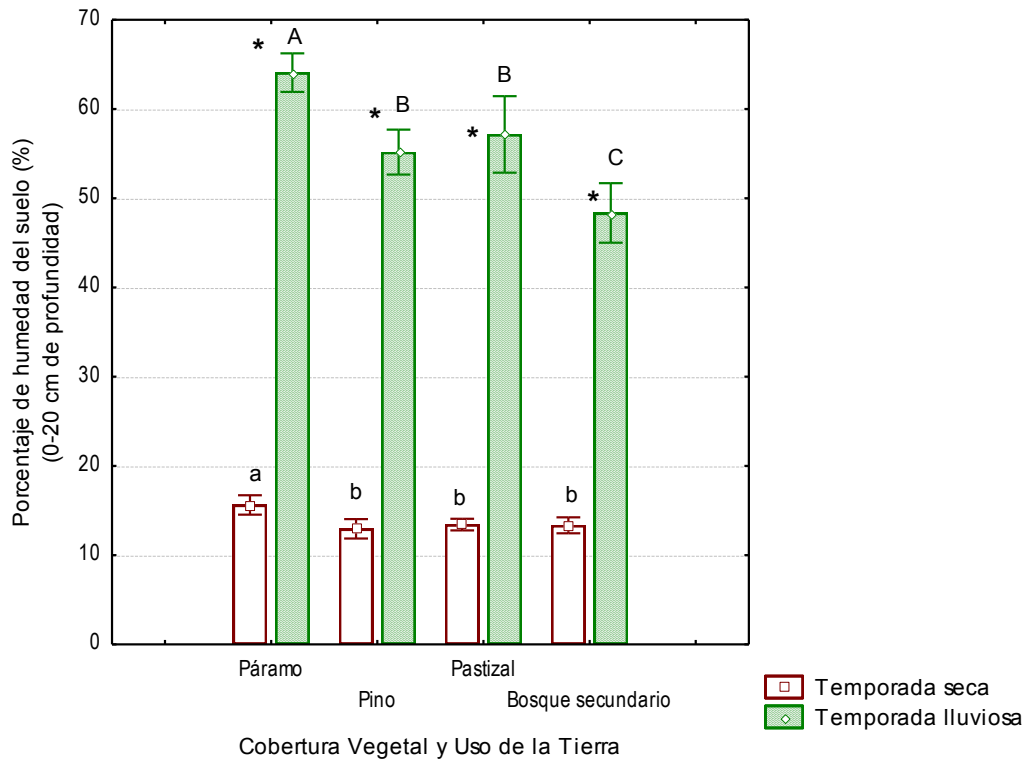


Figura 4.2.1.6. Humedad gravimétrica del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

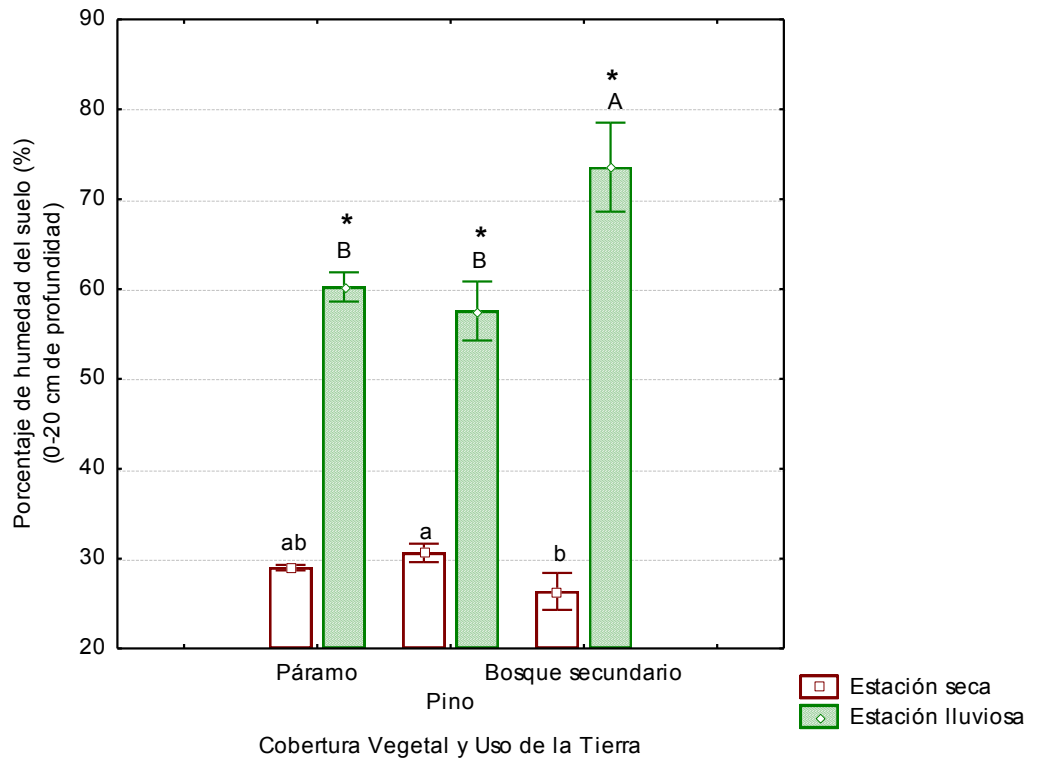


Figura 4.2.1.7. Humedad gravimétrica del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

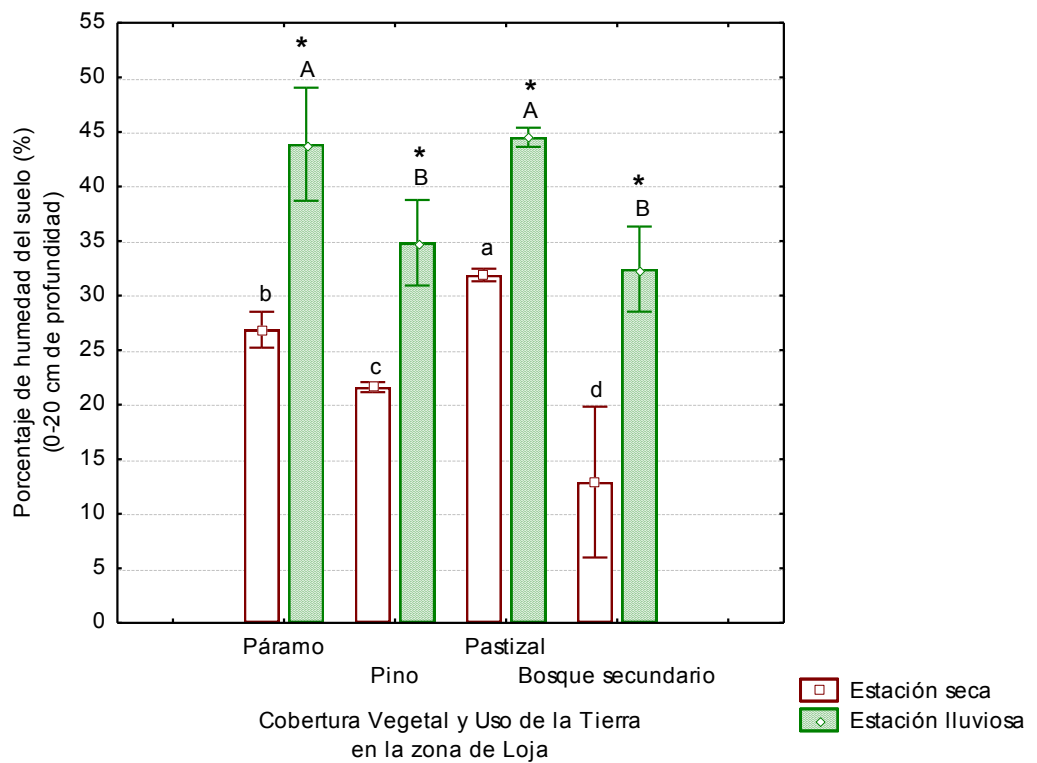


Figura 4.2.1.8. Humedad gravimétrica del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.



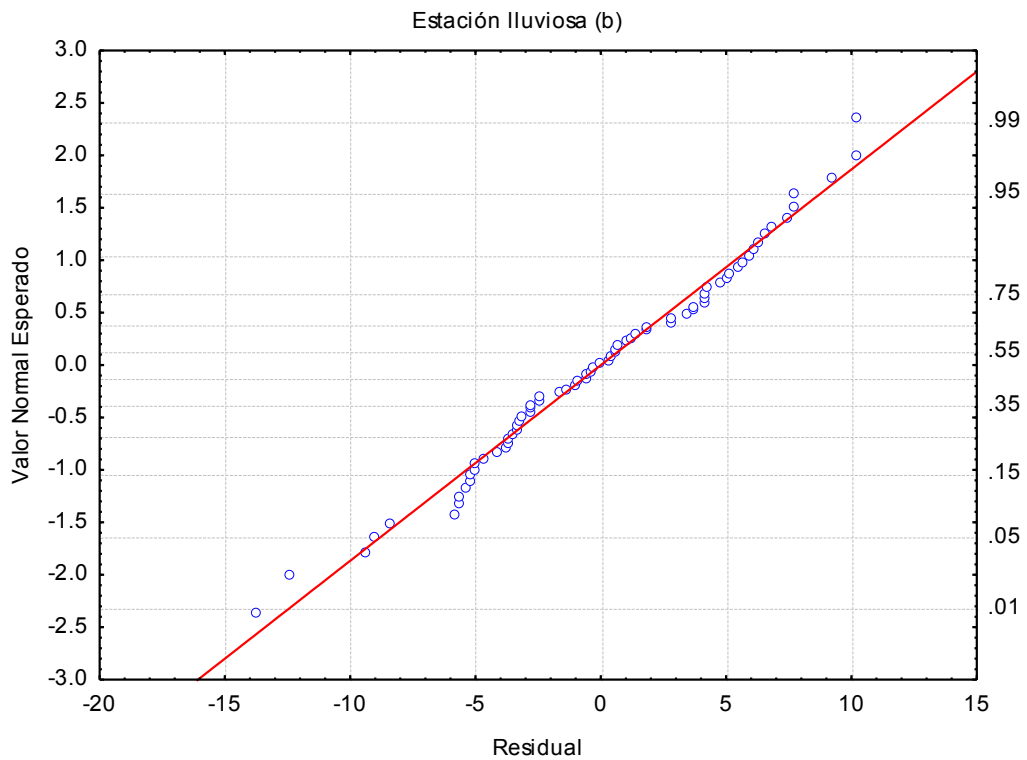
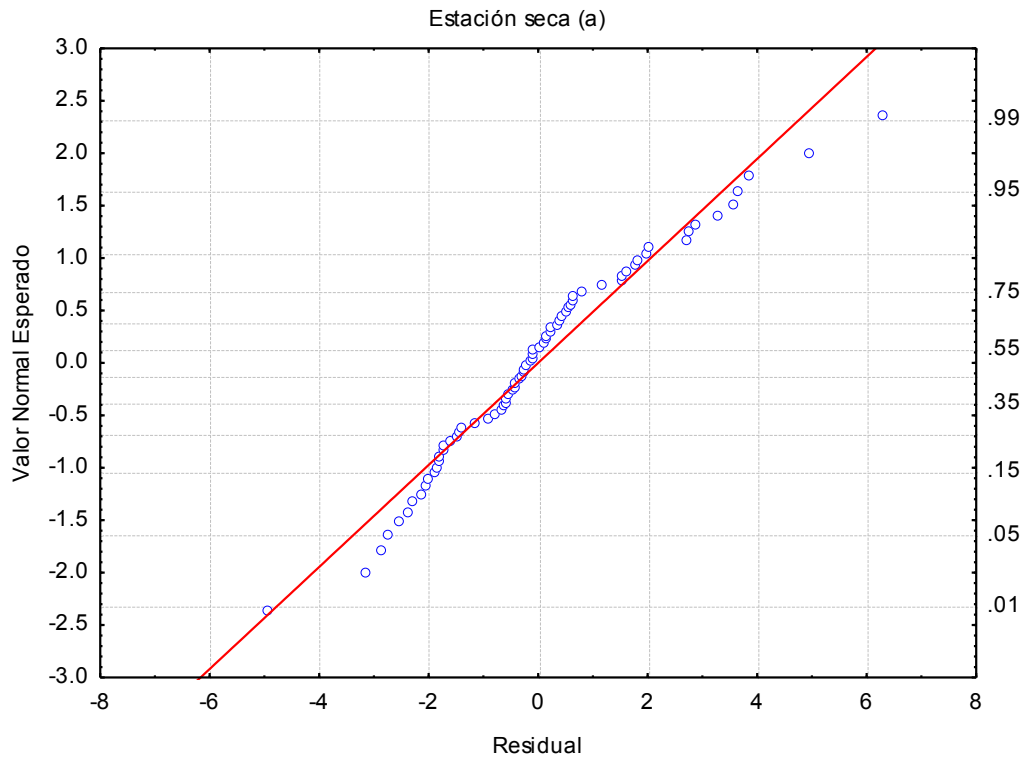


Figura 4.2.1.9. Probabilidad de distribución Normal de los valores residuales del porcentaje de humedad gravimétrica del suelo de la temporada seca (a) y la temporada lluviosa (b)

#### 4.2.2. Efecto de los factores Zona de estudio y CVUT sobre la variable textura del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de textura del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador (Tabla 4.2.2.1; Fig. 4.2.2.4.; Fig. 4.2.2.5.; Fig. 4.2.2.6.) estuvo entre arenoso (88% de arenas, 7.9% de limos y 5.2 % arcillas) y franco (39% de arenas, 34% de limos y 29 % arcillas).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable textura del suelo (Tabla 4.2.2.2.).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio indicaron lo siguiente para cada clase de partícula:

El contenido de arena del suelo (%) fue significativamente mayor en los suelos de la zona de Oña-Yacuambi que en los suelos de las zonas (Fig. 4.2.2.1): el Ángel ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,001^{***}$ ) y Loja ( $p<0,001^{***}$ ); además, el % de arena fue significativamente menor en la zona de Loja que en todas las demás zonas, siendo éstas el Ángel ( $p<0,05^*$ ), Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,05^*$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ).

El contenido de partículas de limo (%) fue significativamente mayor en la zona del Ángel (Fig. 4.2.2.2) que en las zonas de Cotopaxi ( $p<0,01^{**}$ ), Chimborazo ( $p<0,05^*$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ); fue también significativamente mayor en la zona de Cajas que en las zonas de Cotopaxi ( $p<0,005^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,005^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ); y, además, fue significativamente mayor en la zona de Loja que en las zonas de de Cotopaxi ( $p<0,01^{**}$ ), Chimborazo ( $p<0,01^{**}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ). Las zonas del Ángel, Cajas y Loja no tuvieron diferencias significativas entre sí, en lo que se refiere al % de partículas de limo del suelo.

El contenido de partículas de arcillas (%) fue significativamente mayor en los suelos de la zona de Loja que en los suelos de las demás zona de estudio (Fig. 4.2.2.3), siendo éstas el Ángel ( $p<0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p <0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,001^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ); también, el contenido de arcilla (%) en los suelos de la zona de Cajas fue significativamente mayor que en las zonas de Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ); Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ); además, el % de

arcilla fue significativamente mayor en los suelos del Ángel que en los suelos de Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ).

Por otra parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar los efectos específicos del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable textura del suelo en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se describen con detalle a continuación.

#### Textura del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

La textura del suelo varió en los sitios bajo la diferente CVUT (Fig. 4.2.2.7.)

El % de arena del suelo fue significativamente mayor en los sitios bajo Bosque secundario que en los sitios bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ), bajo Pino ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ). Además, los suelos bajo Páramo tuvieron mayor % de arena que los suelos bajo Pino ( $p<0,05^*$ ).

El % de limo del suelo fue significativamente mayor en los sitios bajo Pino que en los sitios bajo Páramo ( $p<0,01^{**}$ ), bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,01^{**}$ ).

El % de arcilla suelo fue significativamente mayor en los sitios bajo Páramo que en los sitios bajo Pino ( $p<0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ). Además, los sitios bajo Pastizal tuvieron mayor % de arcilla del suelo que los sitios bajo Pino ( $p<0,05^*$ ).

#### Textura del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

La textura del suelo no varió significativamente entre los sitios bajo diferente CVUT (Fig. 4.2.2.8.)

El % de arena del suelo no fue significativamente diferente entre los sitios bajo Páramo y bajo Pino ( $p>0,05$ ).

El % de limo del suelo no fue significativamente diferente entre los sitios bajo Páramo y bajo Pino ( $p>0,05$ ).

El % de arcilla del suelo tampoco fue significativamente diferente entre los sitios bajo Páramo y los sitios bajo Pino ( $p>0,05$ ).

#### Textura del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

La textura del suelo varió significativamente entre los sitios bajo la diferente CVUT (Fig. 4.2.2.9.)

El % de arena del suelo fue significativamente mayor en los suelos bajo Páramo degradado que en los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ).

El % de limo del suelo fue significativamente menor en los suelos bajo Páramo degradado que en los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ).

El % de arcilla del suelo fue significativamente mayor en los suelos bajo Páramo que en los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,005^{***}$ ); también el % de arcilla del suelo fue significativamente mayor en los suelos bajo Pino que en los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ).

#### Textura del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

La textura del suelo no varió significativamente entre los sitios bajo diferente CVUT (Fig. 4.2.2.10.)

El % de arena del suelo no tuvo diferencias significativas entre sitios con diferente CVUT.

El % de limo del suelo no tuvo diferencias significativas entre sitios con diferente CVUT.

El % de arcilla del suelo no tuvo diferencias significativas entre sitios con diferente CVUT.

#### Textura del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

Los porcentajes de limo y arcillas del suelo variaron significativamente entre sitios bajo diferente CVUT (Fig. 4.2.2.11.)

El % de arena del suelo fue mayor en los sitios bajo Pino que en los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

El % de limo del suelo fue mayor en los sitios bajo Bosque secundario que en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ).

El % de arcilla del suelo no tuvo diferencias significativas entre los sitios bajo Páramo, bajo Pino y bajo Bosque secundario.

#### Textura del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

La textura del suelo varió significativamente entre los sitios bajo la diferente CVUT (Fig. 4.2.2.12.)

El % de arena del suelo fue significativamente mayor en los sitios bajo Pino que en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ); y similar que en los sitios bajo Pastizal y bajo Bosque secundario.

El % de limo del suelo fue significativamente menor en sitios bajo Pastizal que en los sitios bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); mientras que, entre sitios bajo Páramo, bajo Pino y bajo Bosque secundario no hubo diferencias significativas.

El % de arcilla del suelo fue significativamente mayor en sitios bajo Páramo que en sitios bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ); sin embargo, no hubo diferencias significativas entre sitios de Páramo, Pastizal y Bosque secundario.

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de *ecuación de regresión* indicó que los datos en % de los tres tipos de partículas que componen la textura tuvieron linealidad, siendo éstas: arenas (*múltiple R* = 0,89;  $F = 9,42$ ;  $p < 0,001^{***}$ ); limos (*múltiple R* = 0,73;  $F = 2,93$ ;  $p < 0,005^{***}$ ); y arcilla (*múltiple R* = 0,90;  $F = 10,82$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que las tres clases de partículas que conforman la textura del suelo tuvieron significativamente normalidad, siendo éstas partículas: arenas (Fig. 4.2.2.13.;  $W = 0,93$ ;  $p < 0,001^{***}$ ), limos (Fig. 4.2.2.14;  $W = 0,92$ ;  $p < 0,001^{***}$ ), y arcilla (Fig. 4.2.2.15;  $W = 0,93$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Levene* indicaron los datos en % de las tres clases de partículas que componen la textura, tuvieron homogeneidad de las varianzas, siendo éstas: arenas ( $F = 14,1$ ;  $p < 0,001^{***}$ ), limo ( $F = 19,03$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) y arcilla ( $F = 7,43$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.2.1. Textura del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Zona         | n  | Páramo            |                  |                     | Pino              |                  |                     | Pastizal          |                  |                     | Bosque secundario |                  |                     | Páramo degradado  |                  |                     | Promedio general  |                  |                     |
|--------------|----|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|
|              |    | Arenas<br>(media) | Limos<br>(media) | Arcillas<br>(media) | Arenas<br>(media) | Limos<br>(media) | Arcillas<br>(media) | Arenas<br>(media) | Limos<br>(media) | Arcillas<br>(media) | Arenas<br>(media) | Limos<br>(media) | Arcillas<br>(media) | Arenas<br>(media) | Limos<br>(media) | Arcillas<br>(media) | Arenas<br>(media) | Limos<br>(media) | Arcillas<br>(media) |
|              |    | % EE              | % EE             | % EE                | % EE              | % EE             | % EE                | % EE              | % EE             | % EE                | % EE              | % EE             | % EE                | % EE              | % EE             | % EE                | % EE              | % EE             | % EE                |
| El Ángel     | 12 | 56 ±1,2 b         | 27 ±1,4 AB       | 16 ±0,9 W           | 51 ±1,0 ab        | 36 ±1,1 A        | 13 ±1,1 X           | 54 ±4,0 a         | 29 ±3,5 B        | 17 ±0,5 WX          | 64 ±0,5 ab        | 26 ±1,5 A        | 11 ±1,0 W           | -                 | -                | -                   | 55 ±1,5 C         | 30 ±1,5 a        | 14 ±0,8 B           |
| Cotopaxi     | 10 | 76 ±5,1 a         | 17 ±5,7 A        | 5 ±0,4 I            | 69 ±4,0 a         | 24 ±4,6 A        | 5 ±0,5 I            | -                 | -                | -                   | -                 | -                | -                   | -                 | -                | -                   | 72 ±3,2 AB        | 21 ±3,5 b        | 5 ±0,4 C            |
| Chimborazo   | 12 | 63 ±4,4 ab        | 23 ±7,5 A        | 9 ±0,5 W            | 60 ±7,6 ab        | 28 ±8,6 A        | 9 ±1,2 W            | 57 ±3,0 b         | 20 ±2,5 A        | 4 ±0,5 X            | -                 | -                | -                   | 88 ±3,0 a         | 8 ±1,0 B         | 5 ±2,0 X            | 65 ±4,1 B         | 22 ±4,0 b        | 7 ±0,8 C            |
| Cajas        | 18 | 50 ±3,0 a         | 31 ±2,1 A        | 17 ±2,4 W           | 50 ±0,3 a         | 31 ±1,3 A        | 18 ±1,1 W           | 53 ±2,8 a         | 31 ±1,8 A        | 14 ±3,2 W           | 53 ±1,5 a         | 29 ±1,5 A        | 17 ±1,8 W           | -                 | -                | -                   | 52 ±1,0 CD        | 31 ±0,8 a        | 17 ±1,1 B           |
| Oña-Yacuambi | 12 | 78 ±1,3 b         | 15 ±0,9 B        | 7 ±1,1 W            | 83 ±2,0 a         | 13 ±1,4 B        | 5 ±0,8 W            | -                 | -                | -                   | 69 ±6,8 b         | 23 ±2,6 A        | 10 ±3,5 W           | -                 | -                | -                   | 76 ±2,8 A         | 17 ±1,6 b        | 7 ±1,3 C            |
| Loja         | 8  | 42 ±1,5 b         | 30 ±2,0 A        | 29 ±1,0 W           | 48 ±0,7 ab        | 32 ±1,0 A        | 20 ±0,5 X           | 49 ±6,6 a         | 30 ±5,3 A        | 19 ±5 WX            | 39 ±7,0 ab        | 34 ±5,4 A        | 27 ±7,5 W           | -                 | -                | -                   | 45 ±2,5 D         | 32 ±0,8 a        | 24 ±2,4 A           |

Dentro de cada zona de estudio (eje horizontal) las letras minúsculas (a, b, c y d) indican diferencias significativas en el contenido de arena del suelo (%) entre tipos de CVUT; las letras mayúsculas (A, B, C y D) indican diferencias significativas en el contenido de limo (%) entre tipos de CVUT; y las letras (I, W, X) indican diferencias significativas en el contenido de arcilla (%) entre tipos de CVUT. Por su parte, en el Promedio general (eje vertical) las letras mayúsculas (A,B,C,D) y las letras minúsculas (a,b) indican diferencias entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.2.2. Efecto de los factores Zona de estudio y factor anidado CVUT sobre la variable textura del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador

| Efecto                          | Prueba | Valor  | F     | GL efecto | GL error | p          |
|---------------------------------|--------|--------|-------|-----------|----------|------------|
| Intercepción                    | Wilks  | 0.0004 | 38251 | 3         | 49       | < 0,001*** |
| Zona de estudio                 | Wilks  | 0.0661 | 15    | 15        | 136      | < 0,001*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | Wilks  | 0.1376 | 3     | 45        | 146      | < 0,001*** |

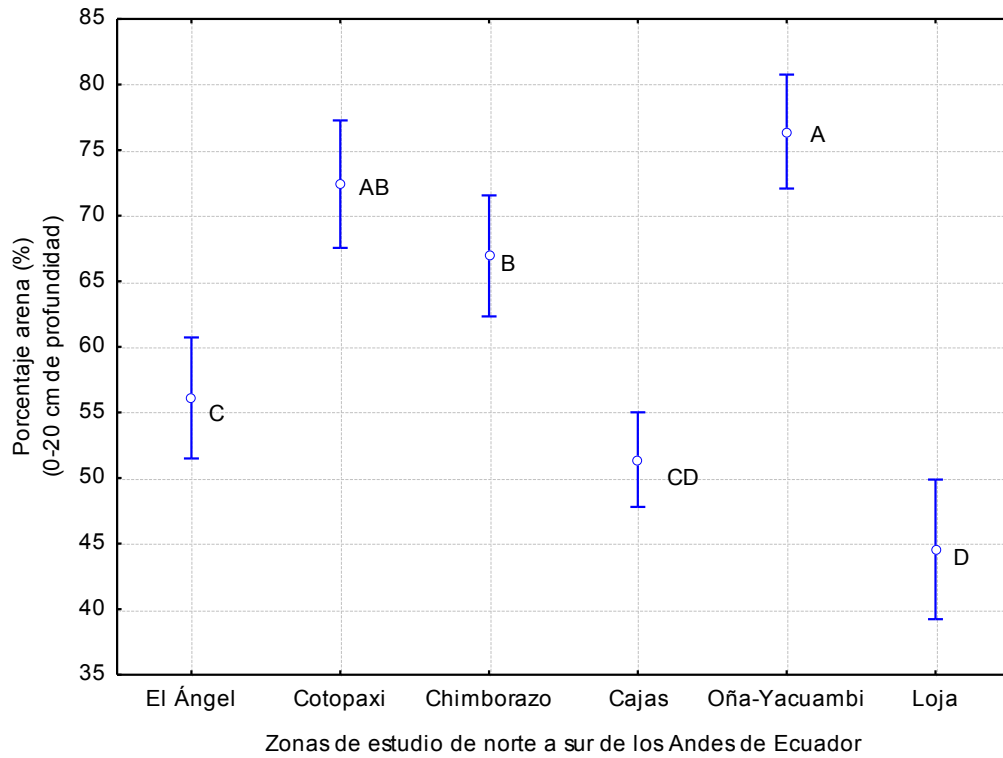


Figura 4.2.2.1. Contenido de arenas del suelo (%) de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

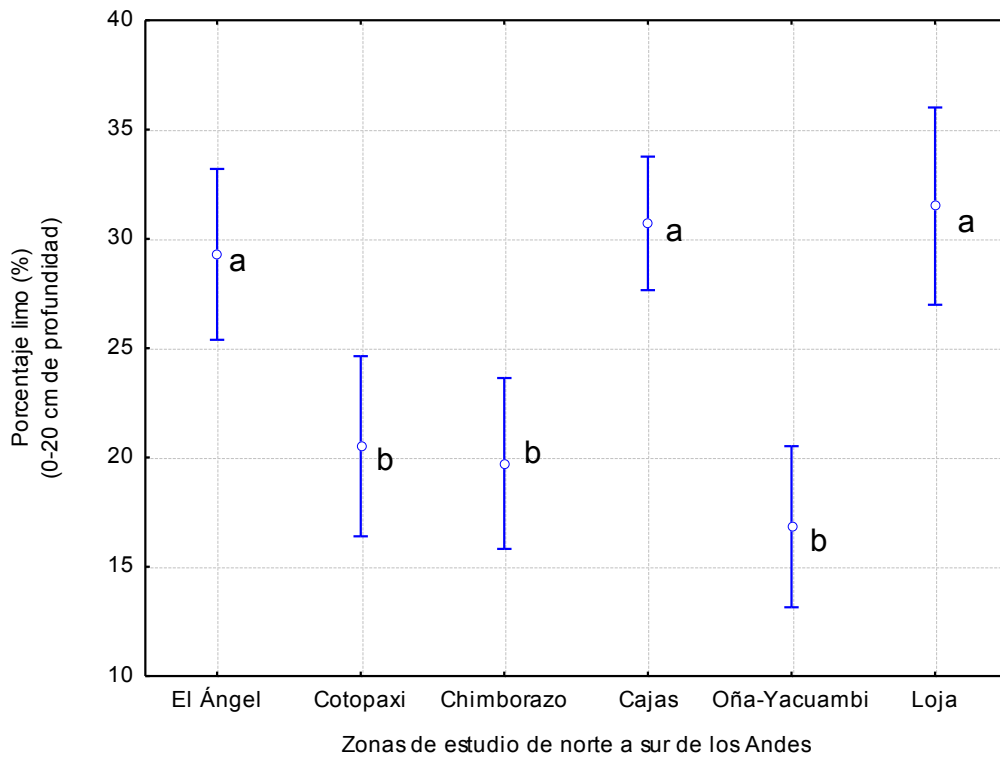


Figura 4.2.2.2. Contenido de limos del suelo (%) de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. La barra (I) indica la desviación estándar. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

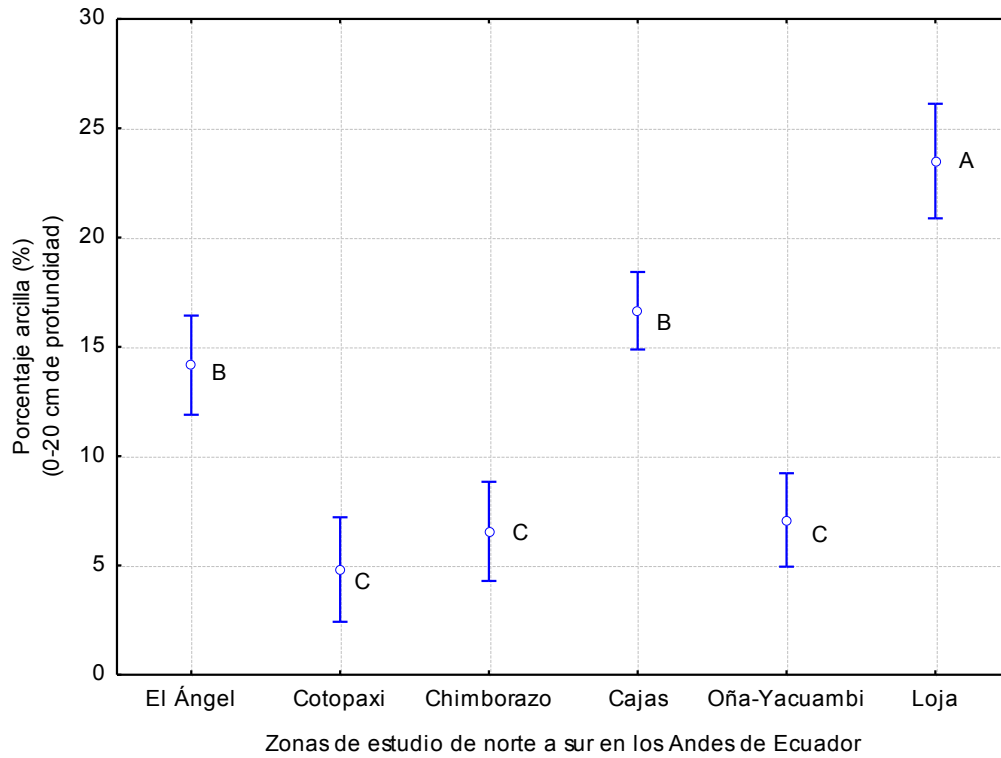


Figura 4.2.2.3. Contenido de arcilla del suelo (%) de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

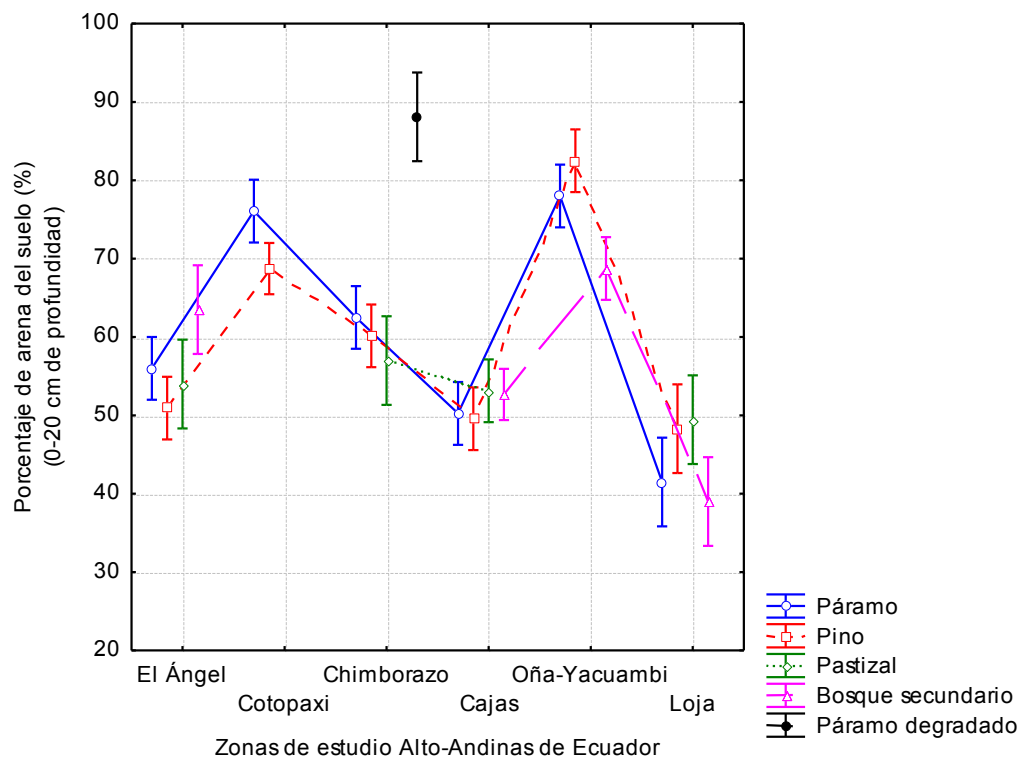


Figura 4.2.2.4. Contenido de arena del suelo (%) bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. La barra (I) indica la desviación estándar.



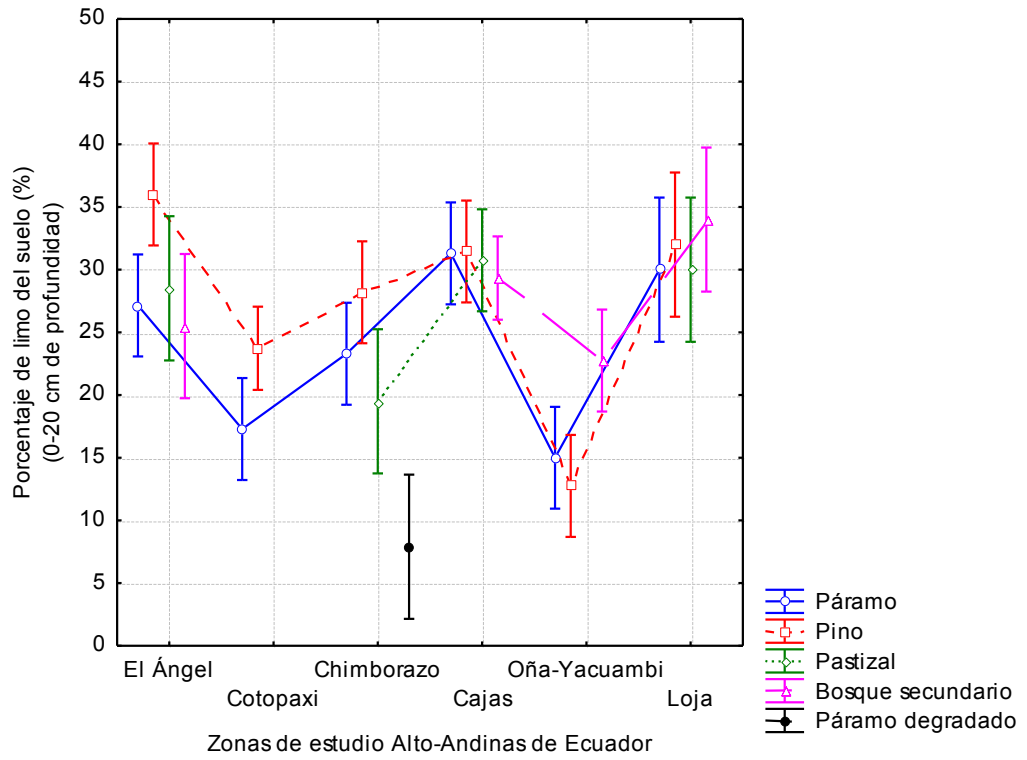


Figura 4.2.2.5. Contenido de limos del suelo (%) bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. La barra (I) indica la desviación estándar.

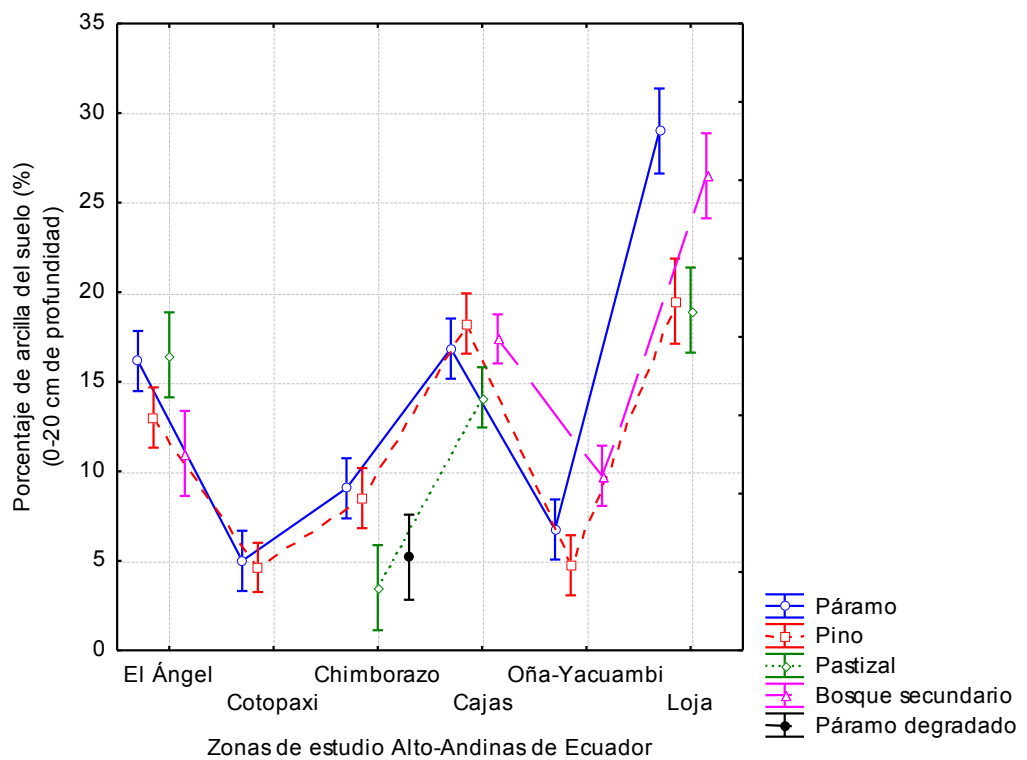


Figura 4.2.2.6. Contenido de arcilla del suelo (%) bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. La barra (I) indica la desviación estándar.

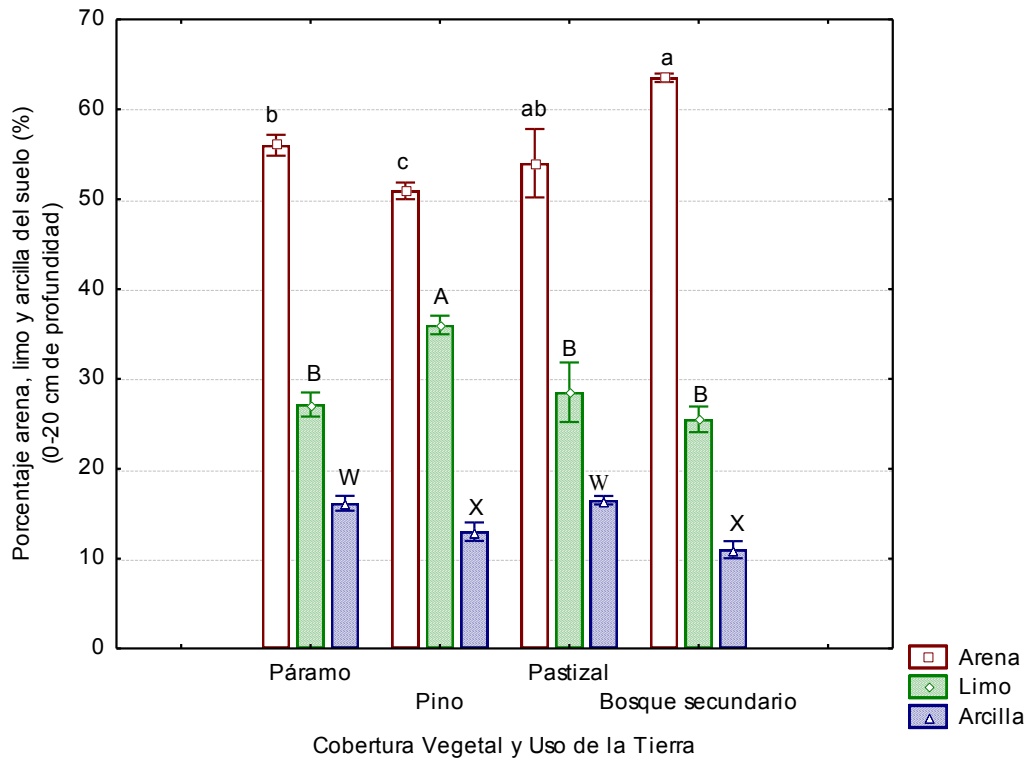


Figura 4.2.2.7. Contenido de arenas, limos y arcilla del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras indican diferencias significativas entre clases de CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

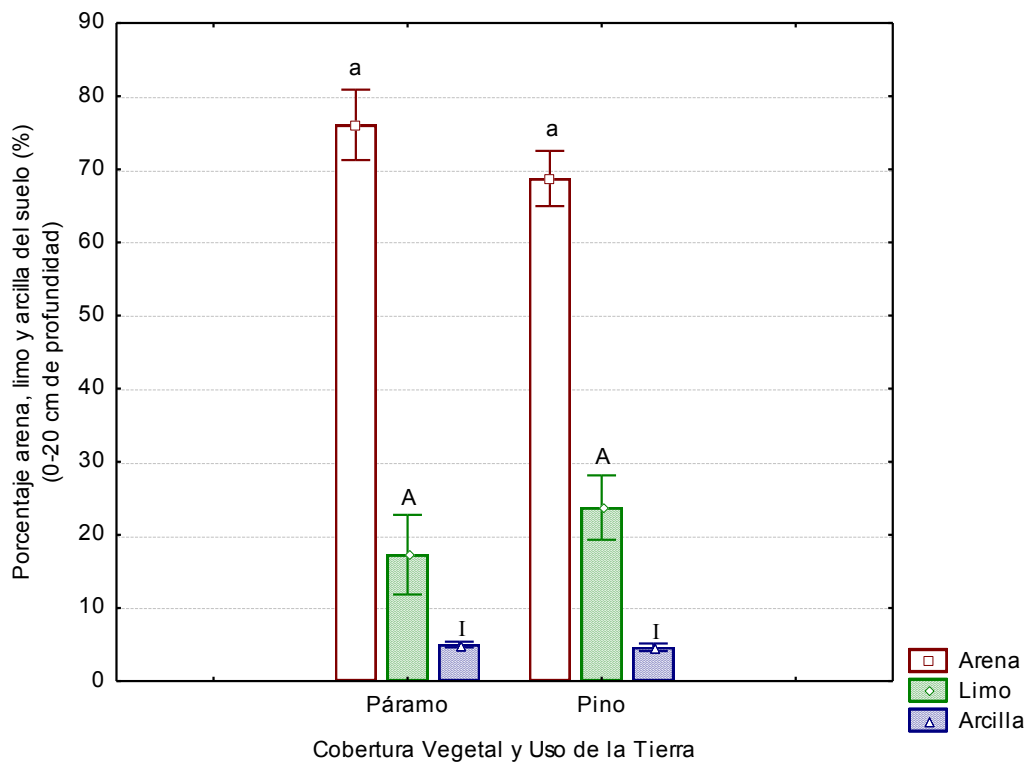


Figura 4.2.2.8. Contenido de arenas, limos y arcilla del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona de Cotopaxi. Las letras indican diferencias significativas entre clases de CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

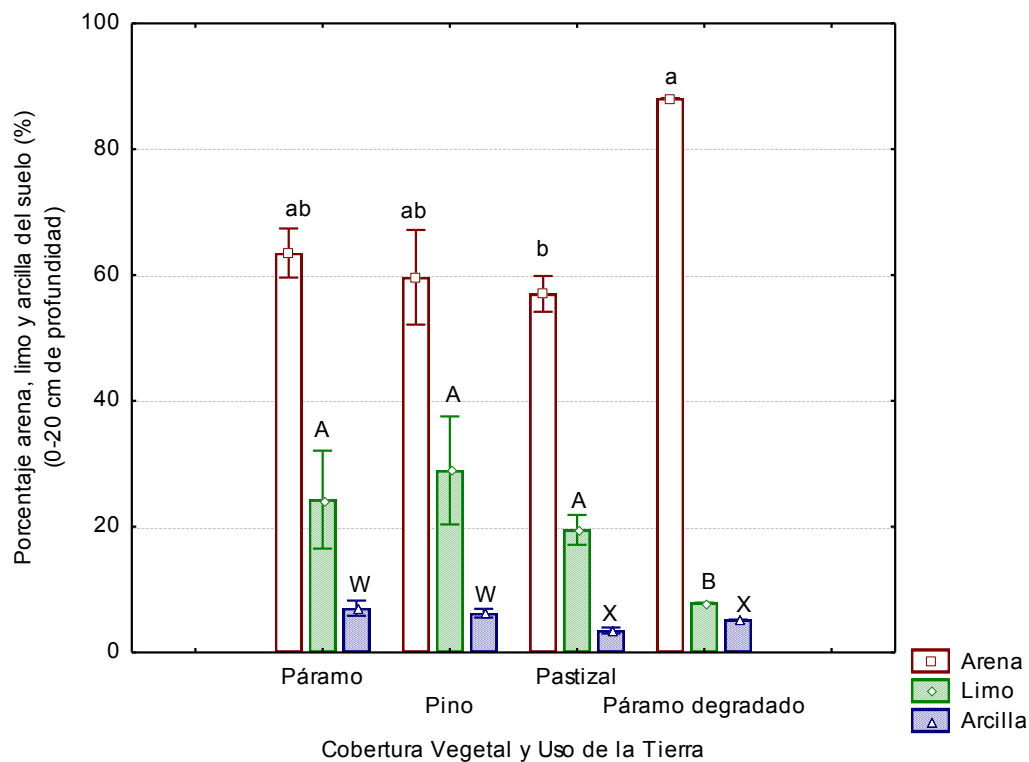


Figura 4.2.2.9. Contenido de arenas, limos y arcilla del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras indican diferencias significativas entre clases de CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

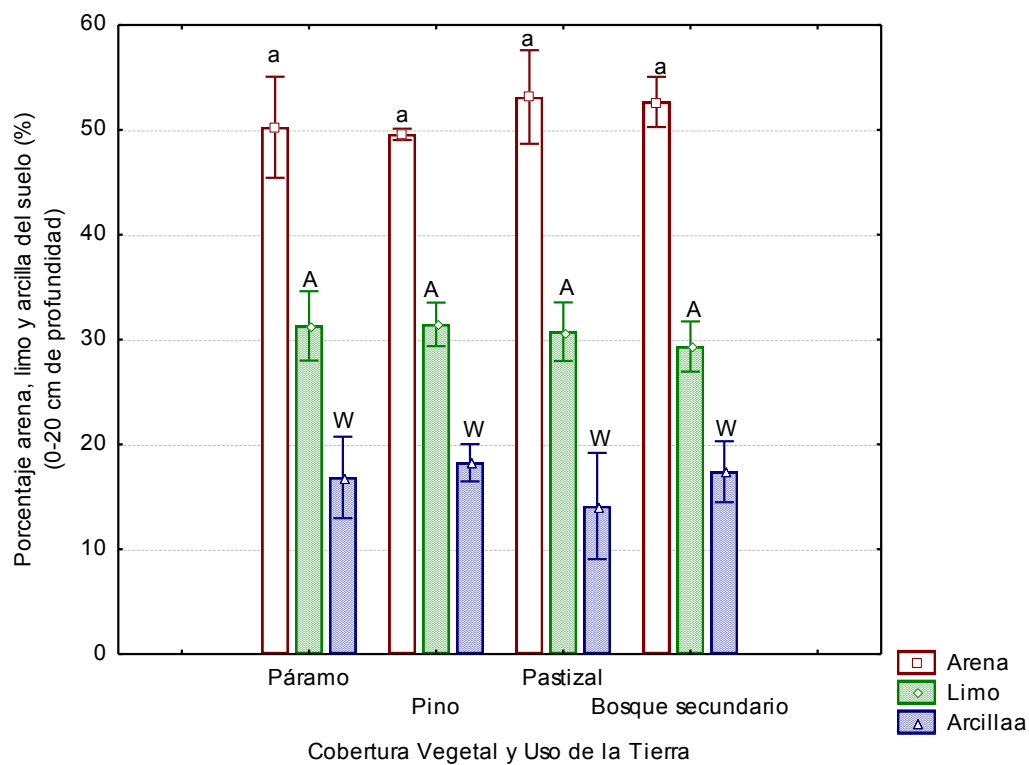


Figura 4.2.2.10. Contenido de arenas, limos y arcilla del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona del Cajaluma. Las letras indican diferencias significativas entre clases de CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

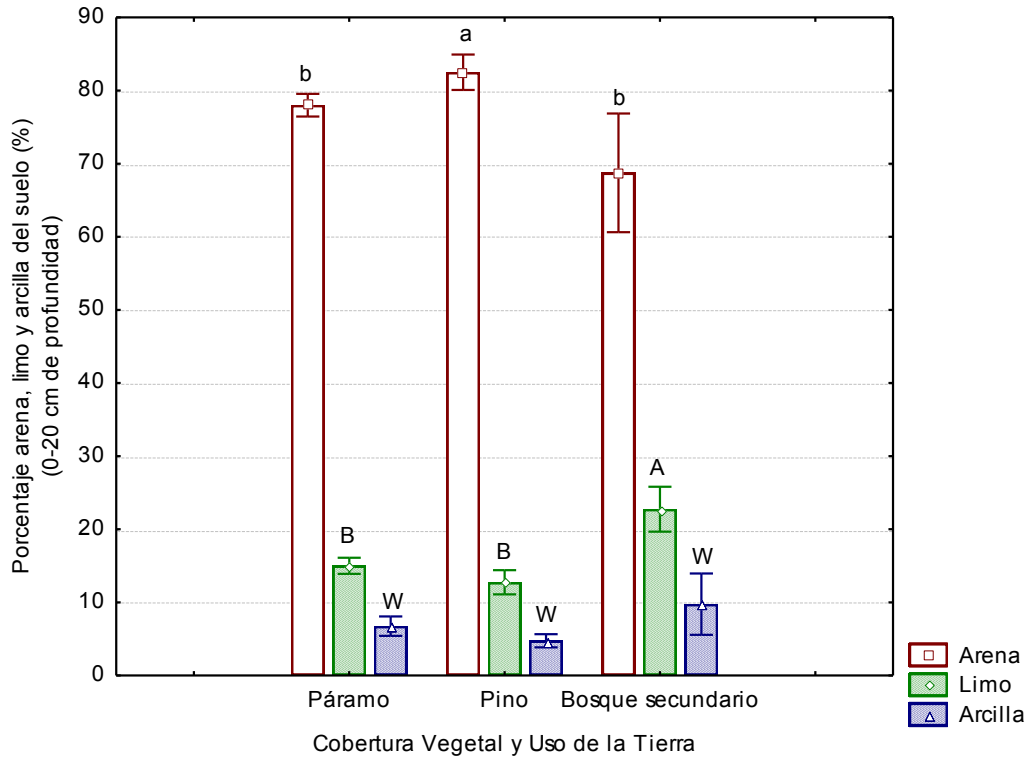


Figura 4.2.2.11 Contenido de arenas, limos y arcilla del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras indican diferencias significativas entre clases de CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

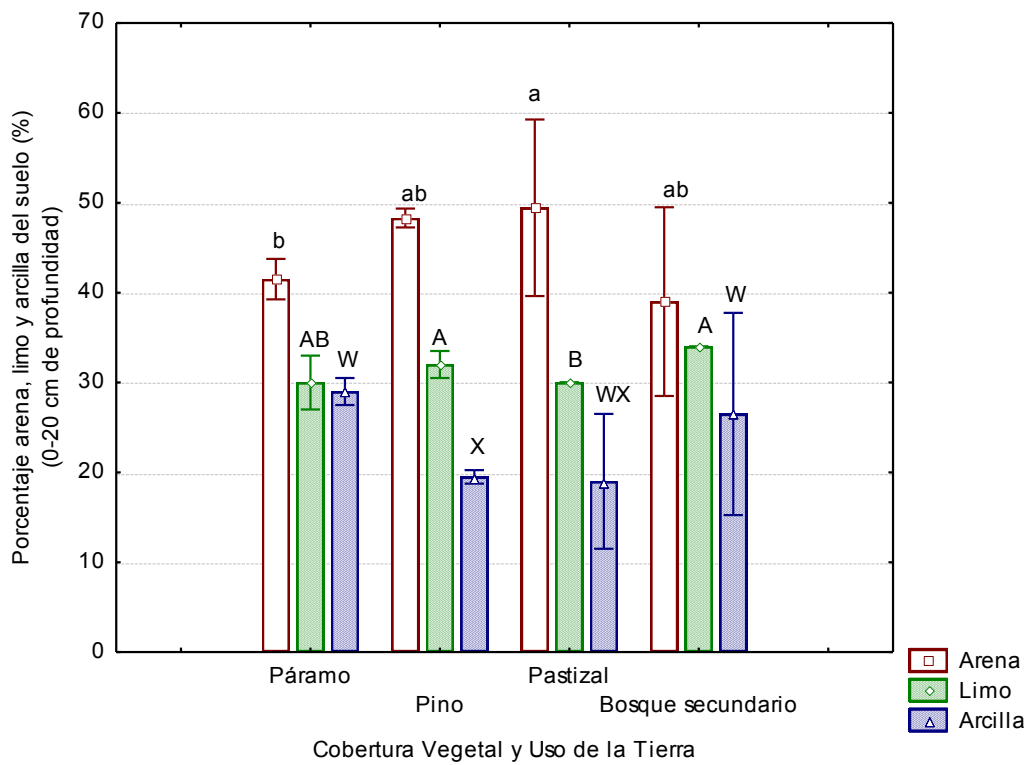


Figura 4.2.2.12 Contenido de arenas, limos y arcilla del suelo (%) bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras indican diferencias significativas entre clases de CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

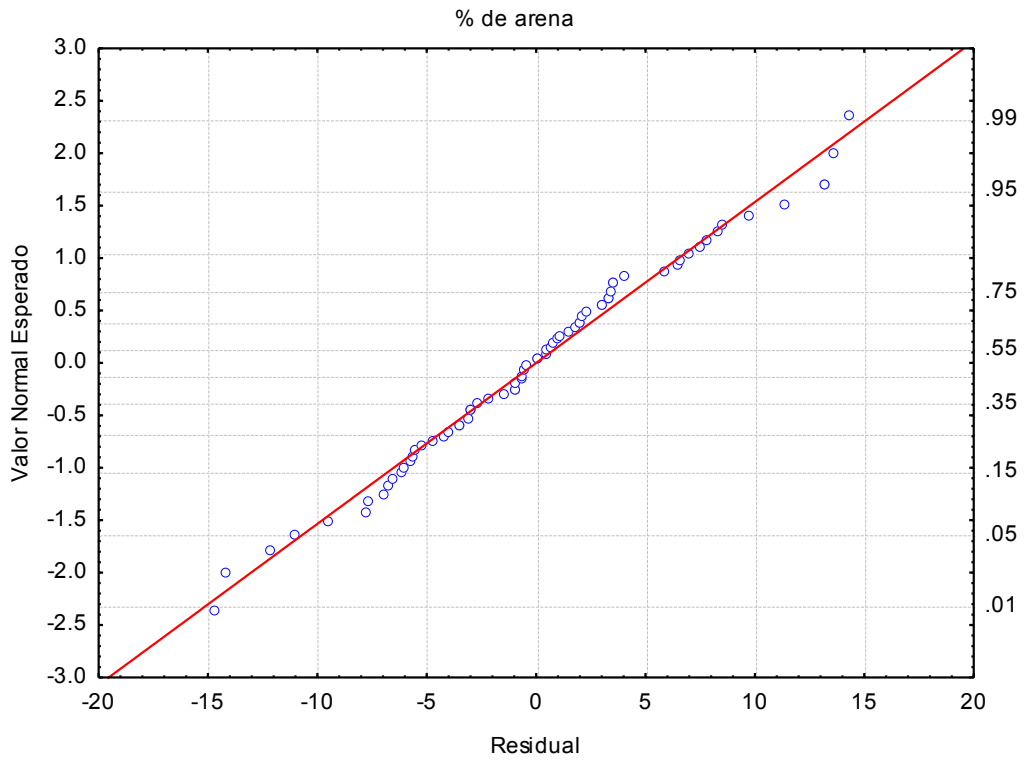


Figura 4.2.2.13. Probabilidad de distribución normal del contenido de arenas (%) del suelo

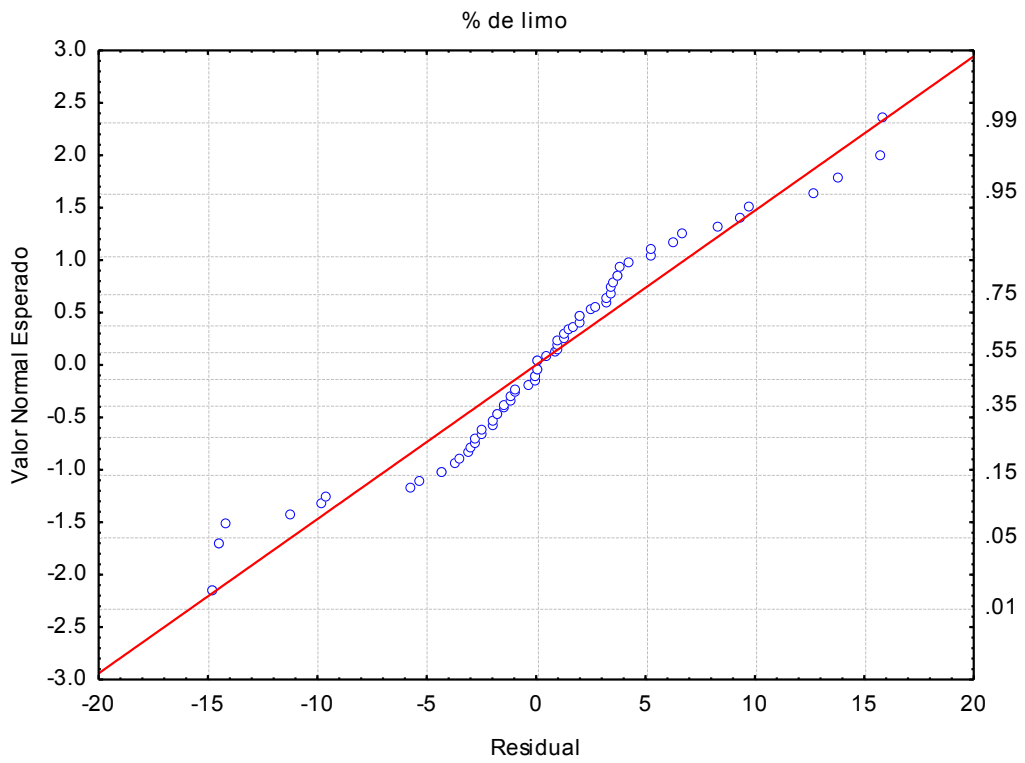


Figura 4.2.2.14. Probabilidad de distribución normal del contenido de limos (%) del suelo

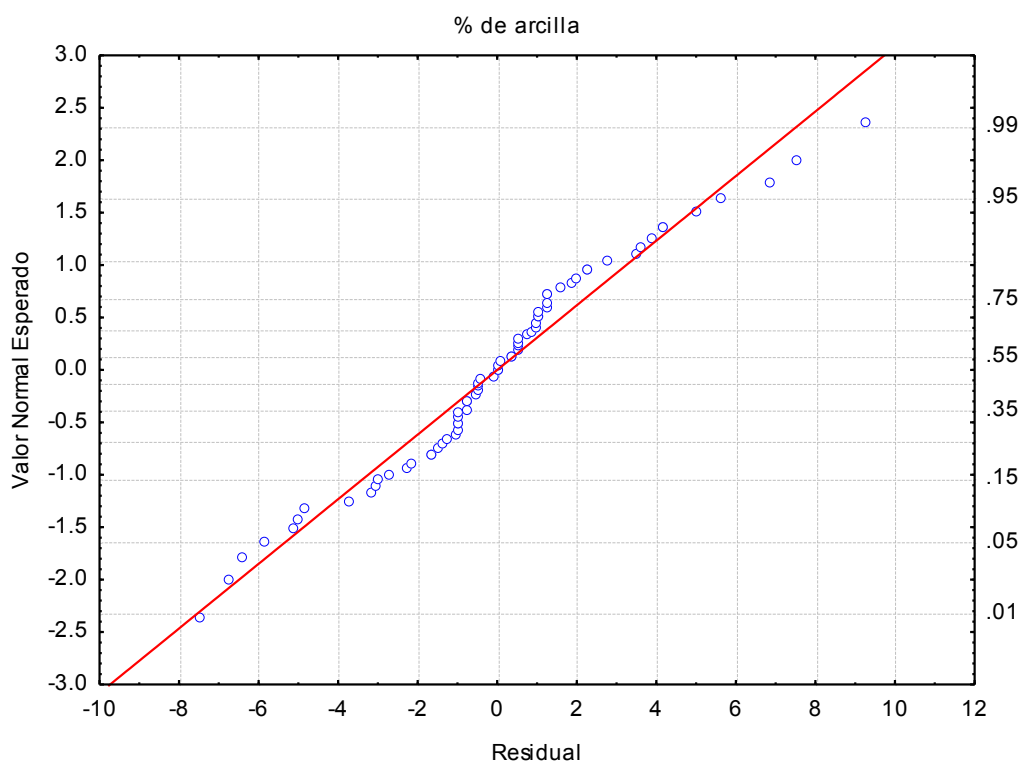


Figura 4.2.2.15. Probabilidad de distribución normal del contenido de arcilla (%) del suelo

### 4.2.3. Efecto de los factores zona de estudio y CVUT sobre la variable $D_{ap}$ del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador

El rango promedio de la  $D_{ap}$  del suelo (0-20 cm de profundidad) estuvo entre 0,48 y 1,19  $g\ cm^{-3}$  (Tabla 4.2.3.1.). La CVUT de Pino del Cotopaxi presentó el mayor valor promedio de  $D_{ap}$ , mientras que la CVUT de Páramo del Ángel presentó el menor valor promedio de  $D_{ap}$  (Fig. 4.2.3.1.).

Los resultados del *ANOVA anidado* indicaron que el factor Zona de estudio tuvo fuertes efectos significativos sobre la variable  $D_{ap}$  del suelo y que esta variable también está significativamente asociada al factor anidado CVUT (Tabla 4.2.3.2.; Fig. 4.2.3.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* mostraron que los suelos de la zona de Cotopaxi tuvieron significativamente mayor  $D_{ap}$  que lo suelos de todas las demás zonas (Fig. 4.2.3.1): el Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,005^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ). También indicaron, que los suelos del Chimborazo tuvieron similar  $D_{ap}$  que los suelos de Loja, pero significativamente mayor que los suelos del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,01^{**}$ ) y Oña Yacuambi ( $p < 0,005^{***}$ ).

Además, indicaron, que los suelos de las zonas del Ángel, Cajas, Oña Yacuambi y Loja, no tuvieron diferencias significativas de  $D_{ap}$  entre ellas.

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable  $D_{ap}$  del suelo, en las zonas del Ángel, Cotopaxi, Chimborazo, el Cajas y Loja. Sin embargo, influyó de forma diferente en cada zona. Todos estos resultados se describen a continuación.

#### *$D_{ap}$ del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

La  $D_{ap}$  del suelo varió en función de la CVUT (Fig. 4.2.3.3.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que los suelos bajo Páramo no tuvieron diferencias significativas de  $D_{ap}$  con los suelos bajos Pino, pero si fueron significativamente menores que los suelos bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,005^{***}$ ).

Los suelos bajo Pino tuvieron menor  $D_{ap}$  que los suelos bajo Pastizal ( $p<0,005^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ). Los suelos bajo Pastizal y bajo Bosque secundario no tuvieron diferencias significativas de  $D_{ap}$  entre ellos.

#### *$D_{ap}$ del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi*

La prueba posterior *LSD* indicó que la  $D_{ap}$  del suelo bajo la CVUT de Pino fue significativamente mayor que bajo la cobertura de Páramo ( $p<0,05^*$ ; Fig. 4.2.3.4.).

#### *$D_{ap}$ del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo*

La  $D_{ap}$  del suelo varió significativamente en función de la CVUT (Fig. 4.2.3.5.).

Los resultados del análisis posterior *LSD* indicaron que la  $D_{ap}$  fue significativamente menor en suelos bajo Páramo que en suelos bajo Pino ( $p<0,05^*$ ), Pastizal ( $p<0,05^*$ ) y Paramo degradado ( $p<0,05^*$ ). Estas tres últimas CVUT no presentaron diferencias significativas entre ellas.

#### *$D_{ap}$ del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas*

Los resultados de la prueba *LSD* indicaron que no hubo diferencias significativas de la  $D_{ap}$  entre suelos bajo Pino, Páramo y Pastizal (Fig. 4.2.3.6.); y que los suelos bajo Bosque secundario tuvieron menor  $D_{ap}$  que los suelos bajo Paramo ( $p<0,05^*$ ), Pino ( $p<0,05^*$ ) y Pastizal ( $p<0,05^*$ ).

#### *D<sub>ap</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi*

Los resultados de la prueba *LSD* indicaron que no hubo diferencias significativas de la  $D_{ap}$  entre suelos bajo Pino, Páramo y Bosque secundario (Fig. 4.2.3.7.)

#### *D<sub>ap</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja*

La densidad aparente del suelo varió significativamente en función de la CVUT (Fig. 4.2.3.8.). La prueba *LSD* posterior indicó que los sitios con Bosque secundario presentaron significativamente menor  $D_{ap}$  que los sitios bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ), Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y Pastizal ( $p < 0,05^*$ ). No hubo diferencias significativas de  $D_{ap}$  entre suelos bajo las CVUT de Pino, Páramo y Pastizal.

#### *Análisis estadísticos previos*

Los análisis de residuales indicaron que los datos estimados para la  $D_{ap}$  bajo los diferentes tipos de CVUT ( $\text{g cm}^{-3}$ ) no tuvieron distribución normal; por ello, los datos fueron ajustados utilizando la función seno, con lo cual obtuvieron linealidad (prueba de *ecuación de regresión*:  $p < 0,001^{***}$ ), normalidad significativa (Fig. 4.2.3.9; *Shapiro-Wilk* = 0,95003 y  $p < 0,001^{***}$ ) y homogeneidad de las varianzas (prueba *Levene*;  $p < 0,001^{***}$ ).



Tabla 4.2.3.1.  $D_{ap}$  del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador.

| Zona         | n  | Pino                           |    | Pastizales                     |               | Bosque secundario              |              | Páramo degradado               |    | Promedio general               |                |
|--------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|---------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|----|--------------------------------|----------------|
|              |    | media<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | EE | media<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | EE            | media<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | EE           | media<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | EE | media<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | EE             |
| El Ángel     | 12 | 0,48 ± 0,02 c                  |    | 0,59 ± 0,05 c                  |               | 0,5 ± 0,02 a                   |              | 0,74 ± 0,02 b                  | -  | -                              | 0,62 ± 0,04 D  |
| Cotopaxi     | 10 | 1,06 ± 0,02 b                  |    | 1,19 ± 0,04 a                  | -             | -                              | -            | -                              | -  | -                              | 1,13 ± 0,03 A  |
| Chimborazo   | 12 | 0,84 ± 0,04 b                  |    | 0,95 ± 0,12 a                  | 1,00 ± 0,01 a | -                              | -            | 0,94 ± 0,04 a                  | -  | -                              | 0,92 ± 0,04 B  |
| Cajas        | 18 | 0,80 ± 0,05 a                  |    | 0,77 ± 0,06 a                  | 0,81 ± 0,06 a | 0,7 ± 0,05 b                   | -            | -                              | -  | -                              | 0,76 ± 0,03 C  |
| Oña-Yacuambi | 12 | 0,74 ± 0,11 a                  |    | 0,71 ± 0,11 a                  | -             | -                              | 0,6 ± 0,09 a | -                              | -  | -                              | 0,68 ± 0,06 D  |
| Loja         | 8  | 0,89 ± 0,01 a                  |    | 0,93 ± 0,02 a                  | 1,00 ± 0,01 a | 0,69 ± 0,30 b                  | -            | -                              | -  | -                              | 0,88 ± 0,07 BC |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.3.2 Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio, sobre la variable  $D_{ap}$  del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador

| Efecto                         | Prueba | Valor | F    | Grados de libertad | P           |
|--------------------------------|--------|-------|------|--------------------|-------------|
| Intercepción de variables      | Wilks  | 31,88 | 2889 | 1                  | 0,000000*** |
| Zona de estudio                | Wilks  | 0,58  | 10   | 5                  | 0,000001*** |
| CVUT anidada a Zona de estudio | Wilks  | 0,33  | 2    | 15                 | 0,036049*   |
| Error                          |        | 0,56  |      | 51                 |             |

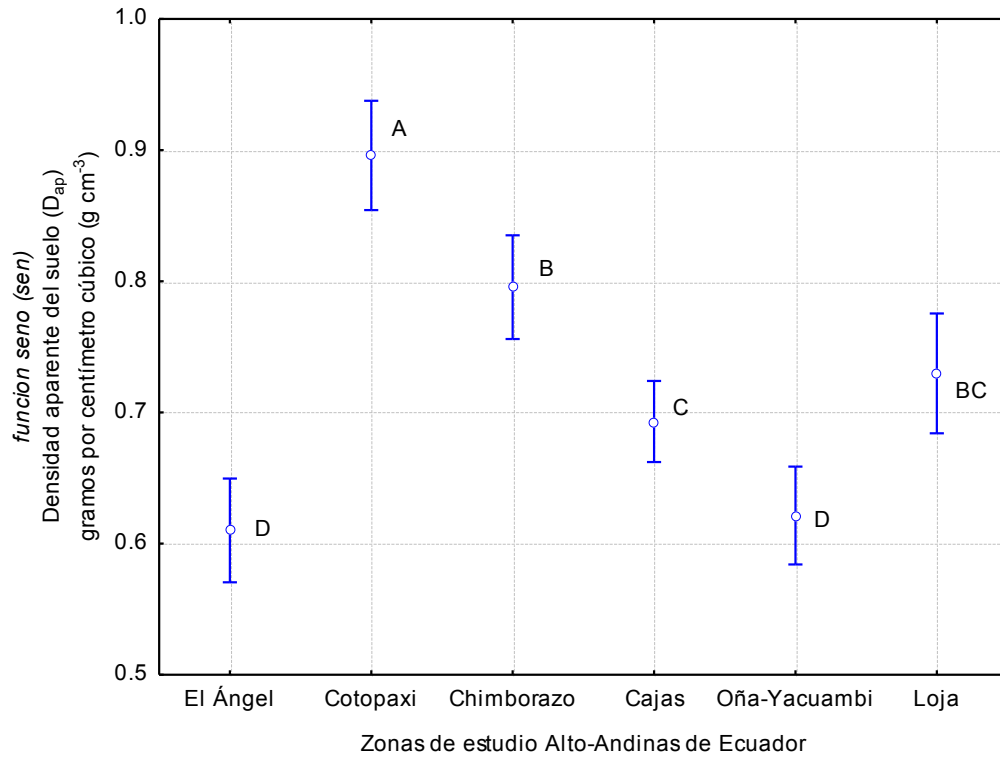


Figura 4.2.3.1.  $D_{ap}$  del suelo (función seno) de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

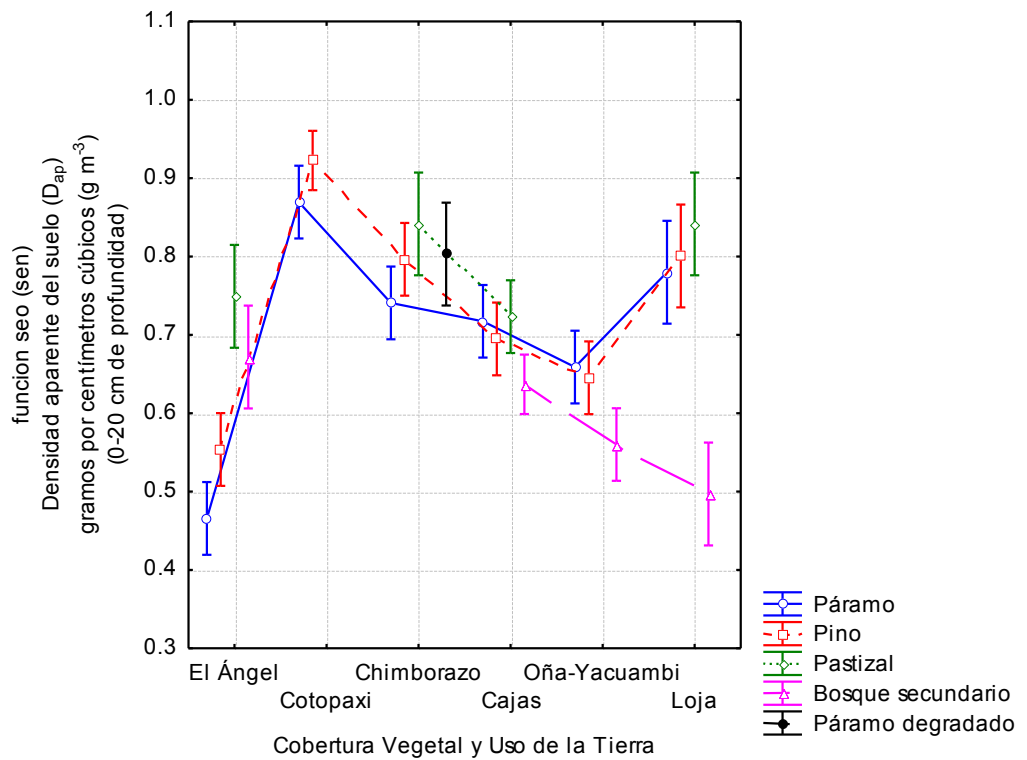


Figura 4.2.3.2.  $D_{ap}$  del suelo (función seno) bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. La barra (I) indica la desviación estándar.

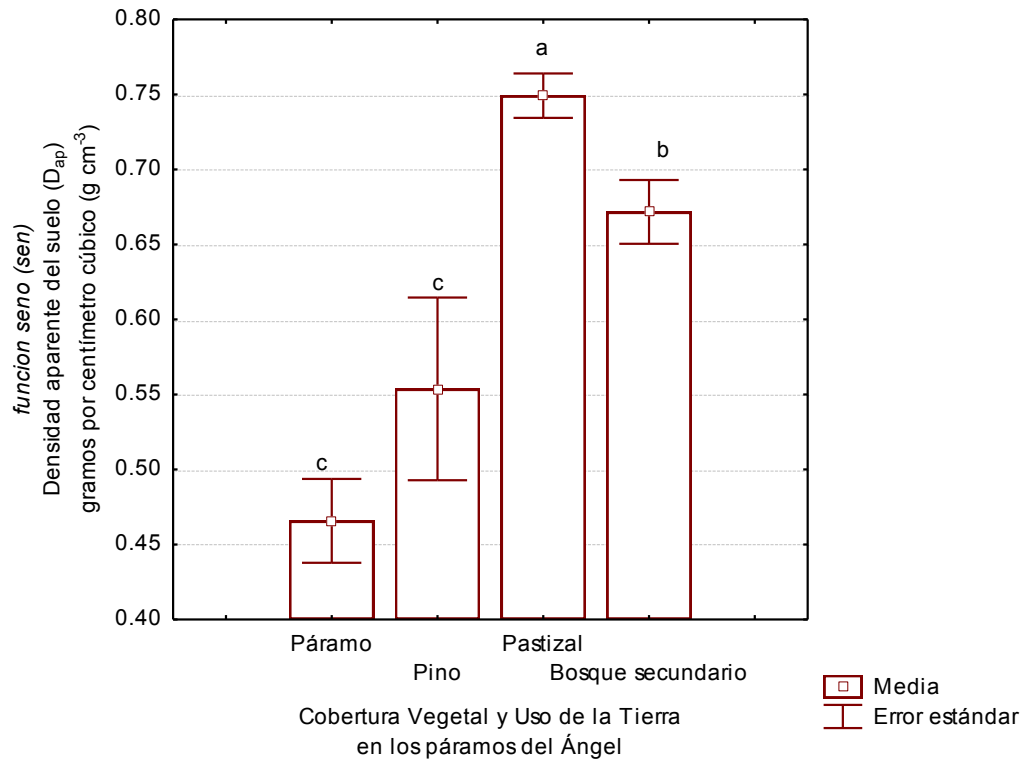


Figura 4.2.3.3.  $D_{ap}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

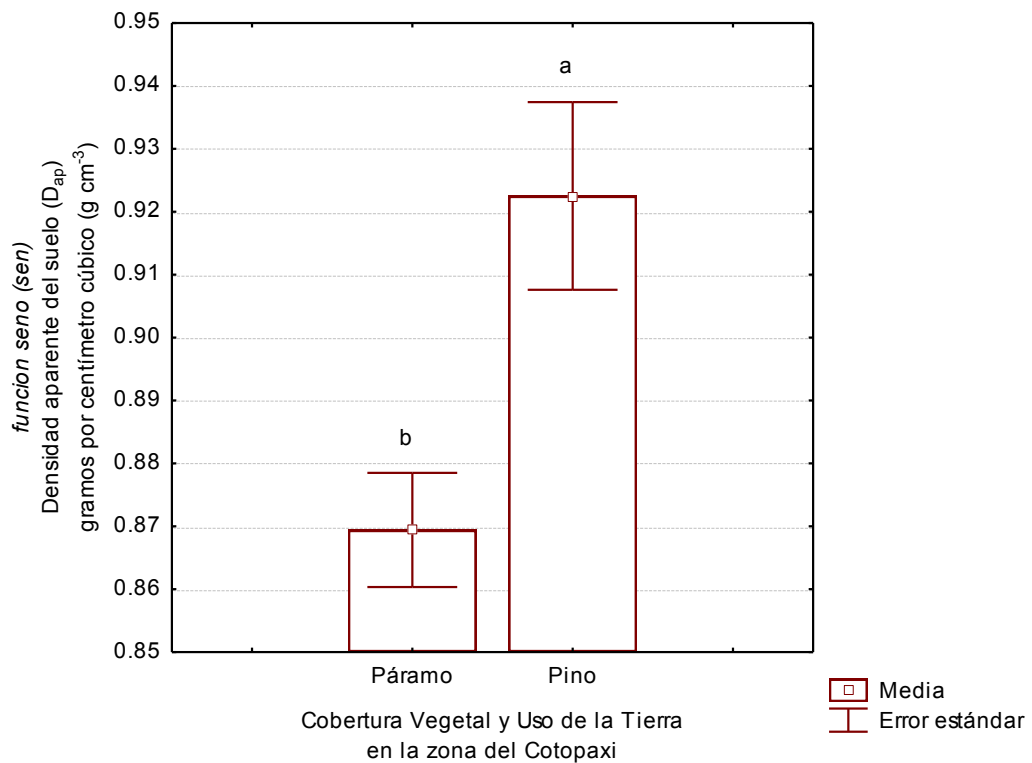


Figura 4.2.3.4.  $D_{ap}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

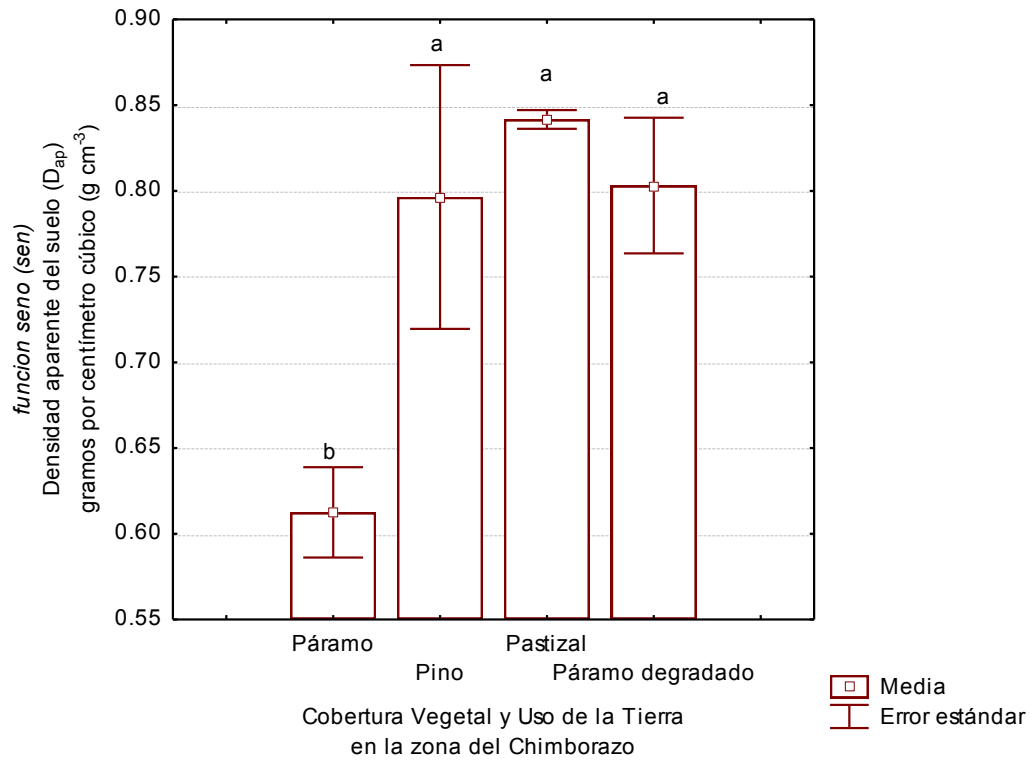


Figura 4.2.3.5.  $D_{ap}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

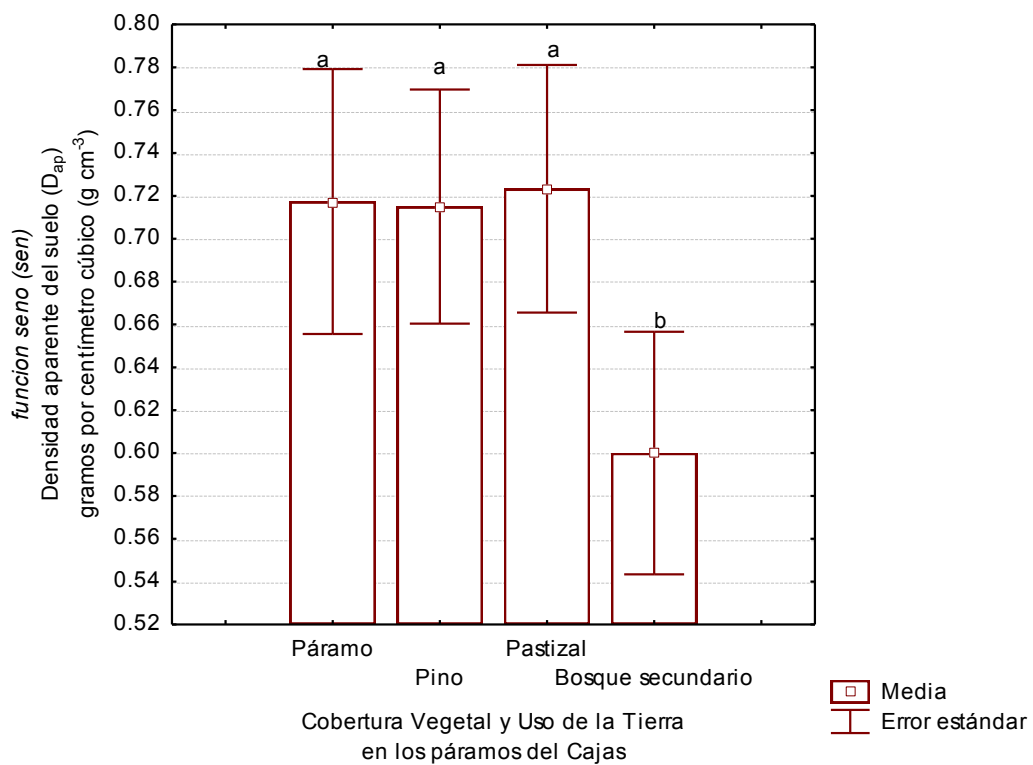


Figura 4.2.3.6.  $D_{ap}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

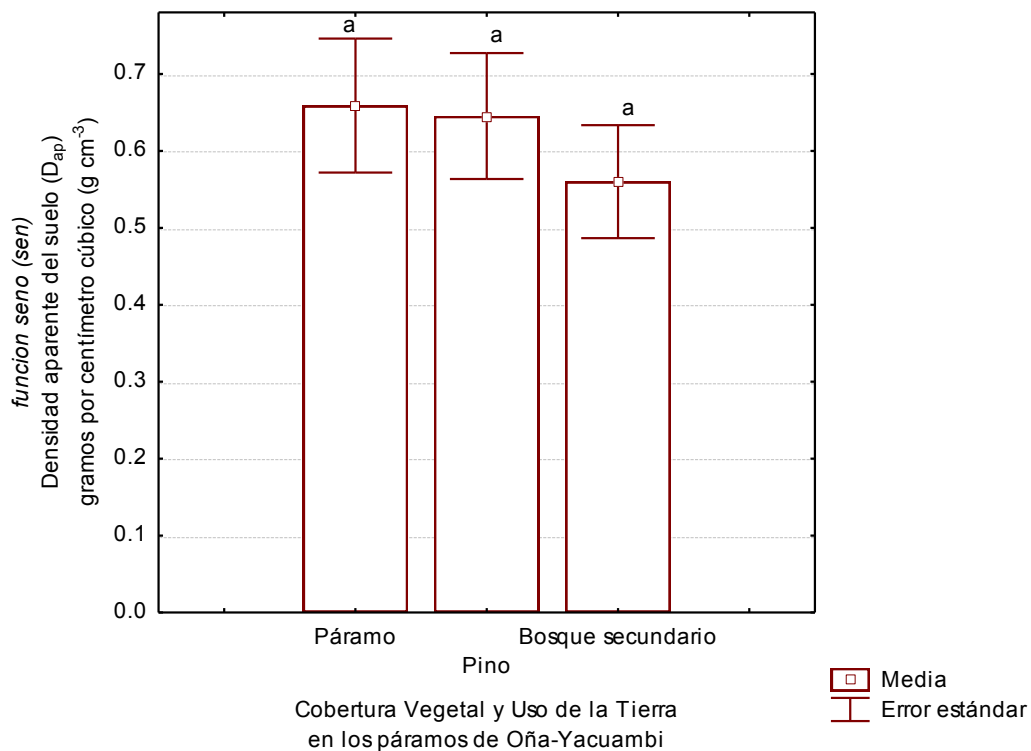


Figura 4.2.3.7.  $D_{ap}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

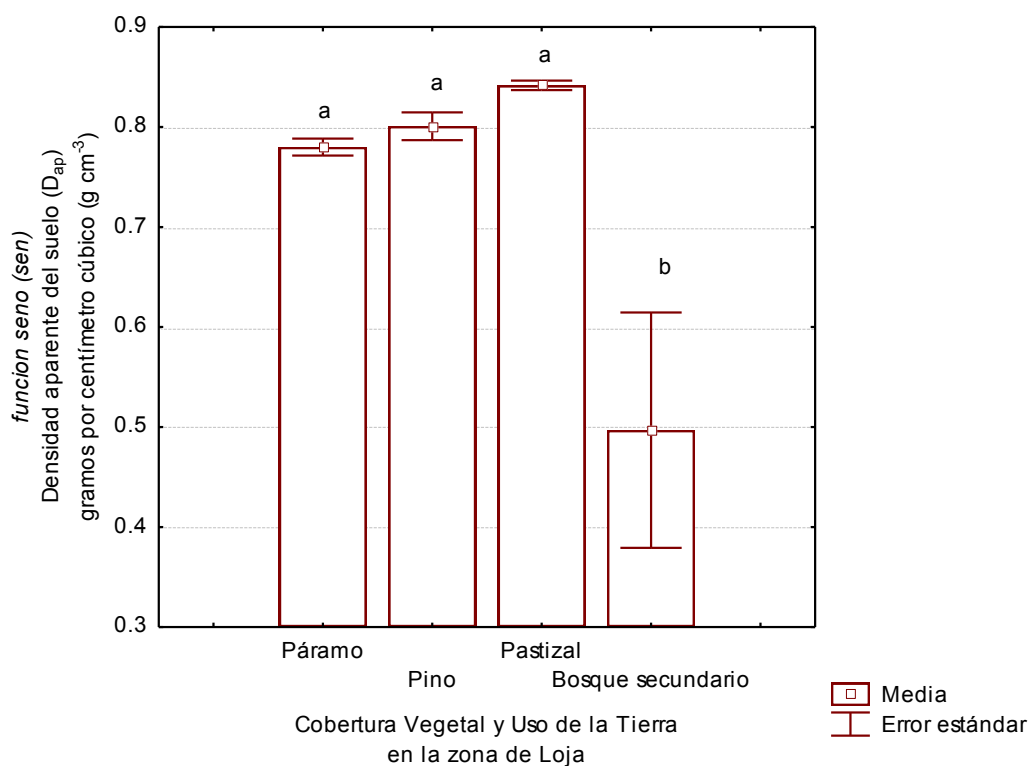


Figura 4.2.3.8.  $D_{ap}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

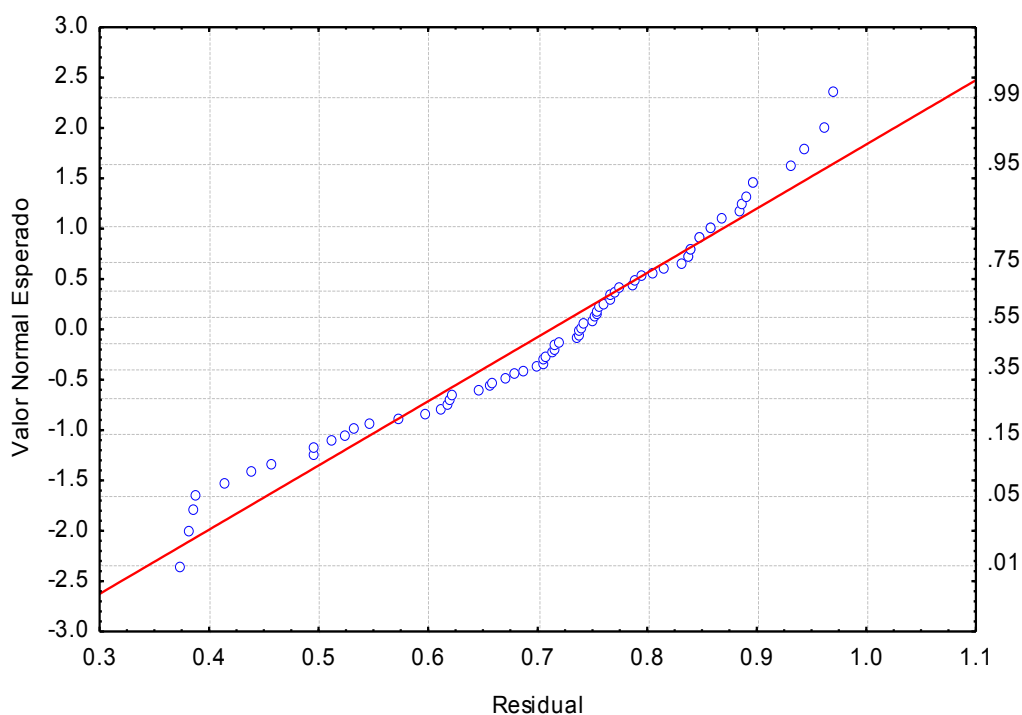


Figura 4.2.3.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de la  $D_{ap}$  del suelo tratados con la función *seno*

## B-EFECTO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DE LA CVUT SOBRE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO

### 4.2.4. Efecto de los factores zona de estudio y CVUT sobre la variable conductividad del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de la Conductividad del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT en las zonas de Alto-Andinas de estudio estuvo entre 0,12 y 1, 05  $dSm^{-1}$  (Tabla 4.2.4.1.; Fig. 4.2.4.2.).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio cómo el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable Conductividad del suelo (Tabla 4.2.4.1.).

Los resultados de la prueba *LSD*, aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio, indicaron que las zonas del Ángel y Cajas no tuvieron diferencias significativas en Conductividad del suelo (Fig. 4.2.4.1.); y que fueron las zonas que tuvieron significativamente mayor conductividad. La zona del Ángel tuvo mayor Conductividad que la zona de Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,05^*$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ); mientras que la zona del Cajas también tuvo mayor Conductividad que la de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ),

Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ). Por su parte, la zona del Cotopaxi no tuvo diferencias significativas con las zonas de Oña-Yacuambi y Loja. Finalmente, la zona del Chimborazo no mostro diferencias significativas con las zonas del Ángel, Cotopaxi, Oña-Yacuambi y Loja.

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyo significativamente sobre la variable Conductividad del suelo en las zonas de Chimborazo y Oña-Yacuambi. Todos estos resultados se describen a continuación.

#### Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

En la temporada seca no existieron diferencias significativas de la Conductividad del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.4.3.).

#### Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

Los resultados de la prueba *LSD* indicaron que los suelos bajo Pino no presentaron significativamente mayor conductividad que los suelos bajo Páramo (Fig. 4.2.4.4.).

#### Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

Como se puede apreciar en la Fig. 4.2.4.5 en la estación seca los suelos bajo Pastizal presentaron mayor Conductividad que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

Los resultados de la prueba *LSD* indicaron que en la temporada seca no existieron diferencias significativas en la Conductividad del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.4.6.).

#### Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

La CVUT tuvo un efecto significativo sobre la Conductividad del suelo (Fig. 4.2.4.7.). Los resultados de la prueba *LSD* en la temporada seca indicaron que los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente menor Conductividad eléctrica que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

### Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la estación seca la Conductividad del suelo no mostro diferencias significativas entre sitios con diferente CVUT (Fig. 4.2.4.8.).

### Análisis estadísticos previos

La prueba de regresión indicó que los datos de Conductividad del suelo de la temporada seca tuvieron linealidad (*múltiple R* = 0,79; *F* = 4,11; *p*<0,001\*\*\*).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de Conductividad del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT tienen distribución (*W* = 0,83617; *p*<0,001\*\*\*; Fig. 4.2.4.9.).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos de Conductividad del suelo tienen homogeneidad de las varianzas (*F* = 4,38; *p*<0,001\*\*\*).

Tabla 4.2.4.1. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

| Zona         | n  | Páramo        |     | Pino          |     | Pastizal      |     | Bosque secundario |     | Páramo degradado |     | Promedio general |     |
|--------------|----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|-------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|
|              |    | media (dSm-1) | EE. | media (dSm-1) | EE. | media (dSm-1) | EE. | media (dSm-1)     | EE. | media (dSm-1)    | EE. | media (dSm-1)    | EE. |
| El Ángel     | 12 | 0,61 ± 0,16 a |     | 0,59 ± 0,13 a |     | 0,94 ± 0,19 a |     | 0,87 ± 0,18 a     |     | -                | -   | 0,75 ± 0,1       | AB  |
| Cotopaxi     | 10 | 0,28 ± 0,07 a |     | 0,45 ± 0,02 a |     | -             | -   | -                 | -   | -                | -   | 0,36 ± 0,1       | B   |
| Chimborazo   | 12 | 0,21 ± 0,04 b |     | 0,24 ± 0,06 b |     | 1,60 ± 0,08 a |     | -                 | -   | 0,27 ± 0,05 b    |     | 0,58 ± 0,1       | AB  |
| Cajas        | 18 | 0,78 ± 0,24 a |     | 0,76 ± 0,08 a |     | 1,00 ± 0,33 a |     | 1,05 ± 0,27 a     |     | -                | -   | 0,90 ± 0,08      | A   |
| Oña-Yacuambi | 12 | 0,48 ± 0,04 a |     | 0,56 ± 0,05 a |     | -             | -   | 0,23 ± 0,03 b     |     | -                | -   | 0,42 ± 0,09      | B   |
| Loja         | 8  | 0,14 ± 0,05 a |     | 0,12 ± 0,01 a |     | 0,23 ± 0,01 a |     | 0,30 ± 0,01 a     |     | -                | -   | 0,20 ± 0,11      | B   |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.



Tabla 4.2.4.2. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la Conductividad del suelo en la región alto-andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Media de cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------|-------------|
| Intercepción                    | 19                       | 1                         | 19                        | 194,2    | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | 4                        | 5                         | 1                         | 7,9      | 0,000014*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | 4                        | 15                        | 0                         | 2,7      | 0,004284*** |
| Error                           | 5                        | 51                        | 0                         |          |             |

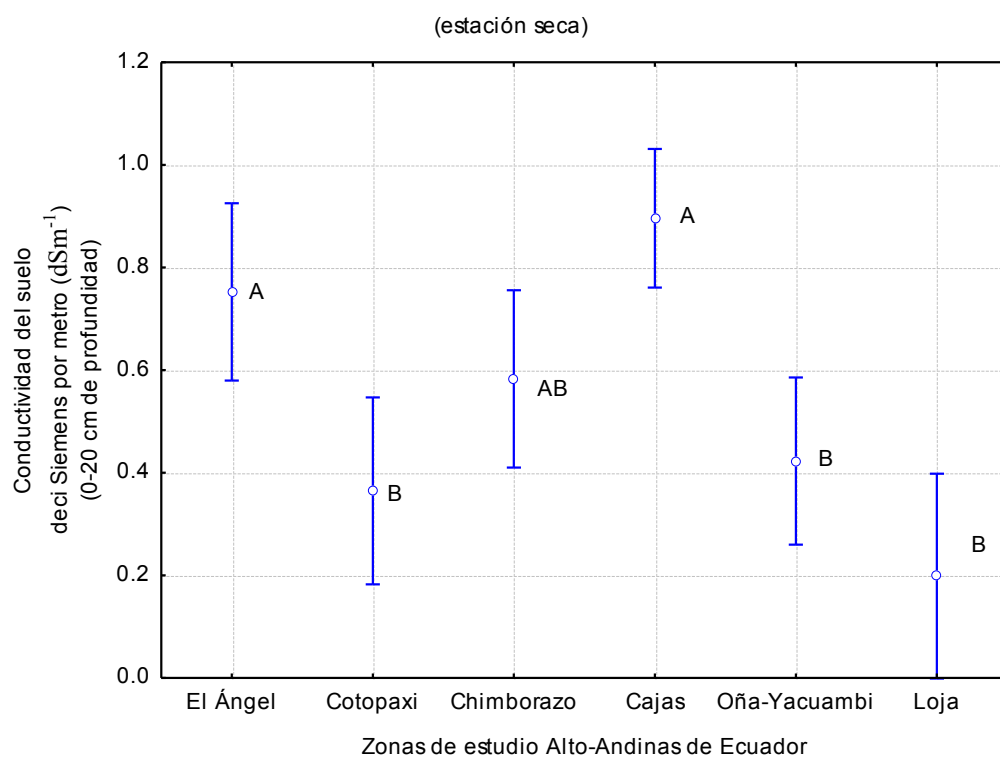


Figura 4.2.4.1. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. Valores para la estación seca.

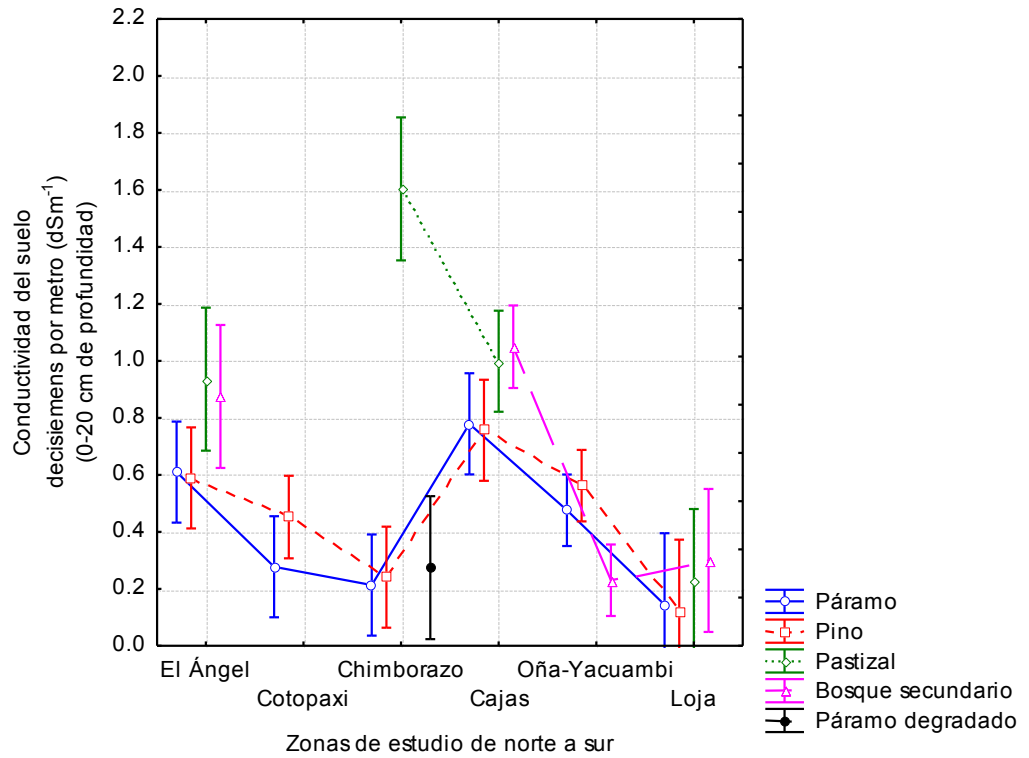


Figura 4.2.4.2. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

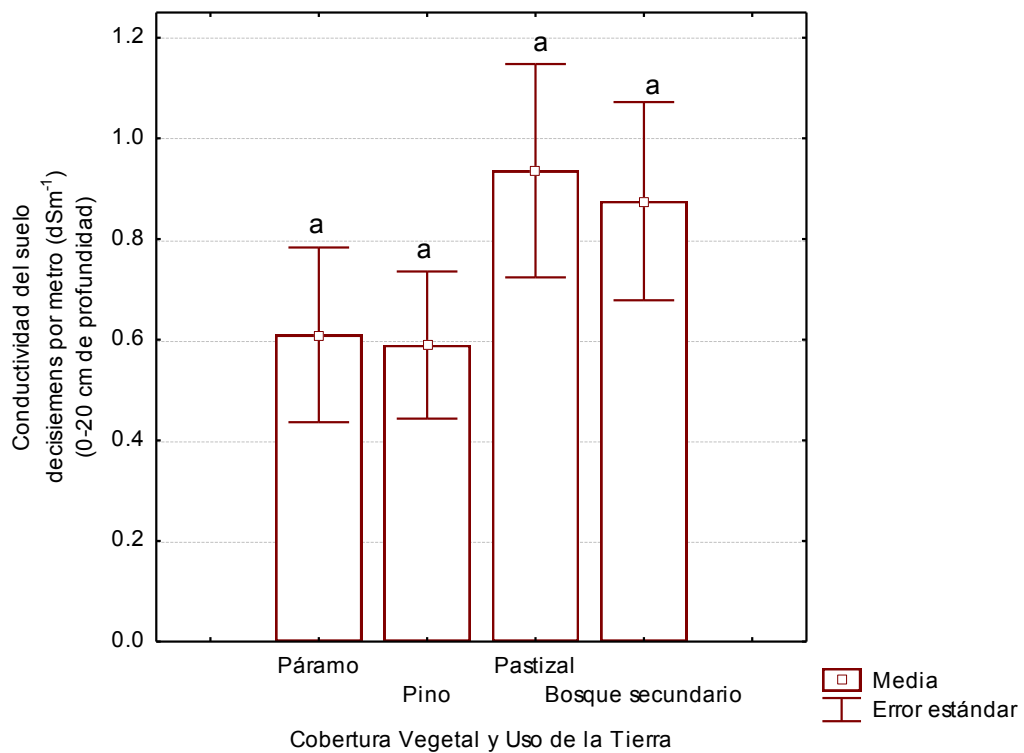


Figura 4.2.4.3. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

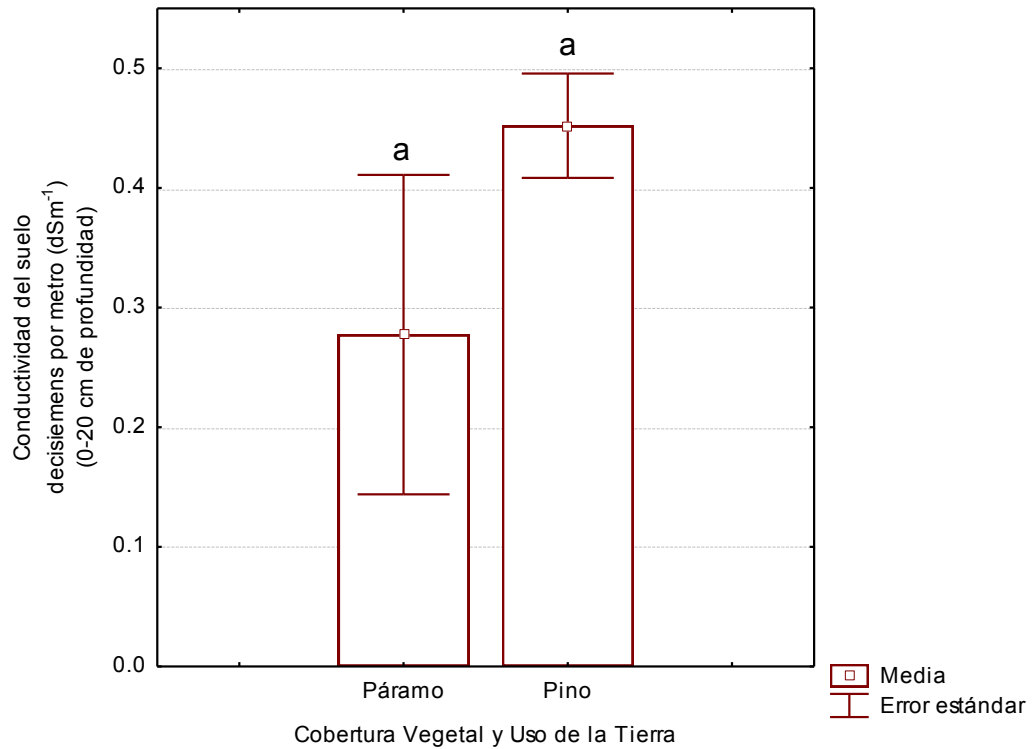


Figura 4.2.4.4. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

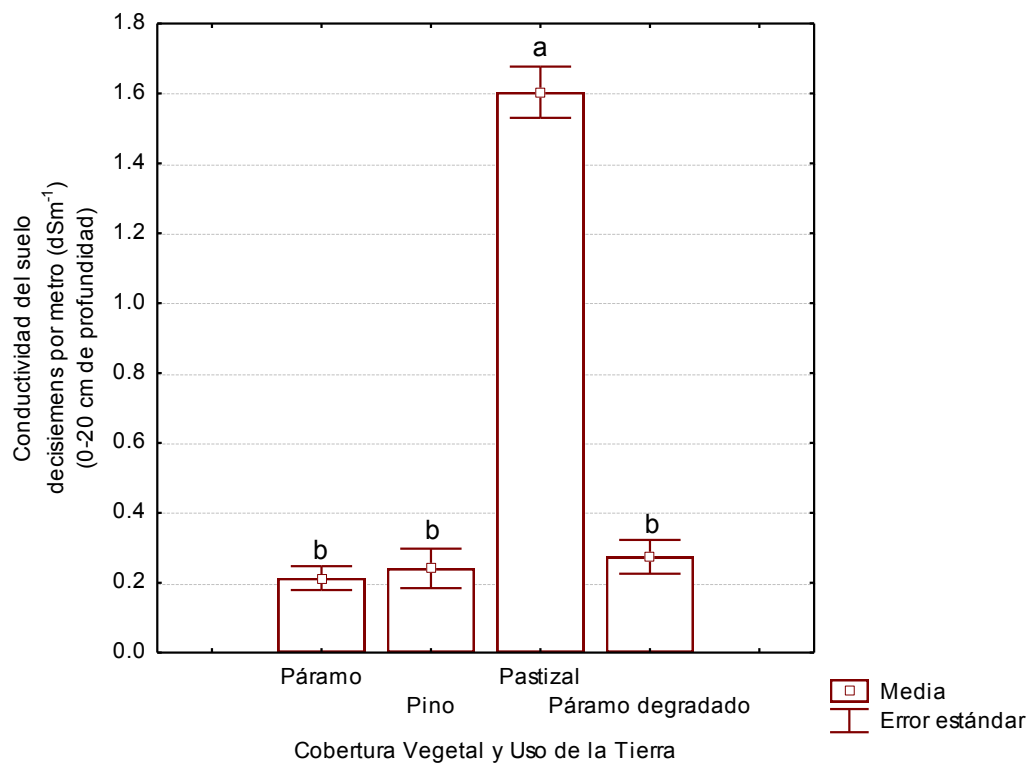


Figura 4.2.4.5. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

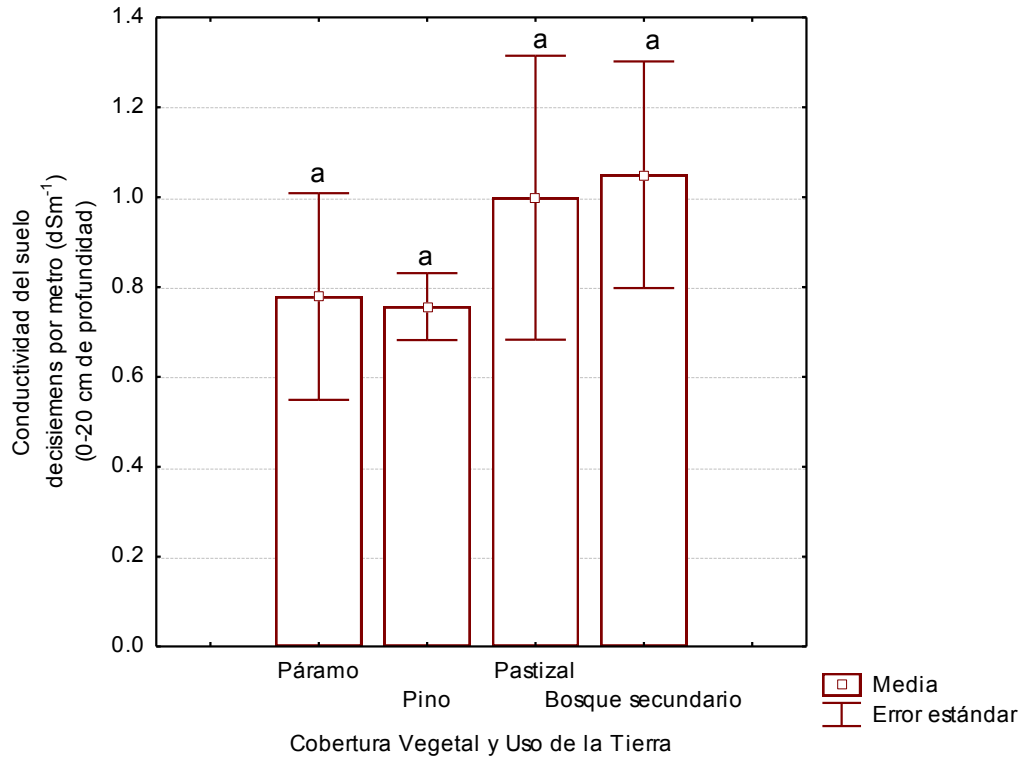


Figura 4.2.4.6. Conductividad suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

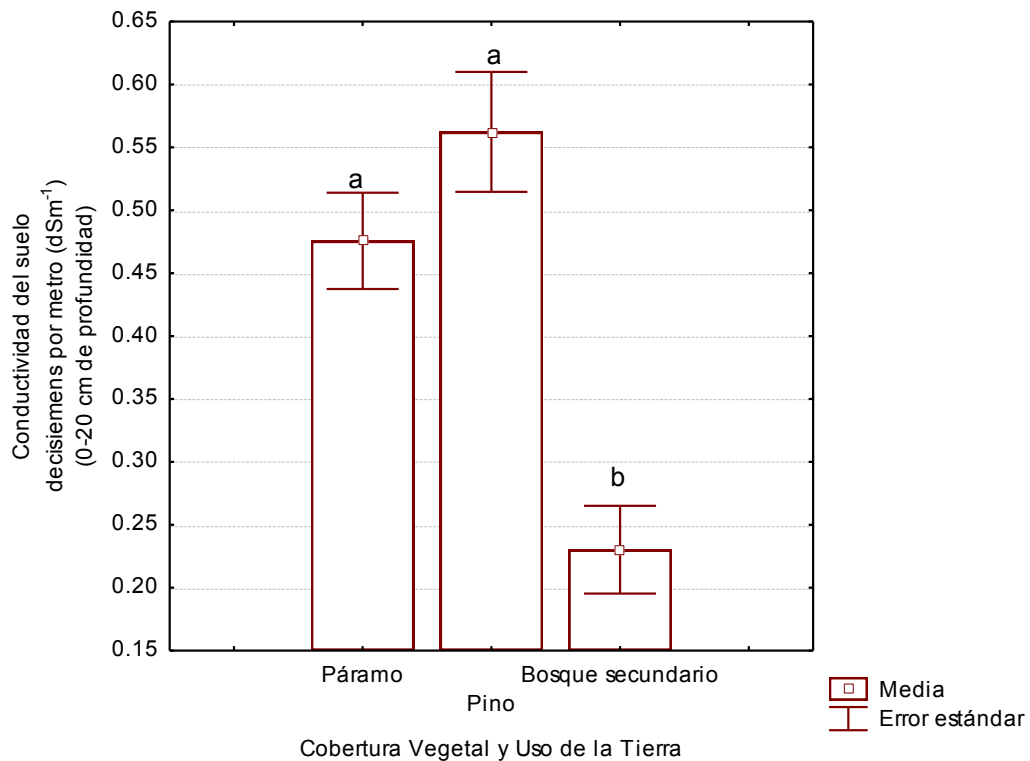


Figura 4.2.4.7. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

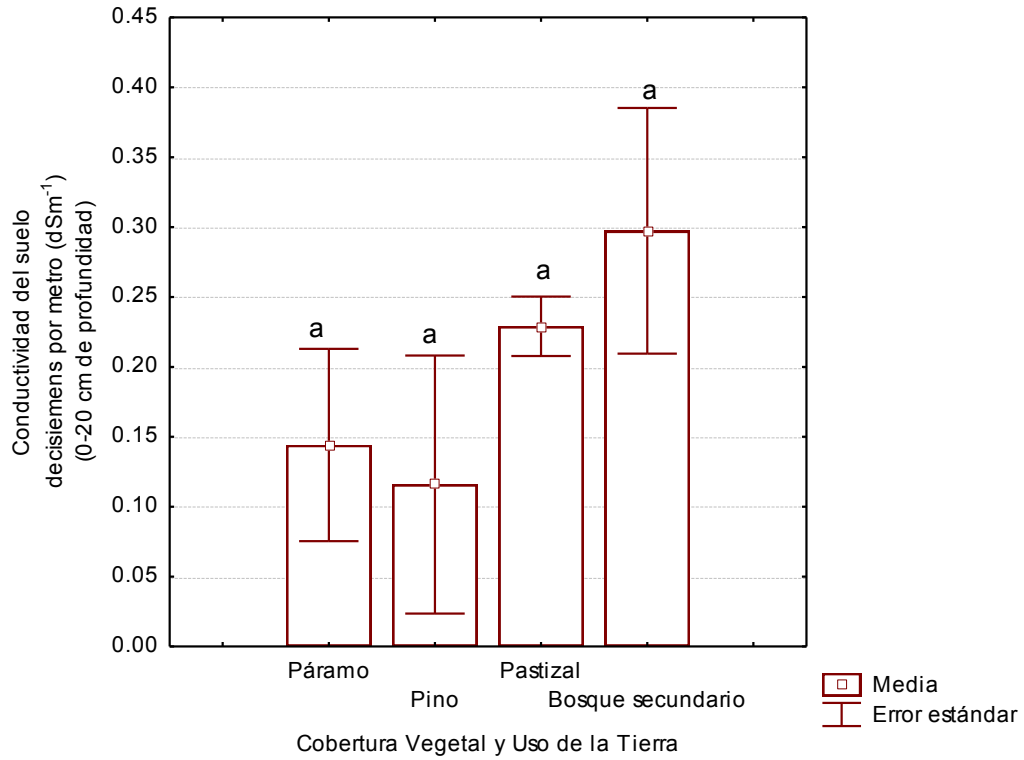


Figura 4.2.4.8. Conductividad del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

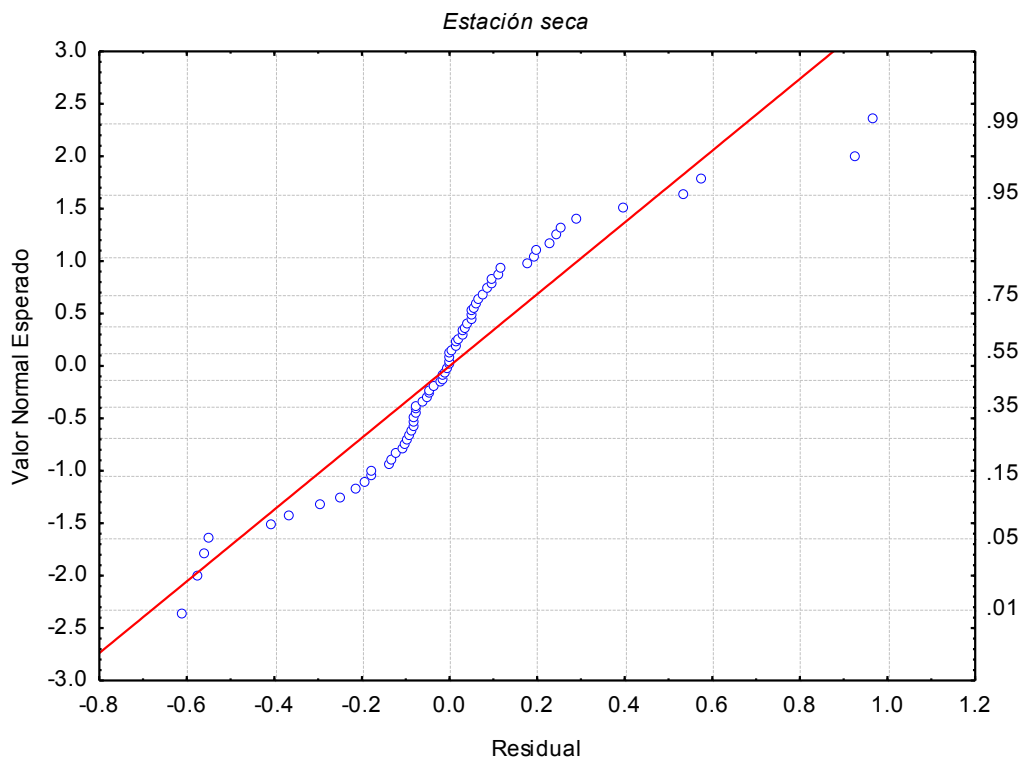


Figura 4.2.4.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de Conductividad del suelo para los datos de la estación seca.

#### 4.2.5. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable pH edáfico en la región Alto-Andina de Ecuador

Los rangos promedio del pH del suelo estuvieron entre 3,6 y 6,4 para la temporada seca y entre 3,2 y 6,4 para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.5.1.; Fig. 4.2.5.1.).

Los resultados de la prueba *Anova de dos factores con medidas repetidas* aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad, indicaron que el pH del suelo varió significativamente por efectos de la lluvia (Tabla 4.2.5.2.), siendo más ácido en la temporada seca.

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT de todas las zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre el pH del suelo, específicamente bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Ángel; bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona de Cotopaxi; bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,005^{***}$ ) en la zona del Chimborazo; bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Cajas; bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) en la zona de Oña-Yacuambi; y finalmente, bajo Páramo ( $p < 0,05^{*}$ ), bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ) en la zona de Loja

Debido a que el pH del suelo fue diferente para cada estación climática, se aplicó la prueba *Anova con factor anidado* considerando dentro del mismo modelo matemático una cohorte independiente de datos para cada estación climática (seca y lluviosa).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que la Zona de estudio tuvo efectos fuertemente significativos sobre el potencial Hidrogeno, y que también, el factor anidado CVUT influyó significativamente sobre el pH del suelo (Tabla 4.2.5.3.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio indicaron que los suelos significativamente más ácidos, en las dos estaciones climáticas, fueron los suelos de la zona de Oña-Yacuambi, mientras que los suelos menos ácidos fueron los de las zonas de Cotopaxi y Chimborazo.

En la temporada seca los suelos de la zona del Chimborazo fueron significativamente menos ácidos que los suelos de todas las demás zonas (Fig. 4.2.5.1.), siendo estas Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ); mientras que los suelos de la zona Oña-Yacuambi fueron significativamente más ácidos que los suelos de todas las demás zonas, siendo estas el Ángel

( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ). Además, los suelos del Ángel fueron significativamente más ácidos que los suelos de Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ) y menos ácidos que los suelos de Cajas ( $p < 0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ); mientras que los suelos de la zona de Cotopaxi fueron significativamente más ácidos que los suelos de la zona del Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ) y significativamente menos ácidos que suelos de las zonas del Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la temporada de lluvias también los suelos de la zona de Oña-Yacuambi fueron significativamente más ácidos que los suelos de todas las demás zonas (Fig. 4.2.5.1.), siendo estas el Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,05^{***}$ ). En estación de lluvias el pH del suelo entre los sitios de Cotopaxi y Chimborazo fue similar; y fue mayor en estas dos zonas que en todas las demás zonas; así entonces, los suelos de la zona del Cotopaxi fueron menos ácidos que los suelos de las zonas del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacummbi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ); mientras también, los suelos de la zona del Chimborazo fueron significativamente menos ácidos que los suelos del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable pH del suelo en todas las 6 zonas Alto-Andinas de estudio. Todos los resultados de esta prueba se detallan a continuación.

#### *pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

En la zona del Ángel los rangos del pH del suelo para la temporada seca estuvieron entre 4,35 y 5,25 y entre 5,72 y 6,29 para la temporada lluviosa (Fig. 4.2.5.3.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que en la estación seca el suelo bajo Pastizal tuvo significativamente mayor pH que suelo bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ); lo suelos de estas 3 últimas CVUT no tuvieron diferencias significativas de pH entre ellos.

Por su parte, los resultados de la prueba *LSD* correspondientes a la estación lluviosa mostraron que el pH del suelo bajo Páramo fue menos ácido que el suelo bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ), y más ácido que el suelo bajo Pastizal ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte, los suelos bajo Pino también fueron significativamente más ácidos que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ). Los suelos bajo Pastizal y bajo Bosque secundario no presentaron diferencias significativas en el pH.

#### pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

En esta zona los rangos del pH del suelo para la temporada seca estuvieron entre 4,74 y 5,20 y para la temporada lluviosa entre (Fig. 4.2.5.4.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que tanto en la estación seca ( $p < 0,05^*$ ) como en la lluviosa ( $p < 0,05^*$ ) el pH del suelo bajo Pino fue significativamente más ácido que el pH del suelo bajo Páramo.

#### pH bajo diferente CVUT de la zona del Chimborazo

Existió un efecto significativo de la CVUT sobre el pH del suelo (Fig. 4.2.5.5.). Los resultados de la prueba *LSD* indicaron que en la estación seca, los suelos bajo Pastizal fueron significativamente más ácidos que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), Pino ( $p < 0,005^{***}$ ) y Páramo Degradado ( $p < 0,05^*$ ), los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí.

Por su parte, los resultados de la temporada lluviosa, indicaron que los suelos bajo Páramo fueron significativamente menos ácidos que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ), pero no presentaron diferencias significativas en relación a los suelos bajo Páramo degradado. Los suelos bajo Pino también fueron significativamente más ácidos que los suelos bajo Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ); así también, los suelos bajo Pastizal fueron significativamente más ácidos que los suelos bajo Paramo degradado ( $p < 0,05^*$ ).

#### pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

Se encontró un efecto significativo de la CVUT sobre el pH del suelo (Fig. 4.2.5.6.). En la temporada seca el suelo bajo Bosque secundario fue significativamente más ácido que el suelo bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ); y también el suelo bajo Pastizal fue menos ácido que el suelo bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte, en la temporada lluviosa el suelo bajo Pino fue significativamente más ácido que el suelo bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastura ( $p < 0,001^{***}$ ); también el suelo bajo Paramo fue significativamente más ácido que el suelo bajo Pastura ( $p < 0,05^*$ ); y además el suelo bajo Bosque secundario fue menos ácido que el suelo bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi



Se encontró un efecto de la CVUT sobre el pH del suelo (Fig. 4.2.5.7.). Los resultados de la prueba *LSD* para la temporada seca no encontraron diferencias significativas del pH, mientras que en la temporada lluviosa los suelos bajo Bosque secundario fueron mucho más ácidos que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ). Las diferencias en acidez entre el Páramo y el Pino no fueron significativas.

#### pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

Se evidencia un efecto significativo de la CVUT sobre el pH del suelo (Fig. 4.2.5.8). Los resultados de la prueba posterior *LSD* para la época seca, indicaron que los suelos bajo Pastizal fueron significativamente menos ácidos que los suelo bajos Páramo ( $p < 0,05^*$ ) pero no presentaron diferencias significativas con los suelos bajo Pino. También indicaron, que los suelos bajo Bosque secundario fueron significativamente más ácidos que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ).

Mientras que por su parte, los resultados de la prueba *LSD* para la época lluviosa mostraron que el suelo bajo Bosque secundario fue significativamente más ácido que el suelo bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba utilizada a partir de la ecuación de regresión indicó que los datos del pH del suelo tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,92; *F* = 14,28;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,96; *F* = 31,81;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de le prueba *Shapiro Wilk*, por su parte, indicaron que los datos medidos del pH del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.5.9) tanto para la temporada seca (*W* = 0,93145;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo para la temporada lluviosa (*W* = 0,96156,  $p < 0,001^{***}$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada lluviosa (*F* = 4,84;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo los de la temporada seca (*F* = 2,49;  $p < 0,005^{***}$ ).

Tabla 4.2.5.1. pH del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores de las temporadas seca y lluviosa (media y del error estándar: E.E.).

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo     |     | Pino       |     | Pastizales |     | Bosque secundario |     | Páramo degradado |     | Promedio general |     |
|--------------|--------------------|----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|-------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|
|              |                    |    | media      | EE. | media      | EE. | media      | EE. | media             | EE. | media            | EE. | media            | EE. |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 4,4 ± 0,2  | b   | 4,6 ± 0,2  | b   | 5,3 ± 0,2  | a   | 4,5 ± 0,1         | b   | -                | -   | 4,7 ± 0,1        | c   |
|              | Lluviosa           | 12 | *5,0 ± 0,0 | B   | 4,7 ± 0,1  | C   | 5,4 ± 0,1  | A   | *5,2 ± 0,0        | A   | -                | -   | 5,1 ± 0,1        | B   |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 5,2 ± 0,1  | a   | 4,7 ± 0,1  | b   | -          | -   | -                 | -   | -                | -   | 5,0 ± 0,1        | b   |
|              | Lluviosa           | 10 | *6,3 ± 0,1 | A   | *5,7 ± 0,1 | B   | -          | -   | -                 | -   | -                | -   | 6,0 ± 0,1        | A   |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 5,8 ± 0,3  | a   | 5,9 ± 0,2  | a   | 4,9 ± 0,1  | c   | -                 | -   | 5,6 ± 0,0        | b   | 5,5 ± 0,1        | a   |
|              | Lluviosa           | 12 | 6,3 ± 0,0  | A   | 6,0 ± 0,1  | B   | *6,0 ± 0,3 | B   | -                 | -   | *6,4 ± 0,0       | A   | 6,1 ± 0,1        | A   |
| Cajas        | Seca               | 18 | 4,1 ± 0,2  | a   | 3,9 ± 0,1  | b   | 4,5 ± 0,2  | a   | 4,7 ± 0,3         | a   | -                | -   | 4,3 ± 0,1        | d   |
|              | Lluviosa           | 18 | *5,1 ± 0,1 | B   | *4,6 ± 0,0 | C   | *5,5 ± 0,2 | A   | *5,4 ± 0,2        | AB  | -                | -   | 5,1 ± 0,1        | B   |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 3,8 ± 0,1  | a   | 3,7 ± 0,1  | a   | -          | -   | 3,7 ± 0,1         | a   | -                | -   | 3,7 ± 0,1        | e   |
|              | Lluviosa           | 12 | *4,3 ± 0,1 | A   | *4,1 ± 0,1 | A   | -          | -   | 3,6 ± 0,2         | B   | -                | -   | 4,0 ± 0,1        | D   |
| Loja         | Seca               | 8  | 4,0 ± 0,2  | bc  | 4,2 ± 0,1  | b   | 4,7 ± 0,1  | a   | 3,8 ± 0,1         | c   | -                | -   | 4,2 ± 0,1        | d   |
|              | Lluviosa           | 8  | *4,3 ± 0,1 | A   | *4,4 ± 0,2 | A   | 4,8 ± 0,5  | A   | 4,0 ± 0,1         | B   | -                | -   | 4,4 ± 0,1        | C   |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla. 4.2.5.2. Efecto de la estación climática sobre el pH del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                               | Suma de cuadrados | Grados de libertad | MS   | F      | p           |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|------|--------|-------------|
| Estacionalidad                       | 8,60              | 1                  | 8,60 | 169,28 | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 2,18              | 5                  | 0,44 | 8,59   | 0,000006*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 0,39              | 4                  | 0,10 | 1,90   | 0,124282    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 1,25              | 11                 | 0,11 | 2,23   | 0,026673**  |
| Error                                | 2,59              | 51                 | 0,05 |        |             |

Tabla. 4.2.5.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor zona de estudio sobre el pH del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                          | Prueba | Valor    | F     | GL efecto | GL error | p           |
|---------------------------------|--------|----------|-------|-----------|----------|-------------|
| Intercepción                    | Wilks  | 0,002067 | 12070 | 2         | 50       | 0,000000*** |
| Zona de Estudio                 | Wilks  | 0,053934 | 33    | 10        | 100      | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | Wilks  | 0,218969 | 4     | 30        | 100      | 0,000000*** |

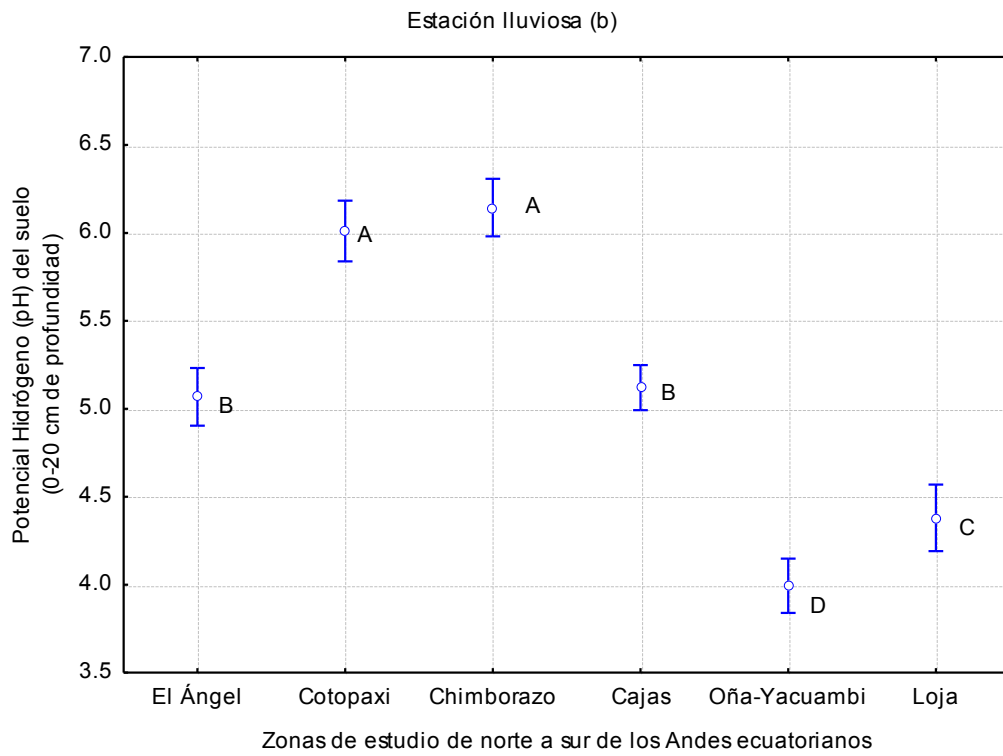
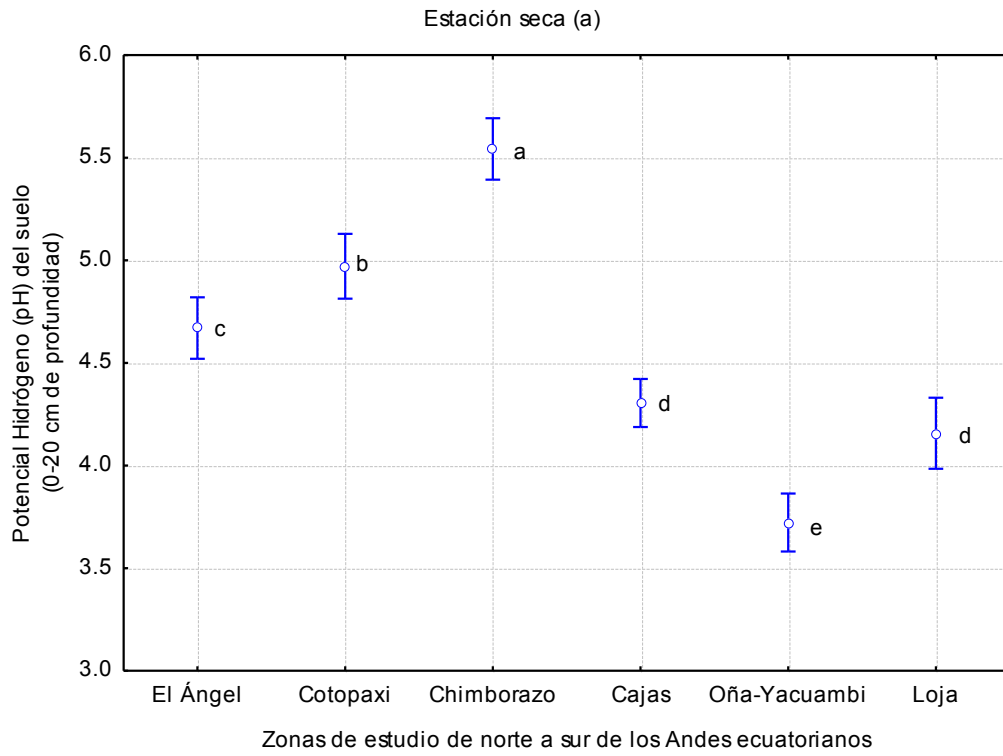


Figura. 4.2.5.1. pH del suelo en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

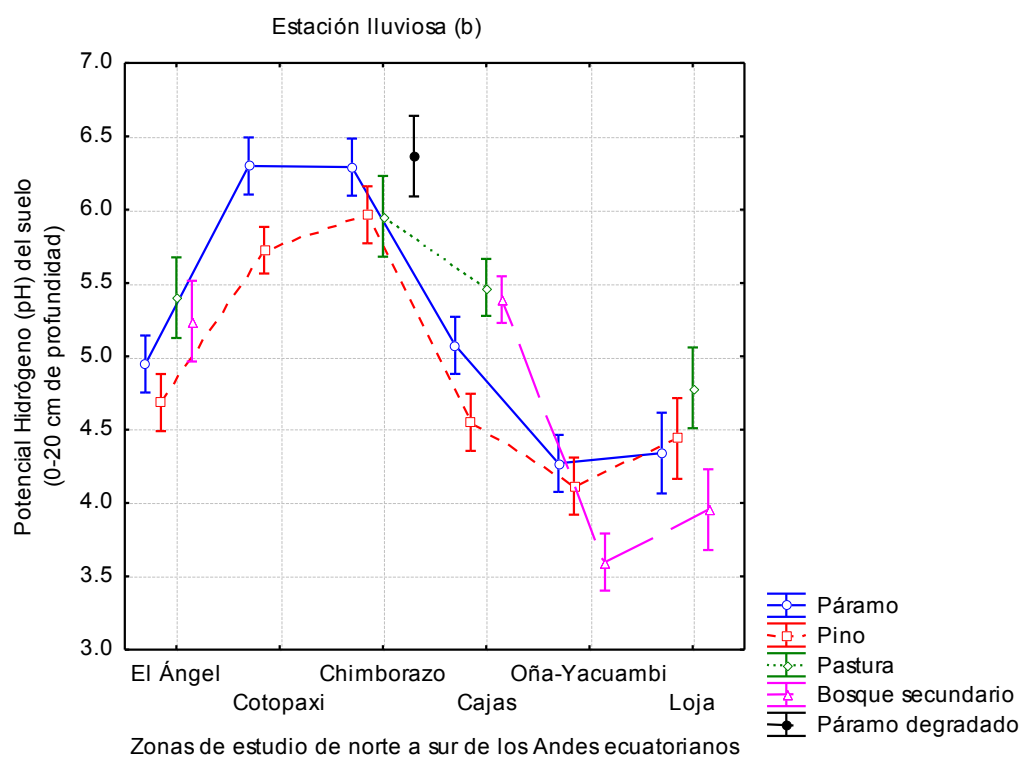
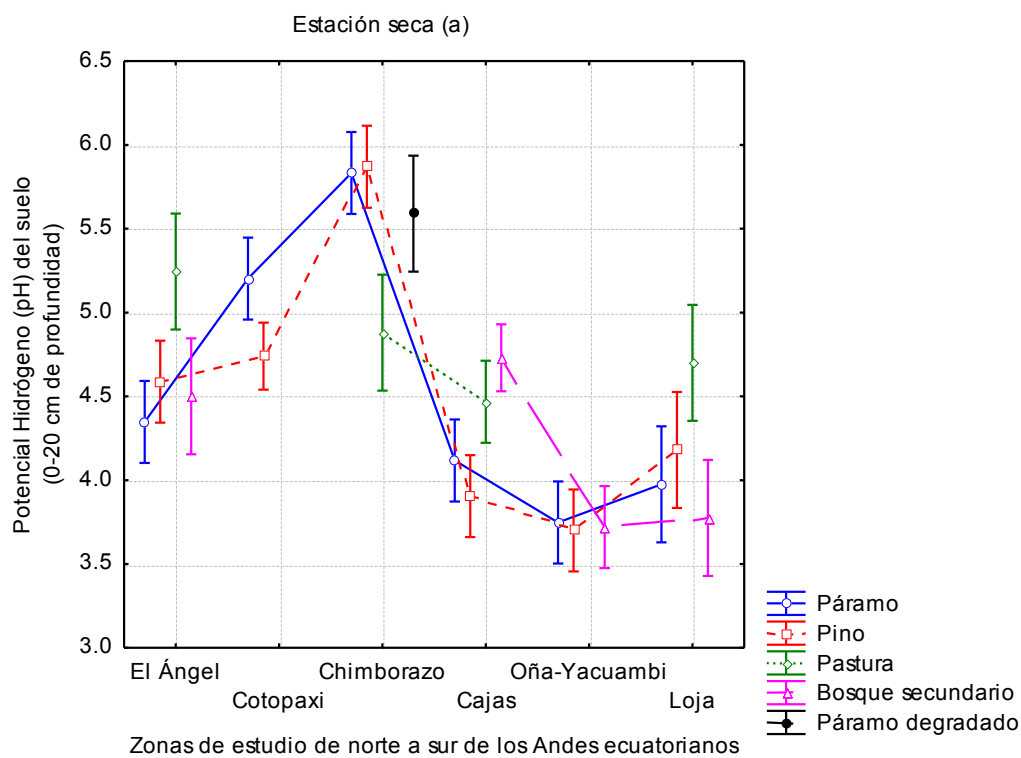


Figura. 4.2.5.2. pH del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

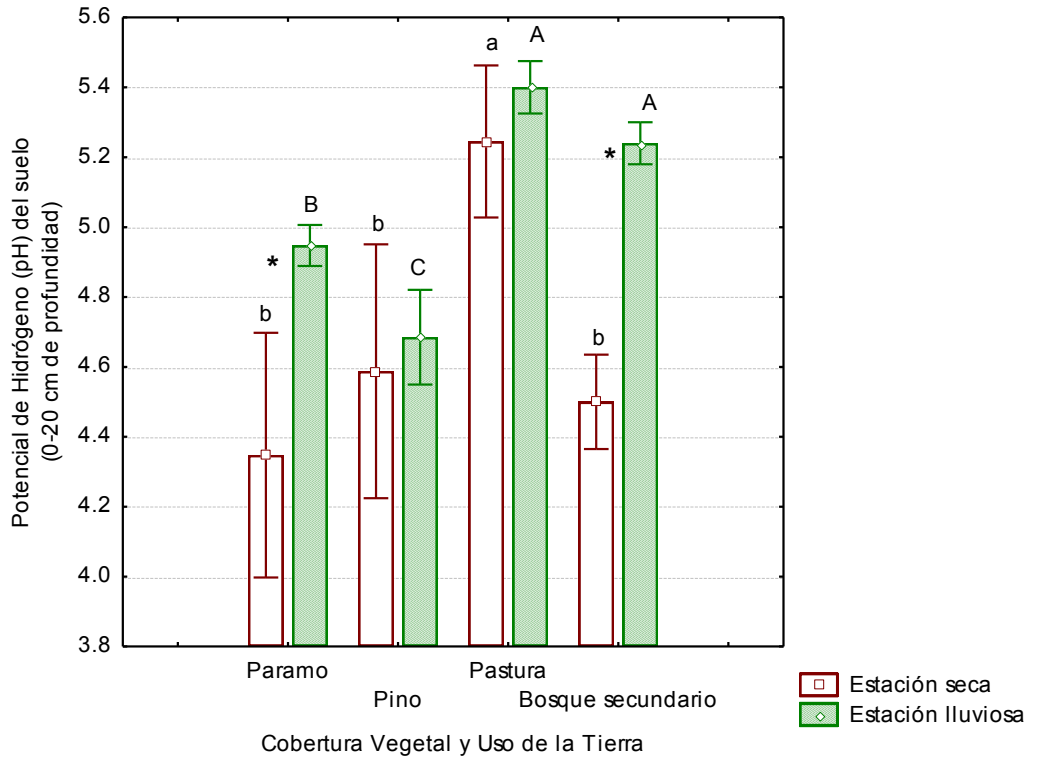


Figura. 4.2.5.3. pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

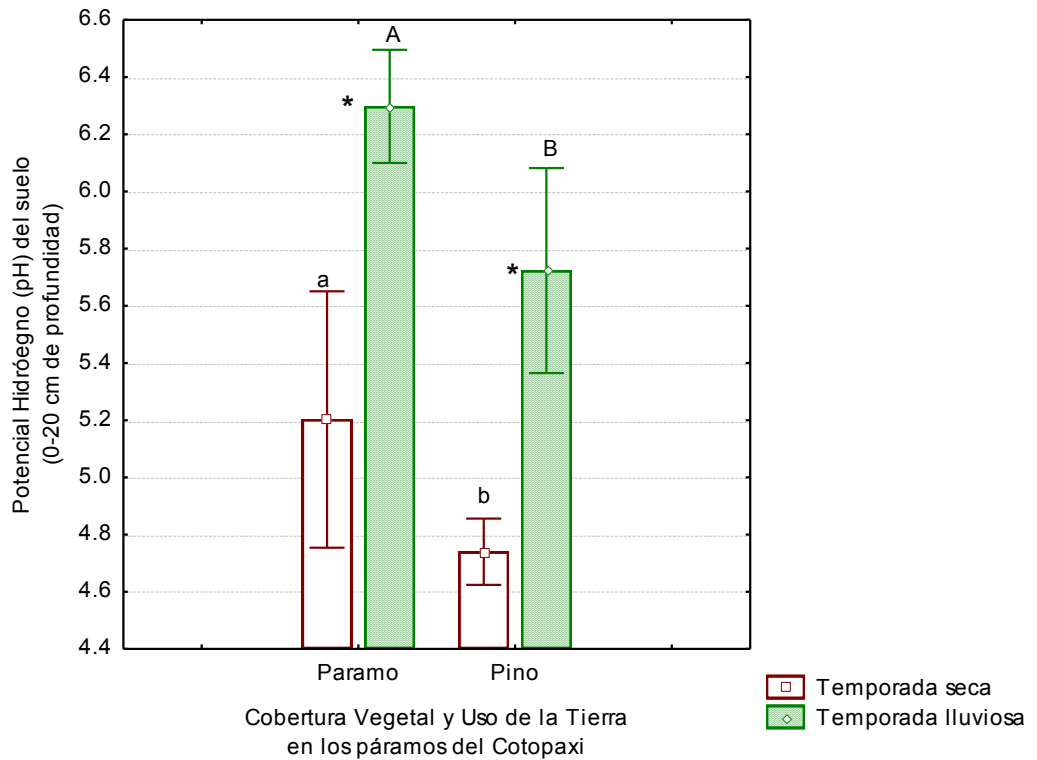


Figura. 4.2.5.4. pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

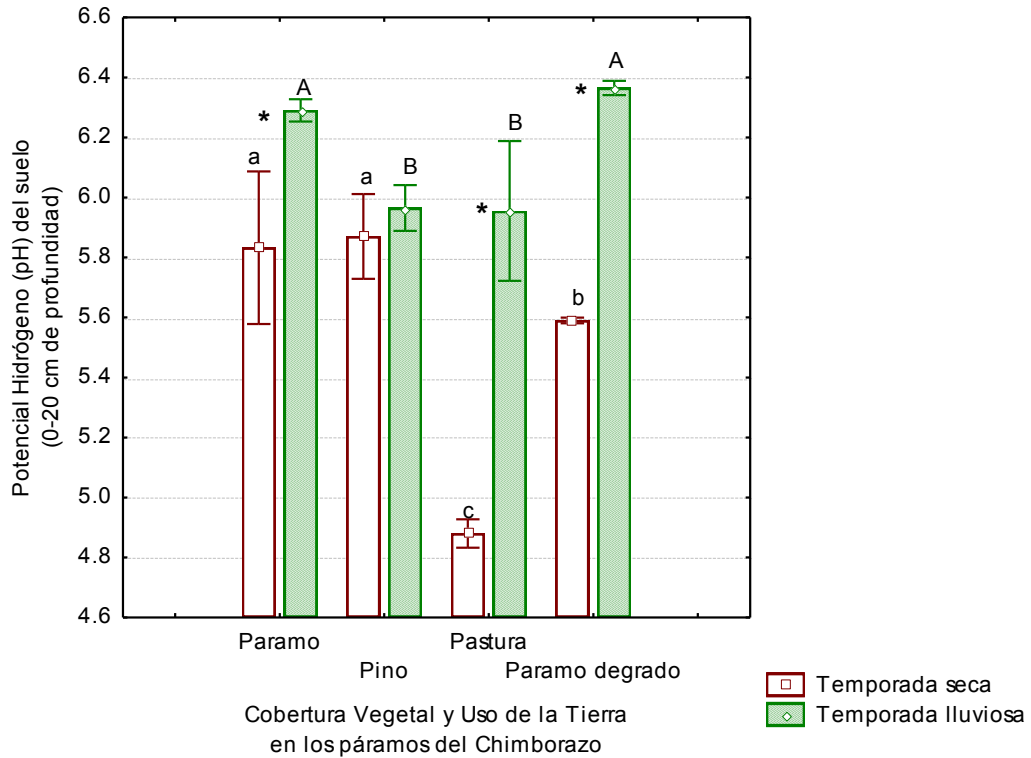


Figura. 4.2.5.5. pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

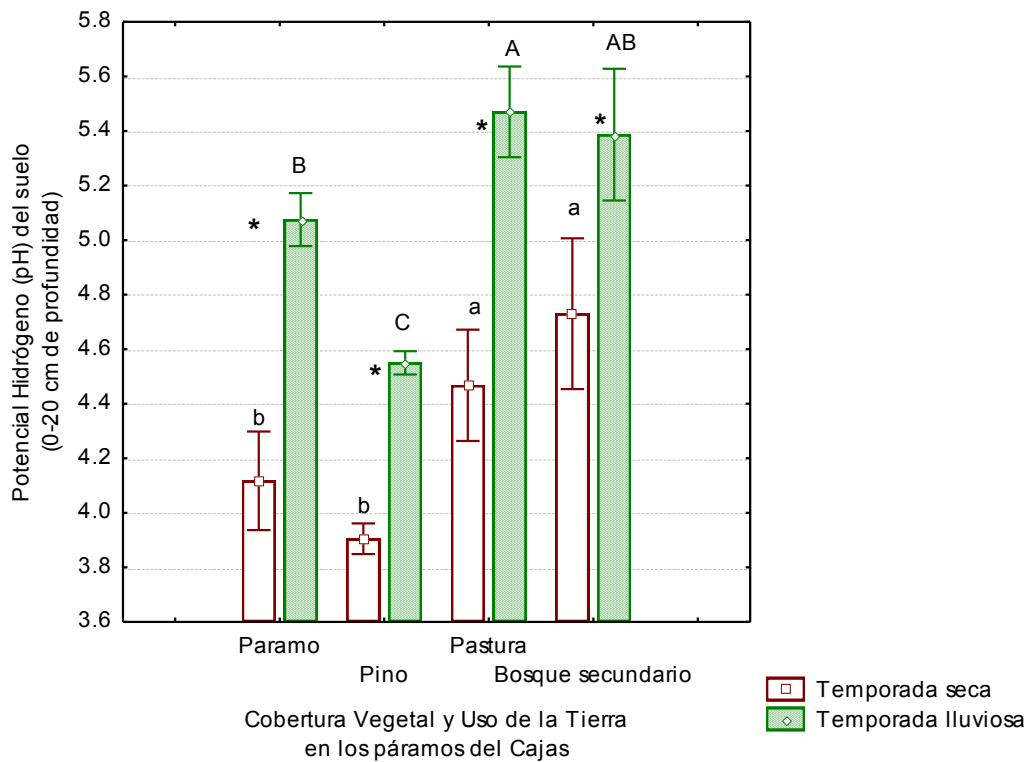


Figura. 4.2.5.6. pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

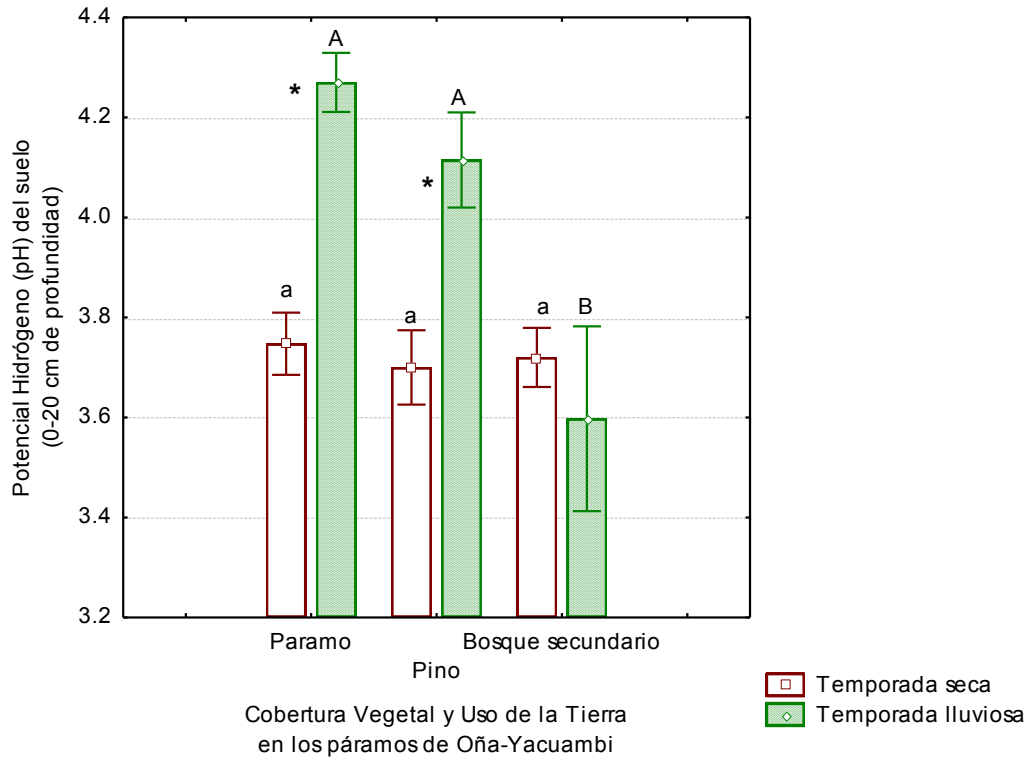


Figura. 4.2.5.7. pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

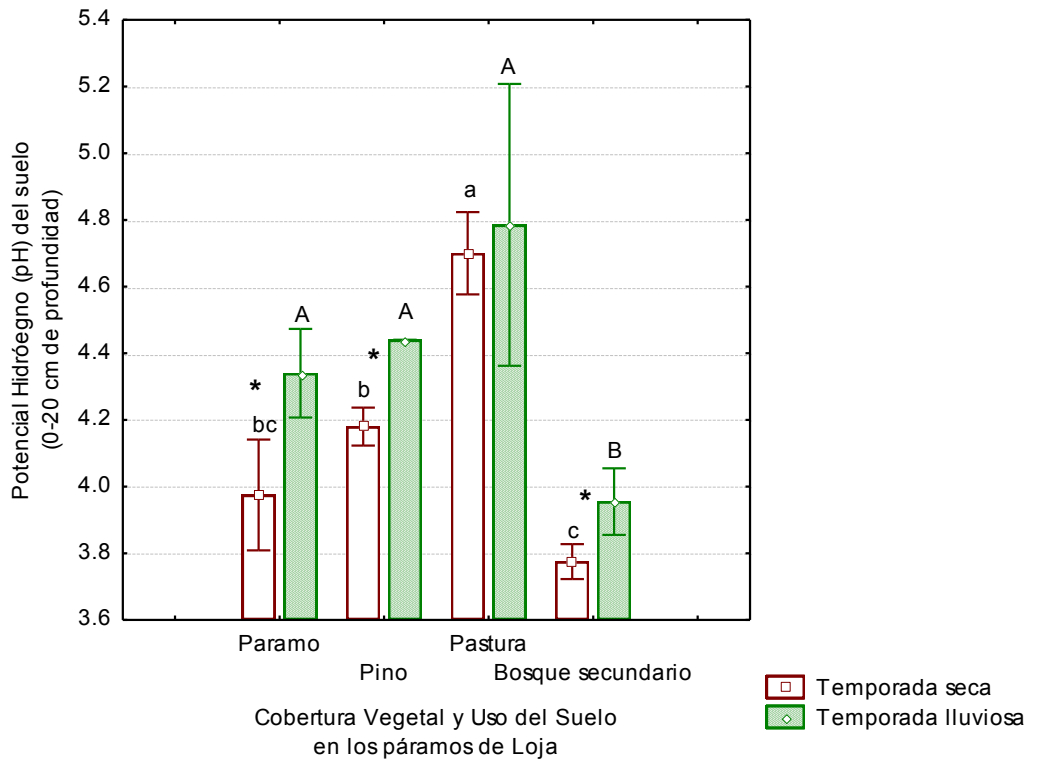


Figura. 4.2.5.8. pH del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

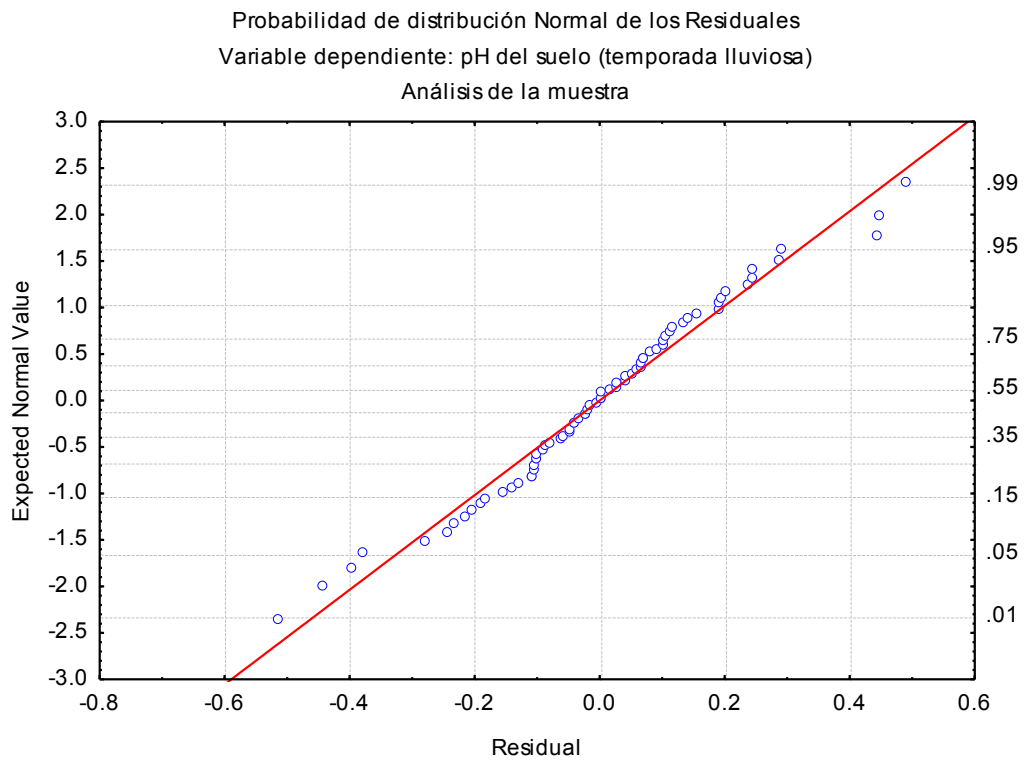
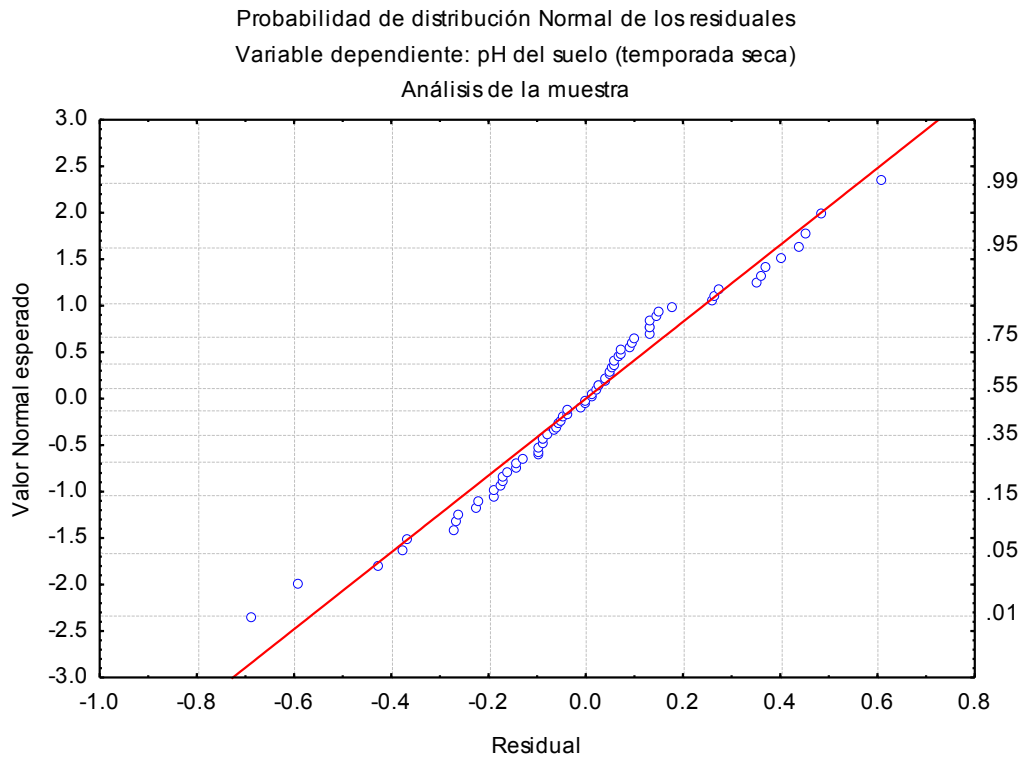


Figura. 4.2.5.9. Probabilidad de distribución Normal de los valores residuales del pH del suelo de la temporada seca y la temporada lluviosa.



#### 4.2.6. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable de Capacidad Total de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo

El rango promedio de la CIC total del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT en las diferentes zonas de estudio estuvo entre 4,3 y 79,4 cmol kg<sup>-1</sup> (Tabla 4.2.6.1.; Fig. 4.2.6.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores* indicaron que existió un efecto significativo de la estación climática sobre la CIC del suelo, siendo esta mayor en la estación seca; además, los resultados también indicaron que la estacionalidad tuvo un efecto significativo sobre la CIC del suelo en interacción con los factores Zona de estudio y CVUT (Tabla 4.2.6.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT en las zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre la CIC del suelo específicamente en los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Ángel; en los sitios bajo Paramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Cajas; y en los sitios bajo Bosque secundario en la zona de Oña-Yacuambi ( $p < 0,05^*$ ).

Debido a que la CIC vario entre las dos estaciones se realizó un *Anova con factor anidado* considerando dentro del mismo modelo dos cohortes de datos independientes, uno para cada estación climática.

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable CIC del suelo (Tabla 4.2.6.3.).

Por su parte, los resultados de las pruebas posteriores *LSD* para zonas de estudio, indicaron que en la temporada seca la CIC del suelo fue mayor que en la zona del Cajas que en las demás zonas (Fig. 4.2.6.1.), siendo estas Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ); así mismo ocurrió en la temporada lluviosa, la zona del Cajas tuvo significativamente mayor CIC del suelo que las zonas del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

Mientras que los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyo significativamente

sobre la variable CIC del suelo en las zonas Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se describen a continuación.

#### Capacidad de intercambio cationico del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

La CIC bajo la CVUT fue significativamente diferente entre las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.6.3.).

En la estación seca, los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor CIC que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ). También los suelos bajo Pino tuvieron mayor CIC que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte, en la estación lluviosa los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente menor CIC que en los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ), pero no tuvieron diferencias significativas con los suelos bajo Bosque secundario ( $p > 0,05$ ).

#### Capacidad de intercambio catiónico bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

El efecto de la CVUT sobre la CIC del suelo fue diferente en cada estación climática (Fig. 4.2.6.4.). En la temporada seca las diferencias en CIC entre los suelos bajo Páramo y bajo Pino no fueron significativas ( $p > 0,05$ ). Mientras que, en la temporada lluviosa los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor CIC que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ).

#### Capacidad de intercambio catiónico bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

En esta zona la CVUT tuvo efectos significativos sobre la CIC del suelo (Fig. 4.2.6.5.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor CIC total que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la temporada lluviosa los suelos bajo Pastizal presentaron mayor CIC total que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). Además, los suelos bajo Páramo degradado presentaron menor CIC que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### Capacidad de intercambio catiónico del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

La influencia de la CVUT sobre la CIC no fue igual para las dos temporadas climáticas (Fig. 4.2.6.6.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo presentaron mayor CIC que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ); mientras que los suelos bajo Bosque secundario presentaron mayor CIC que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

En la estación lluviosa los efectos de la CVUT no fueron significativos, la CIC del suelo bajo Páramo no fue significativamente mayor que la CIC de suelos bajo Pino ( $p > 0,05$ ), Pastizal ( $p > 0,05$ ) y Bosque secundario ( $p > 0,05$ ).

#### Capacidad de intercambio catiónico bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En las dos temporadas climáticas la CIC total estuvo significativamente influenciada por la CVUT (Fig. 4.2.6.7.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo presentaron menor CIC que los suelos bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

En la temporada lluviosa, los suelos bajo Bosque secundario presentaron mayor CIC que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Capacidad de intercambio catiónico bajo diferente CVUT en la zona de Loja

La influencia de la CVUT sobre la CIC fue diferente para cada estación climática (Fig. 4.2.6.8.).

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario presentaron mayor CIC total que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ).

Por su parte en la estación lluviosa, los suelos bajo Bosque secundario presentaron mayor CIC total que los suelos bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba con ecuación de regresión indicó que los datos de la CIC tuvieron significativamente linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,95; *F* = 25,70;  $p < 0,001^{***}$ ) como en la lluviosa (*múltiple R* = 0,96; *F* = 26,85;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de CIC bajo los diferentes tipos de CVUT tuvieron significativamente distribución normal (Fig. 4.2.6.9.) tanto en la temporada seca (*W* = 0,95372;  $p < 0,01^{**}$ ) como en la temporada lluviosa (*W* = 0,95901;  $p < 0,05^*$ ).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos de la CIC tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto en la temporada seca ( $F = 4,34$ ; ( $p < 0,001^{***}$ )) como en la temporada lluviosa ( $F = 11,23$ ; ( $p < 0,001^{***}$ )).

Tabla 4.2.6.1. CIC total del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                            | Pino                              | Pastizal                          | Bosque secundario                 | Páramo degradado                  | Promedio general                  |
|--------------|--------------------|----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|              |                    |    | media<br>cmol kg <sup>-1</sup> EE | media<br>cmol kg <sup>-1</sup> EE | media<br>cmol kg <sup>-1</sup> EE | media<br>cmol kg <sup>-1</sup> EE | media<br>cmol kg <sup>-1</sup> EE | media<br>cmol kg <sup>-1</sup> EE |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 54 ± 2 a                          | 48 ± 1 b                          | 26 ± 1 d                          | 39 ± 1 c                          | - -                               | 42 ± 2 b                          |
|              | Lluviosa           | 12 | 50 ± 2 A                          | 50 ± 2 A                          | *41 ± 1 B                         | *46.04 ± 1 AB                     | - -                               | 47 ± 3 B                          |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 4 ± 1 a                           | 7 ± 1 a                           | - -                               | - -                               | - -                               | 6 ± 3 d                           |
|              | Lluviosa           | 10 | 5 ± 1 B                           | 8 ± 1 A                           | - -                               | - -                               | - -                               | 6 ± 3 E                           |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 17 ± 1 b                          | 14 ± 4 bc                         | 41 8 a                            | - -                               | 8.8 ± 1 c                         | 20 ± 2 c                          |
|              | Lluviosa           | 12 | 19 ± 1 B                          | 21 ± 2 B                          | 47 10 A                           | - -                               | 9.6 ± 1 C                         | 24 ± 3 D                          |
| Cajas        | Seca               | 18 | 69 ± 3 a                          | 54 ± 2 c                          | 58 ± 3 bc                         | 67 ± 6 ab                         | - -                               | 62 ± 2 a                          |
|              | Lluviosa           | 18 | *77 ± 3 A                         | *72 ± 4 A                         | *76 ± 4 A                         | *77 ± 5 A                         | - -                               | 75 ± 2 A                          |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 32 ± 2 c                          | 48 ± 9 a                          | - -                               | 42 ± 6 b                          | - -                               | 41 ± 2 b                          |
|              | Lluviosa           | 12 | 27 ± 1 B                          | 37 ± 5 B                          | - -                               | *60 ± 5 A                         | - -                               | 42 ± 3 B                          |
| Loja         | Seca               | 8  | 34 ± 1 b                          | 37 ± 2 b                          | 23 2 c                            | 71 ± 3 a                          | - -                               | 41 ± 3 b                          |
|              | Lluviosa           | 8  | 35 ± 15 B                         | 30 ± 5 B                          | *30 ± 5 B                         | 84 ± 7 A                          | - -                               | 45 ± 3 C                          |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.6.2. Efecto de la estación climática sobre la CIC total en Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa

| Efecto                               | Suma de cuadrados | Grados de libertad | MS  | F   | p           |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|-----|-----|-------------|
| Estacionalidad                       | 542               | 1                  | 542 | 8   | 0,006585*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 1519              | 5                  | 304 | 4,5 | 0,001795*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 962               | 4                  | 240 | 3,6 | 0,012322*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 3009              | 11                 | 274 | 4   | 0,000284*** |
| Error                                | 3445              | 51                 | 68  |     |             |

Tabla 4.2.6.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la variable CIC del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                          | Prueba       | Valor | F   | GL efecto | GL error | p           |
|---------------------------------|--------------|-------|-----|-----------|----------|-------------|
| Intercepción                    | <i>Wilks</i> | 0,02  | 994 | 2         | 50       | 0,000000*** |
| Zona de Estudio                 | <i>Wilks</i> | 0,07  | 27  | 10        | 100      | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | <i>Wilks</i> | 0,19  | 4   | 30        | 100      | 0,000000*** |

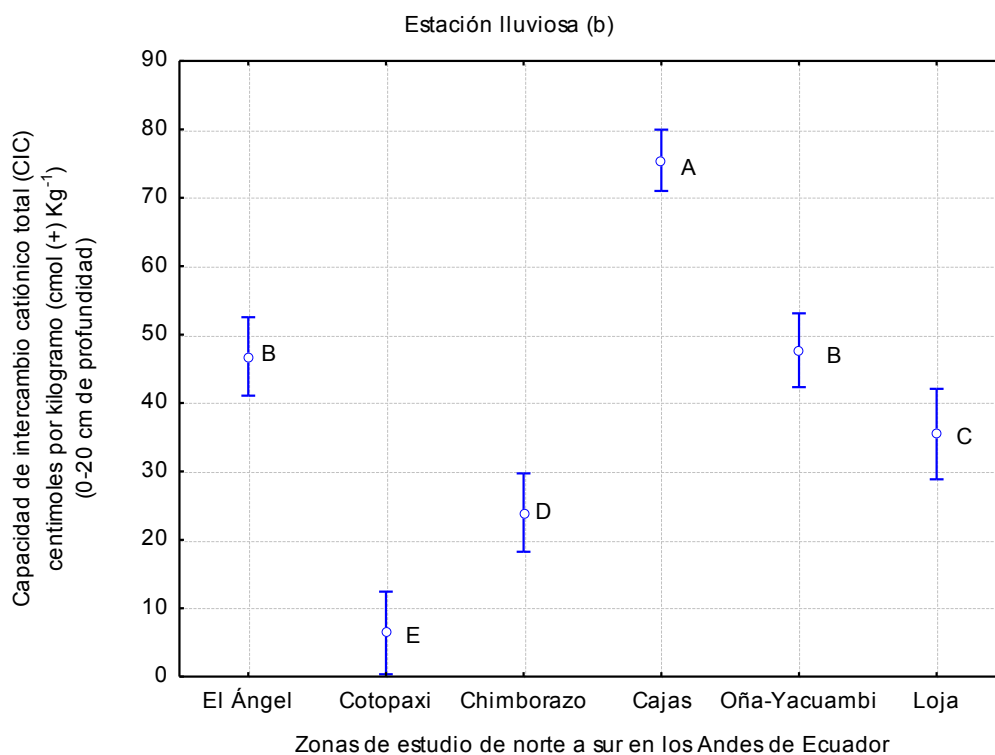
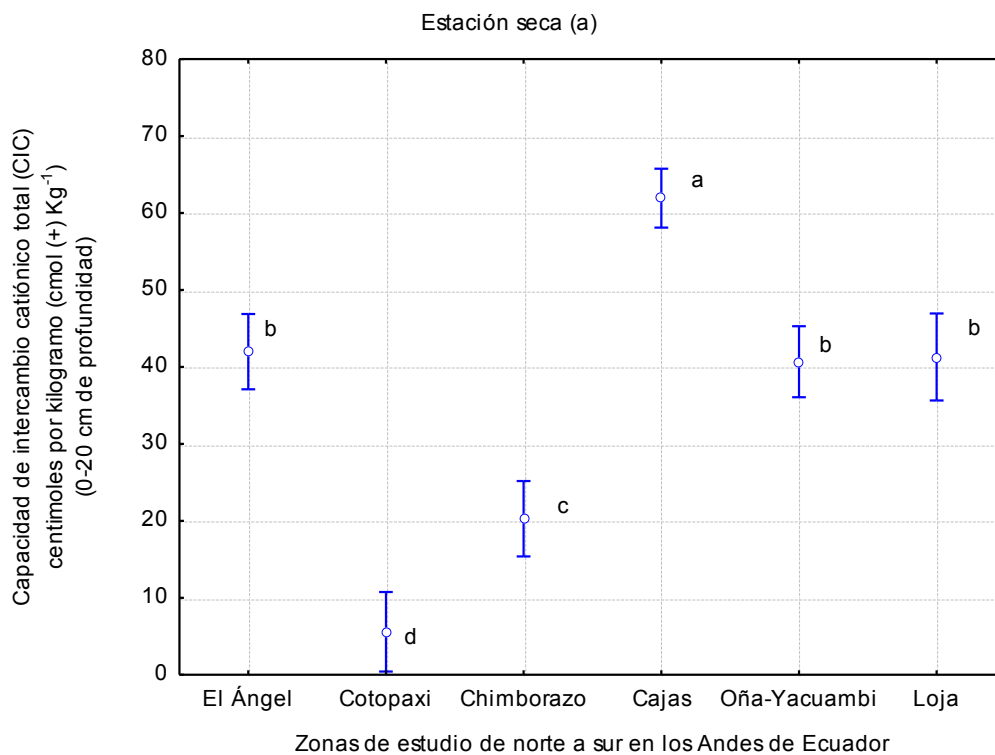


Figura. 4.2.6.1. Capacidad de Intercambio Catiónico en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

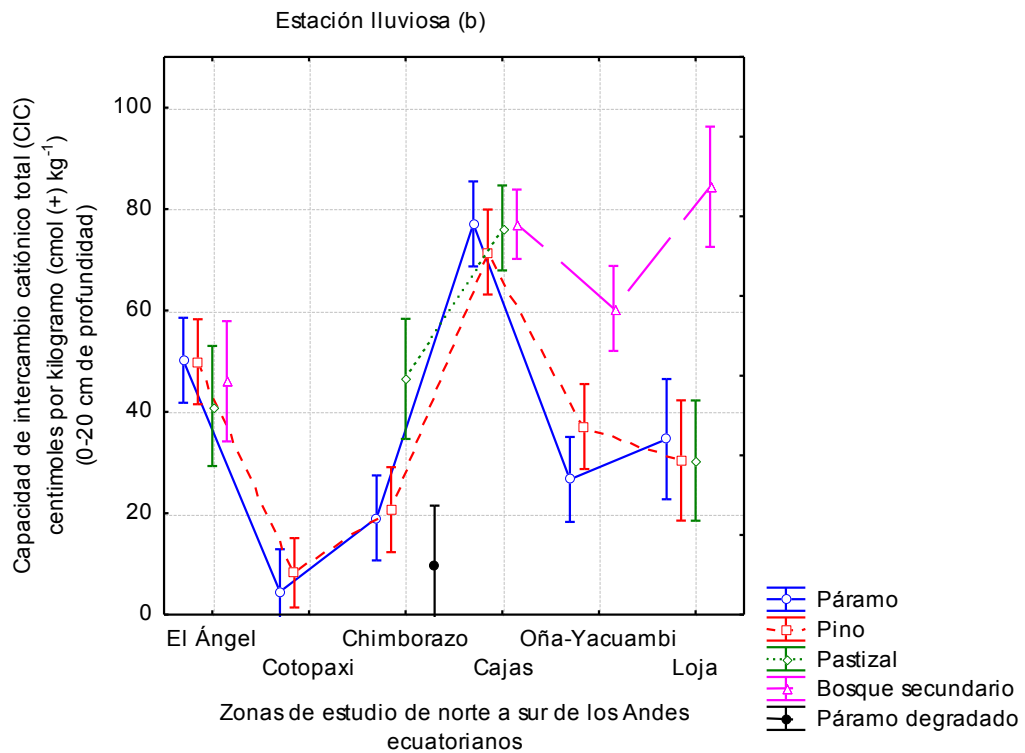
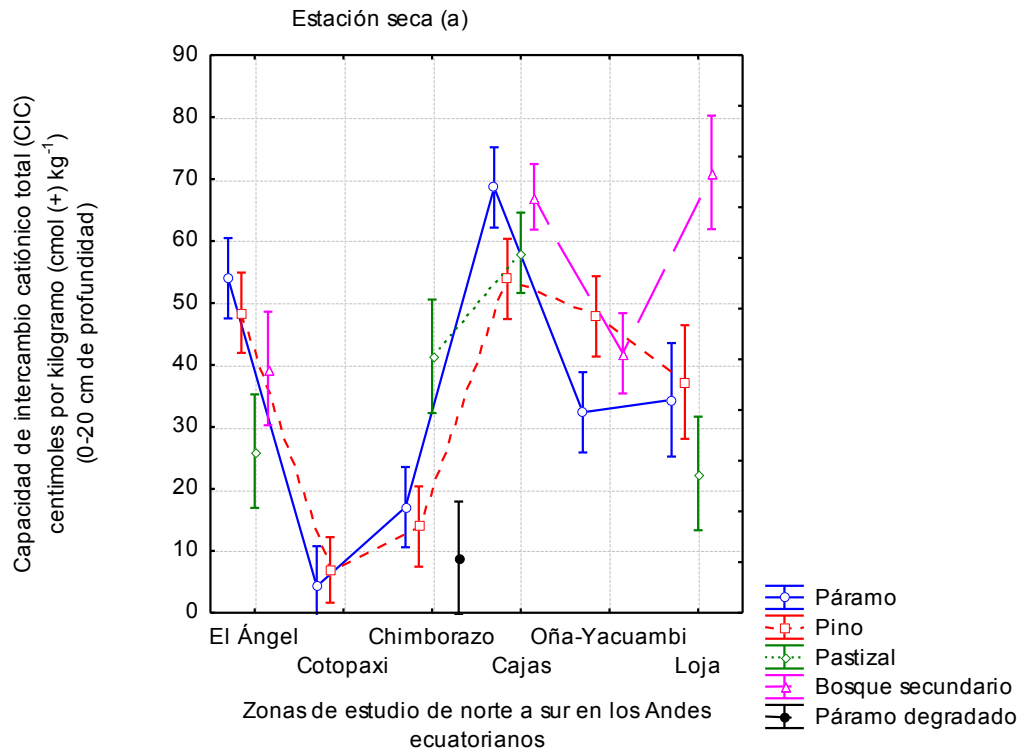


Figura. 4.2.6.1. Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

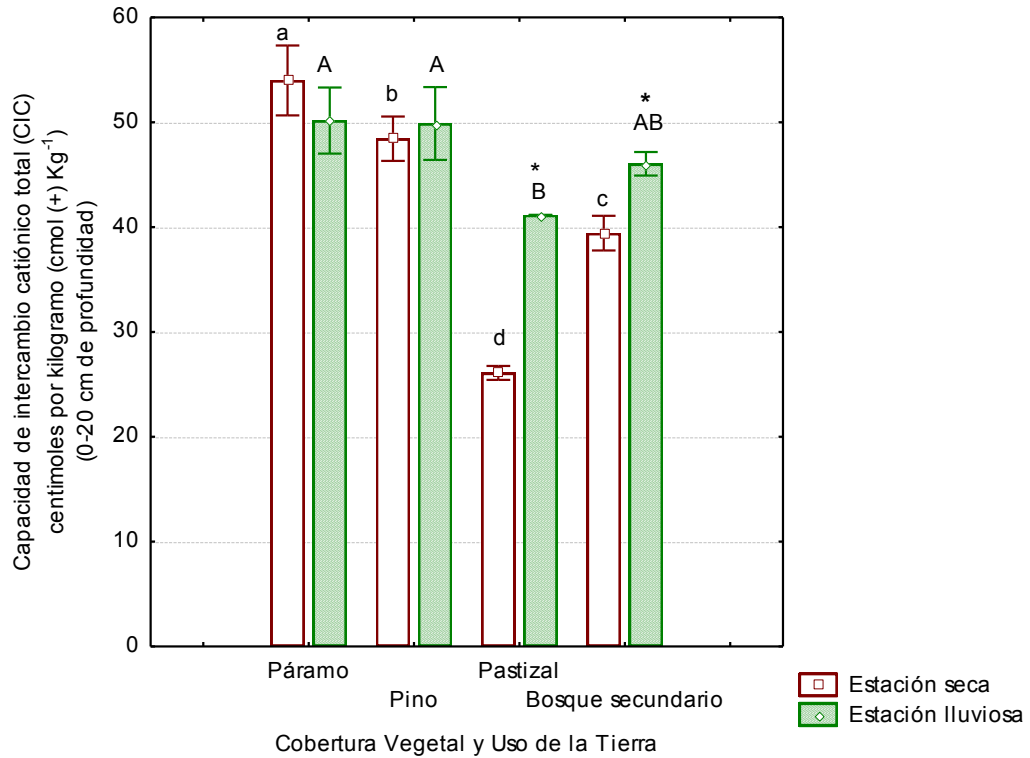


Figura. 4.2.6.2. Capacidad de intercambio catiónico total del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

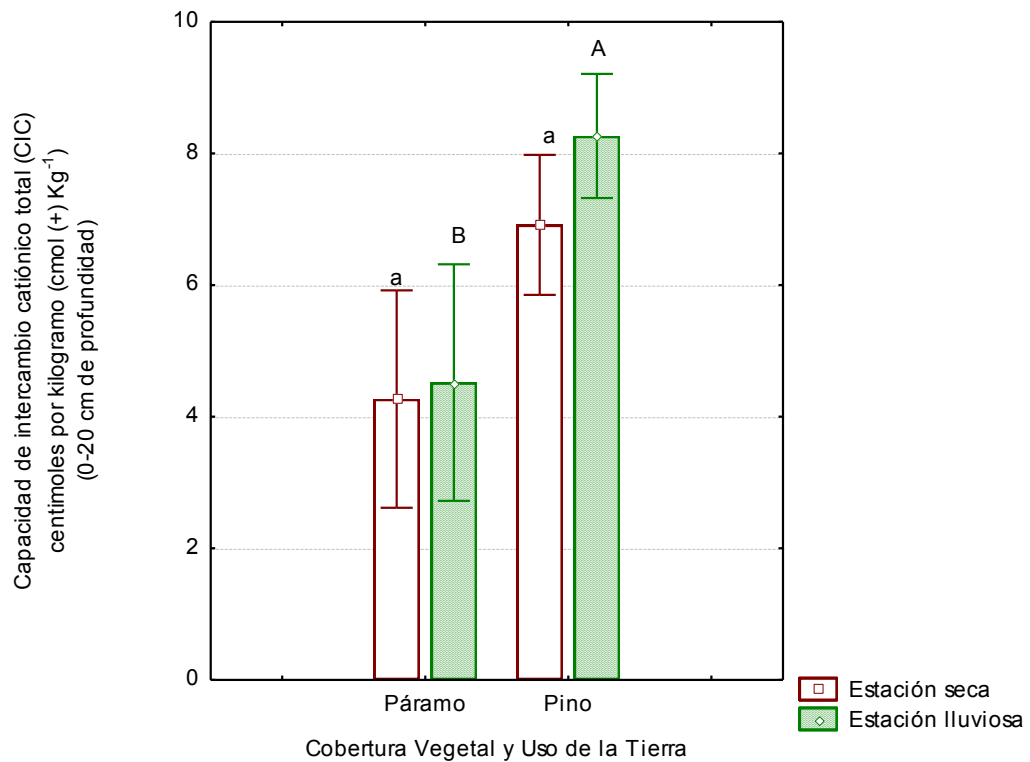


Figura. 4.2.6.3. Capacidad de intercambio catiónico total del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

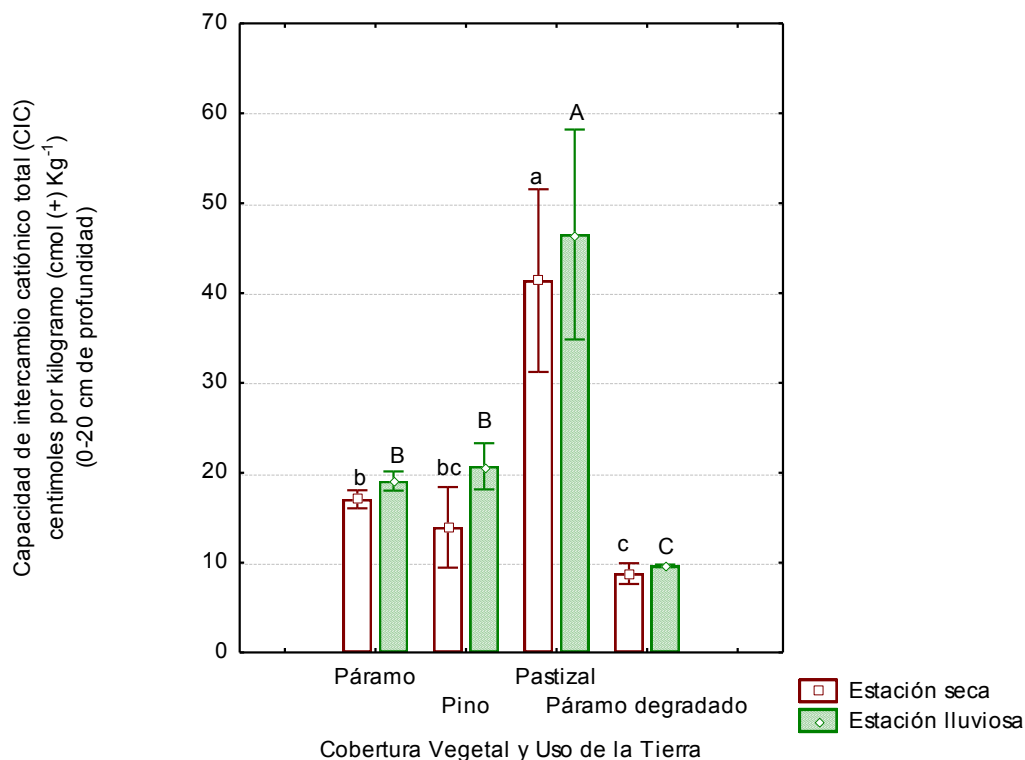


Figura. 4.2.6.4. Capacidad de intercambio catiónico total bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

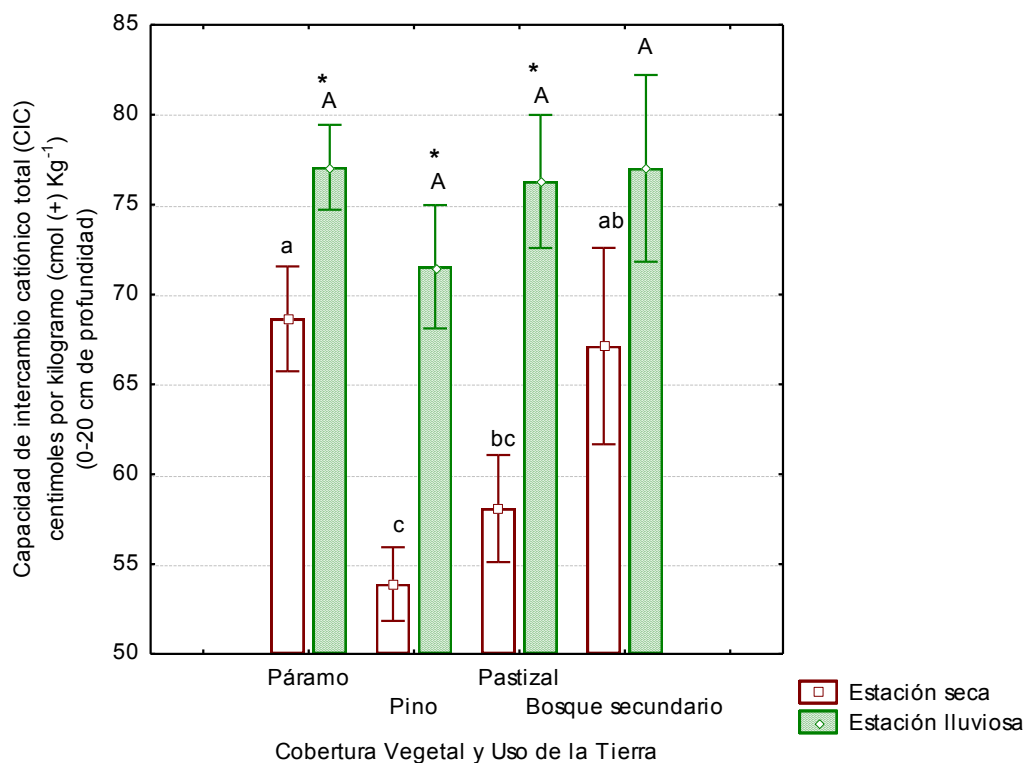


Figura. 4.2.6.5. Capacidad de intercambio catiónico total bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.



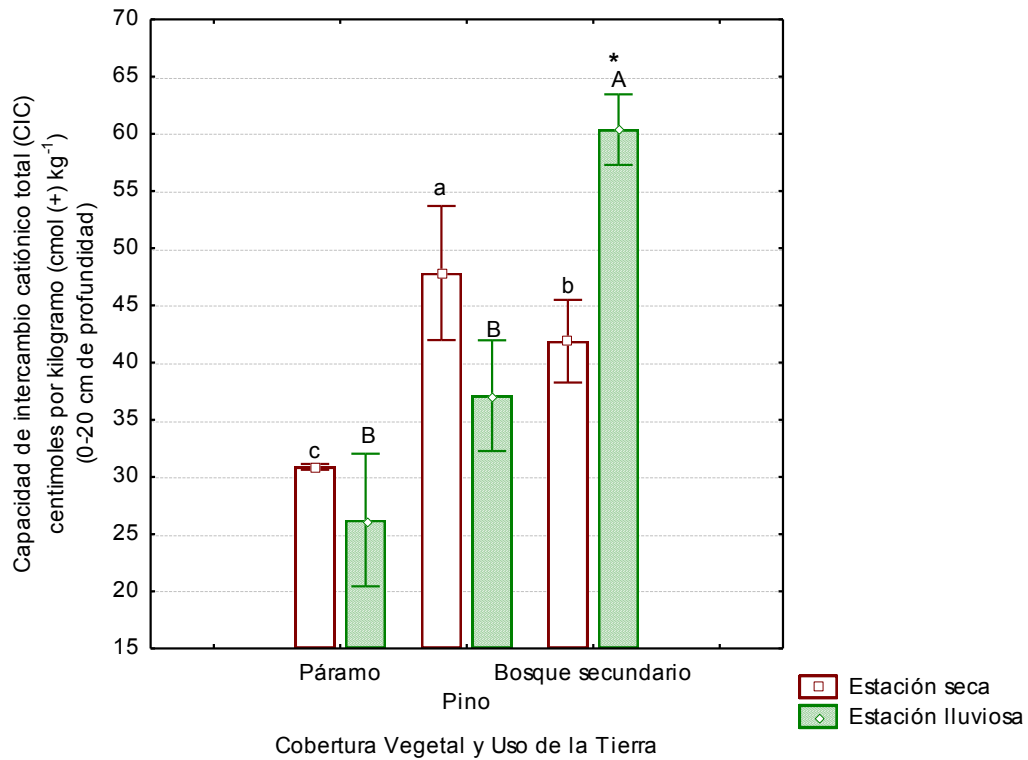


Figura. 4.2.6.6. Capacidad de intercambio catiónico total del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

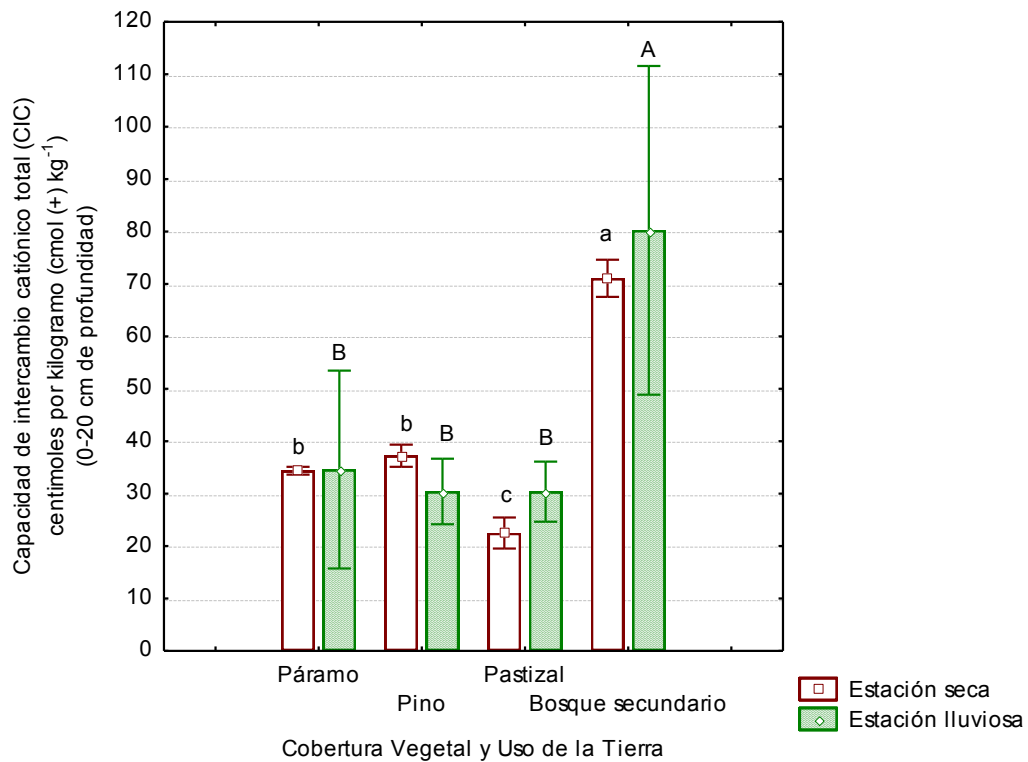


Figura. 4.2.6.7 Capacidad de intercambio catiónico total bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

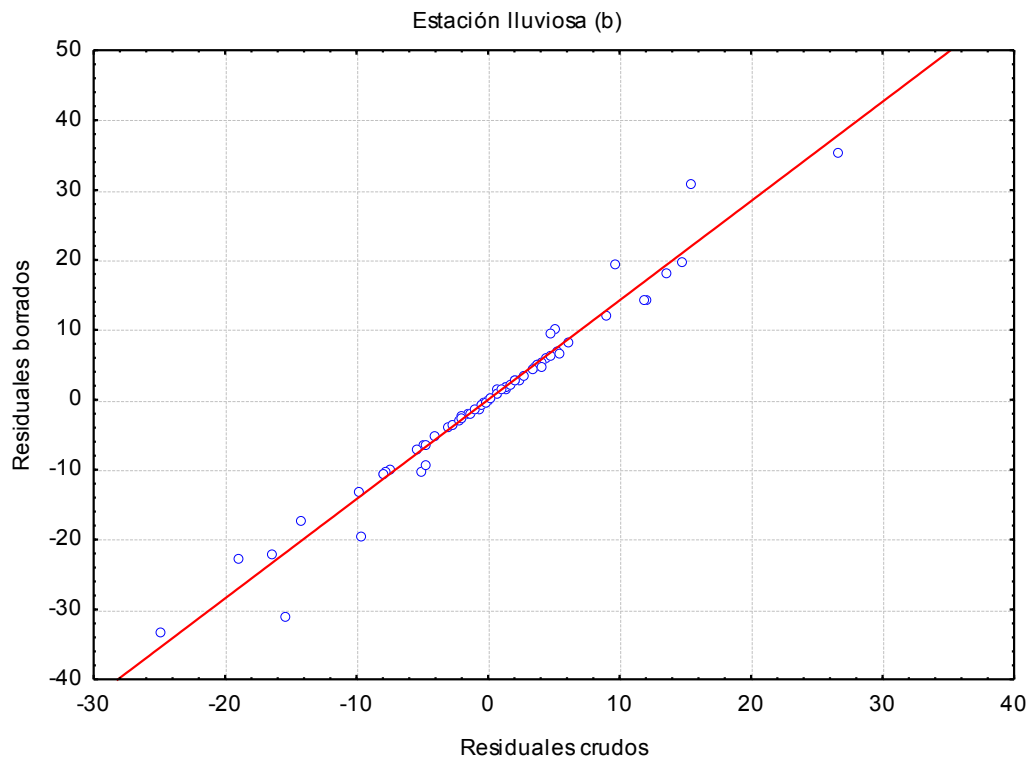
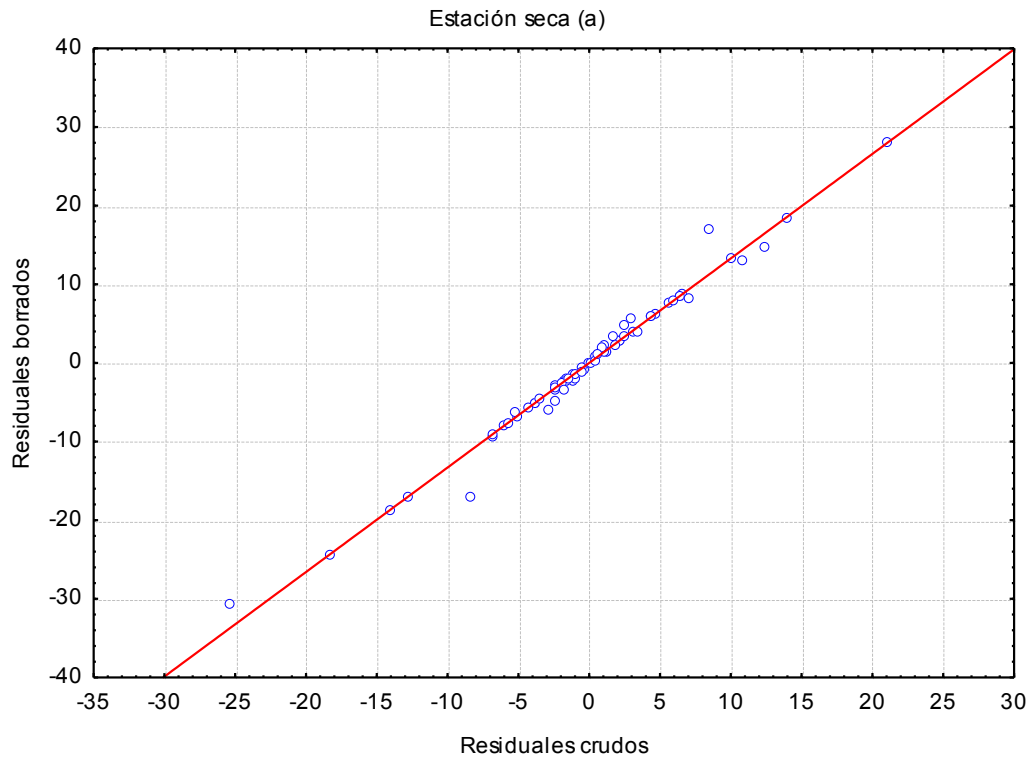


Figura. 4.2.6.8. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de CIC total del suelo para los datos de la estación seca y la lluviosa.

#### 4.2.7. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable Calcio intercambiable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 0,02 y 32,6  $\text{cmol}_c \text{Ca kg}^{-1}$  para la temporada seca, y entre 0,09 y 39,4  $\text{cmol}_c \text{Ca kg}^{-1}$  para la temporada lluviosa (Tabla 4.1.8.1.; Fig. 4.1.8.2.).

Los resultados del *Anova de medidas repetidas con dos factores* indicaron que hubo un efecto significativo del factor estación climática sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (Tabla 4.1.8.2.)

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT en las zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo específicamente en los sitios bajo Pastizal en la zona del Ángel ( $p < 0,05^*$ ); bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) en la zona de Cotopaxi; bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) , Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ) en la zona del Chimborazo; bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ) en la zona del Cajas; bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ) en la zona de Oña-Yacuambi; y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ) en la zona de Loja.

Debido a que el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo varió por efecto de la estación climática se realizó el *Anova con factor anidado* considerando dos cohortes de datos independientes (secas y lluvias) dentro del mismo modelo estadístico.

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio cómo el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (Tabla 4.1.8.3.).

Por su parte, los resultados de la prueba *LSD*, aplicada para evaluar diferencias entre zonas de estudio, indicaron que en la estación seca los sitios de la zona de Chimborazo no tuvieron significativamente mayor  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo que los sitios de la zona del Cajas y de la zona del Ángel (Fig. 4.1.8.2.a); pero sí tuvieron significativamente mayor  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo que los sitios de las demás zonas, es decir, Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ), Oña Yacuambi ( $p < 0,05^*$ ) y Loja ( $p < 0,05^*$ ). Además, los resultados indicaron que el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo en la zona del Cajas también fue significativamente mayor que en las demás zonas, siendo estas, el Ángel ( $p < 0,01^{**}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,01^{**}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ).

En la estación lluviosa los sitios de la zona de Chimborazo no tuvieron significativamente mayor  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo que los sitios de la zona del Cajas (Fig. 4.1.8.2.b); pero sí tuvieron significativamente mayor  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo que los sitios de las demás zonas, es decir, Ángel ( $p < 0,01^{**}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,01^{**}$ ), Oña Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ). Además, los resultados indicaron que el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo en la zona del Cajas también fue significativamente mayor que en las demás zonas, como son el Ángel ( $p < 0,05^*$ ), Cotopaxi ( $p < 0,01^{**}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ).

Mientras que los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo en las zonas Ángel, Chimborazo y Oña-Yacuambi. Todos estos resultados se describen a continuación.

#### Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

En la zona del Ángel el factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (Fig. 4.1.8.3.). En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p = 0,000000^{***}$ ). Mientras que los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa, los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ). Mientras que los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa no existieron diferencias significativas del contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.1.8.4.). Sin embargo, el contenido de  $\text{Ca}^{+}$  intercambiable del suelo bajo Pino fue significativamente mayor en la época de lluvias que en la época seca ( $p < 0,05^*$ ).

#### Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

La CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (Fig. 4.1.8.5.). En la estación seca los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa, los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona Cajas

El  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo estuvo relacionado directamente con la CVUT (Fig. 4.1.8.6.).

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa, los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi.

En la zona de Oña-Yacuambi el factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (Fig. 4.1.8.7.).

En la época seca, los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

Lo mismo ocurrió en la época de lluvias, los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la zona de Loja también el factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (Fig. 4.1.8.8.).

Los resultados posteriores de la prueba *LSD*, indicaron que en la época de seca lo suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayores valores de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable

que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ).

Lo mismo ocurrió en la época de lluvias, los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ).

### Análisis estadísticos previos

La prueba de regresión indicó que los datos de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo tienen linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple*  $R = 0,80$ ;  $F = 4,50$ ;  $p = 0,000007^{***}$ ) como en la lluviosa (*múltiple*  $R = 0,81$ ;  $F = 4,93$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT tienen distribución normal (Fig. 4.1.8.1.) tanto para la temporada seca ( $W = 0,49388$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como para la temporada lluviosa ( $W = 0,61245$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo tienen homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca ( $F = 9,79$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como los de la temporada lluviosa ( $F = 6,57$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.7.1. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                                      |    | Pino  |    | Pastizal                                    |    | Bosque secundario                           |    | Páramo degradado                            |    | Promedio general                            |    |
|--------------|--------------------|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|
|              |                    |    | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 0,46 ± 0,06                                 | c  | 0,42 ± 0,13                                 | c  | 3,07 ± 1,72                                 | b  | 16,28 ± 0,09                                | a  | -   | -  | 5,06 ± 2,53                                 | ab |
|              | Lluviosa           | 12 | 0,98 ± 0,17                                 | C  | 0,91 ± 0,23                                 | C  | *11,18 ± 4,06                               | B  | *19,94 ± 1,19                               | A  | -   | -  | 8,25 ± 3,15                                 | BC |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 1,44 ± 0,59                                 | a  | 2,15 ± 0,28                                 | a  | -   | -  | -   | -  | -   | -  | 1,8 ± 2,67                                  | b  |
|              | Lluviosa           | 10 | 2,84 ± 1,29                                 | A  | *4,79 ± 0,61                                | A  | -   | -  | -   | -  | -   | -  | 3,81 ± 3,32                                 | C  |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 7,46 ± 1,55                                 | b  | 6,54 ± 1,13                                 | b  | 19,62 ± 3,3                                 | a  | -   | -  | 2,73 ± 2,09                                 | b  | 9,09 ± 2,54                                 | ab |
|              | Lluviosa           | 12 | *12,55 ± 2,00                               | B  | *16,84 ± 1,61                               | B  | *37,58 ± 6,39                               | A  | -   | -  | *9,72 ± 0,47                                | B  | 19,17 ± 3,15                                | A  |
| Cajas        | Seca               | 18 | 1,11 ± 0,41                                 | c  | 0,21 ± 0,06                                 | c  | 4,31 ± 1,08                                 | b  | 32,61 ± 10,64                               | a  | -   | -  | 9,56 ± 2                                    | ab |
|              | Lluviosa           | 18 | 1,44 ± 0,43                                 | C  | 0,35 ± 0,25                                 | C  | *11,05 ± 2,1                                | B  | 39,4 ± 13,04                                | A  | -   | -  | 13,06 ± 2,46                                | AB |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 0,13 ± 0,01                                 | b  | 0,1 ± 0,03                                  | b  | -   | -  | 0,34 ± 0,04                                 | a  | -   | -  | 0,19 ± 2,39                                 | b  |
|              | Lluviosa           | 12 | 0,22 ± 0,11                                 | B  | 0,2 ± 0,04                                  | B  | -   | -  | *1,17 ± 0,61                                | A  | -   | -  | 0,53 ± 2,96                                 | C  |
| Loja         | Seca               | 8  | 0,04 ± 0,00                                 | b  | 0,02 ± 0,00                                 | b  | 1,25 ± 0,76                                 | a  | 0,04 ± 0,03                                 | b  | -   | -  | 0,34 ± 2,92                                 | b  |
|              | Lluviosa           | 8  | 0,09 ± 0,08                                 | B  | 0,14 ± 0,11                                 | B  | *3,31 ± 0,34                                | A  | *0,32 ± 0,05                                | B  | -   | -  | 0,96 ± 3,63                                 | C  |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.7.2. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el Ca+ intercambiable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
| Estacionalidad                       | 394                      | 1                         | 394       | 29,3     | 0,000002*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 219                      | 5                         | 44        | 3,25     | 0,012607*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 122                      | 4                         | 31        | 2,28     | 0,073649    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 79                       | 11                        | 7         | 0,53     | 0,871253    |
| Error                                | 686                      | 51                        | 13        |          |             |

Tabla 4.2.7.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el Ca+ intercambiable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Prueba</i> | <i>Valor</i> | <i>F</i> | <i>GL efecto</i> | <i>GL error</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|---------------|--------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Intercepción                    | <i>Wilks</i>  | 0,53         | 21,9     | 2                | 50              | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | <i>Wilks</i>  | 0,55         | 3,5      | 10               | 100             | 0,000595*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | <i>Wilks</i>  | 0,34         | 2,4      | 30               | 100             | 0,000662*** |

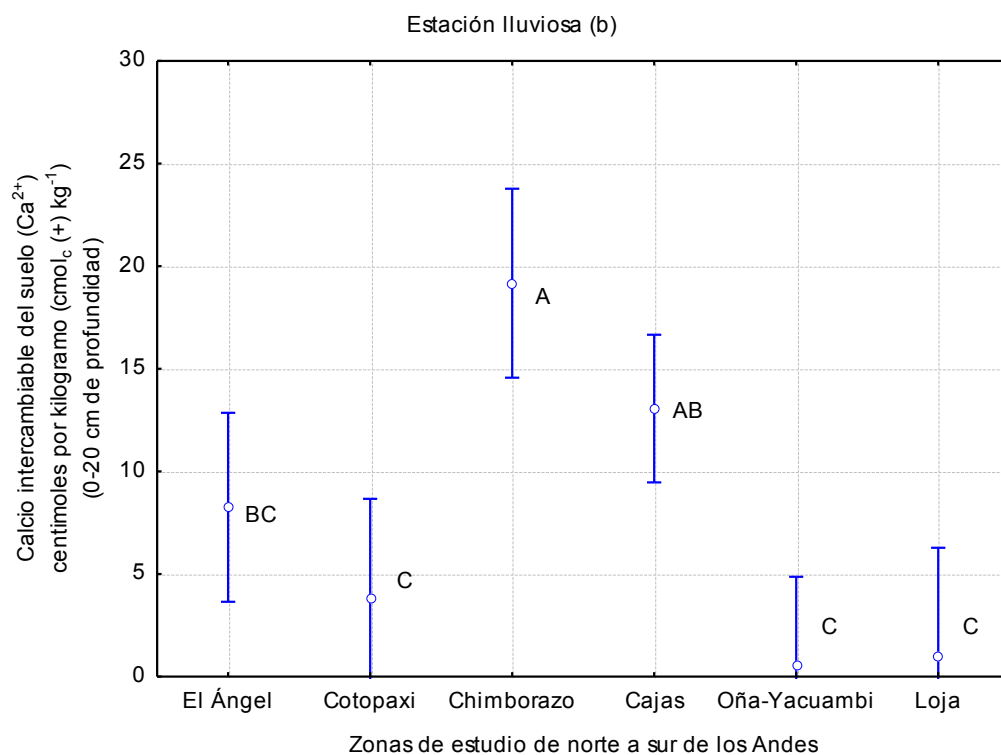
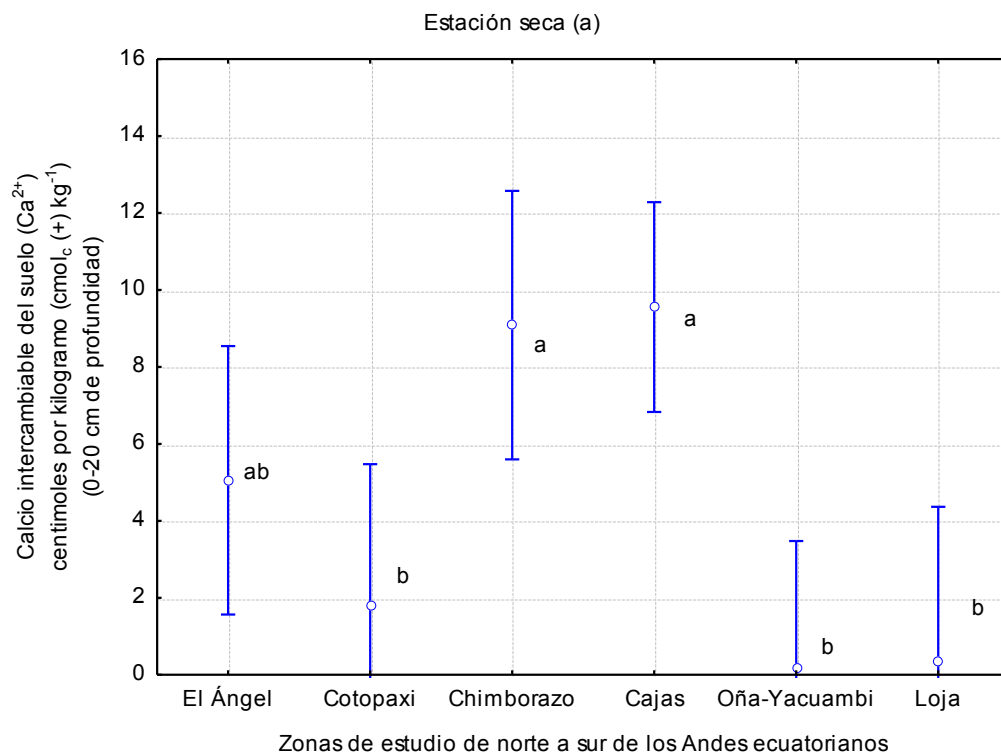


Figura 4.2.7.1. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.



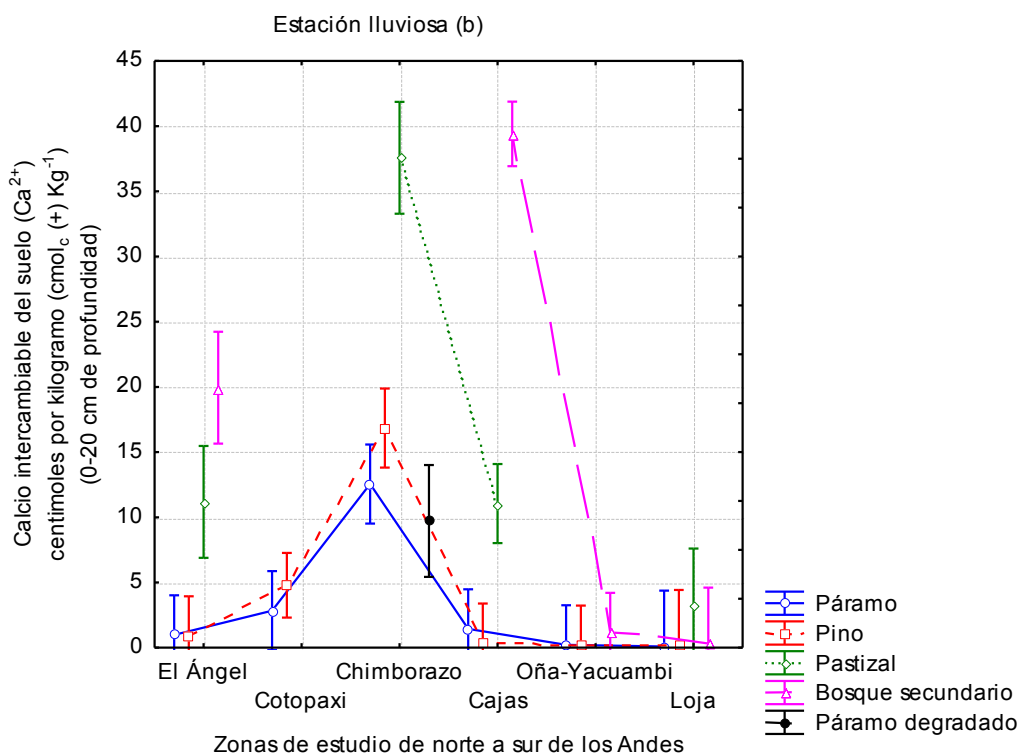
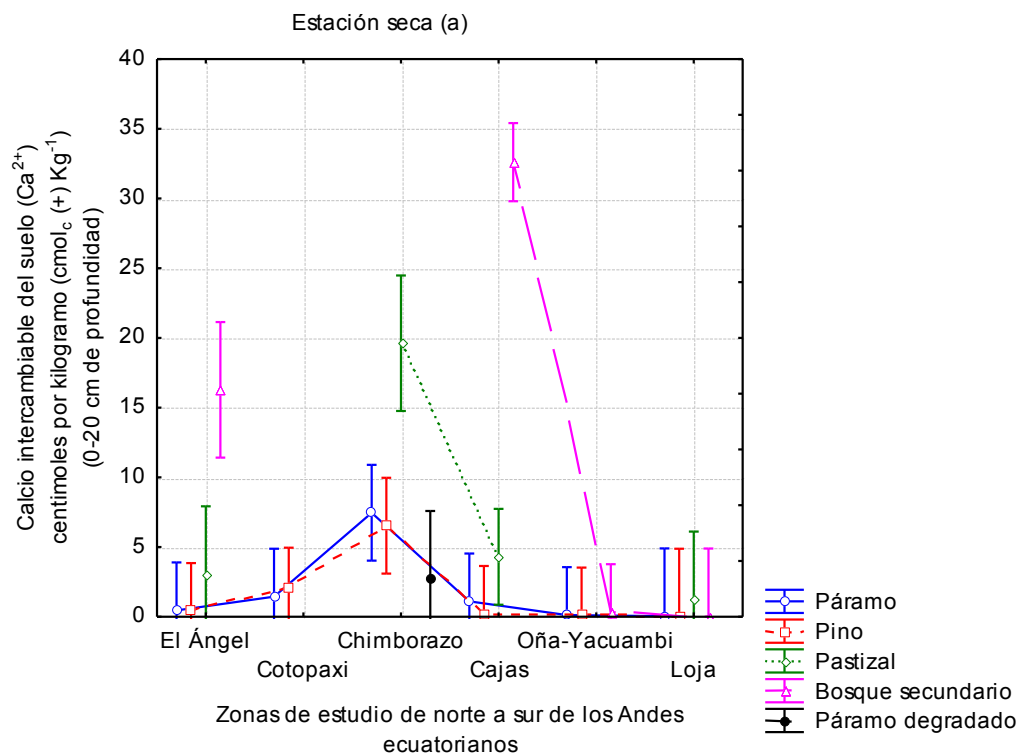


Figura 4.2.7.2. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

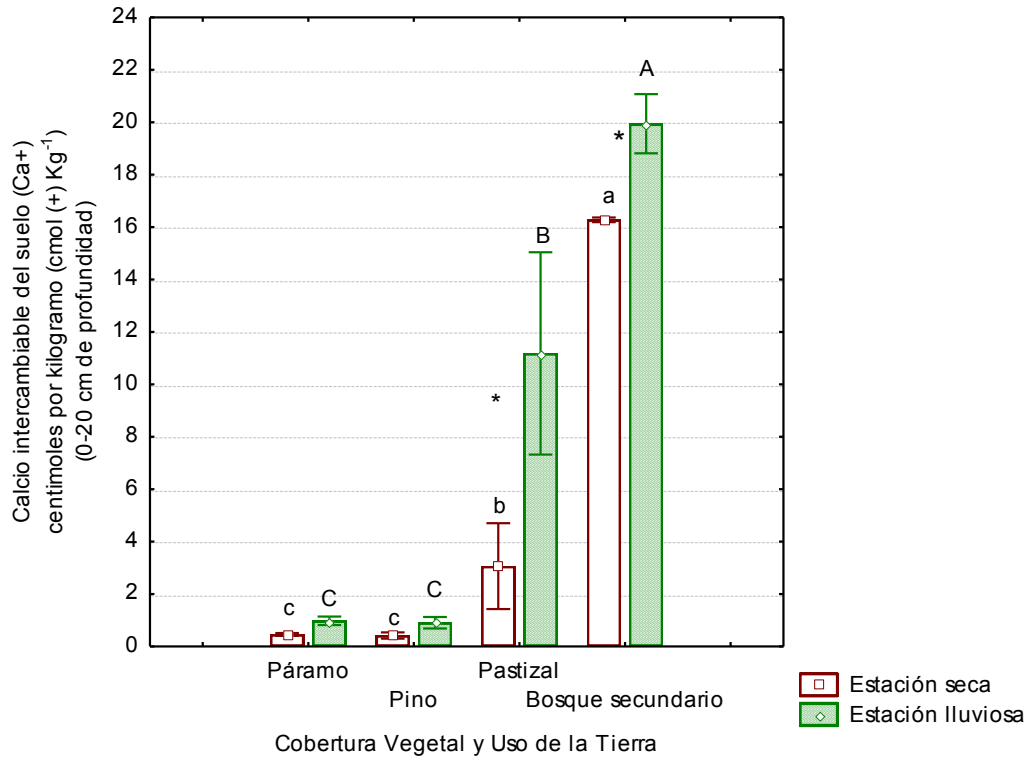


Figura 4.2.7.3. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

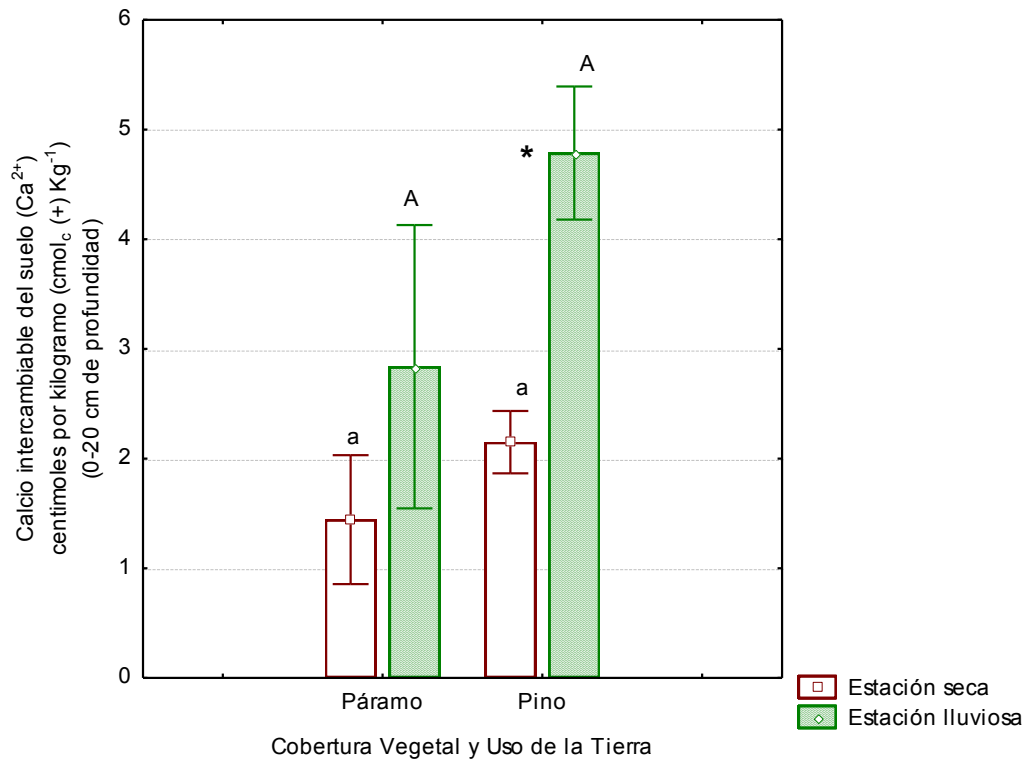


Figura 4.2.7.4. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

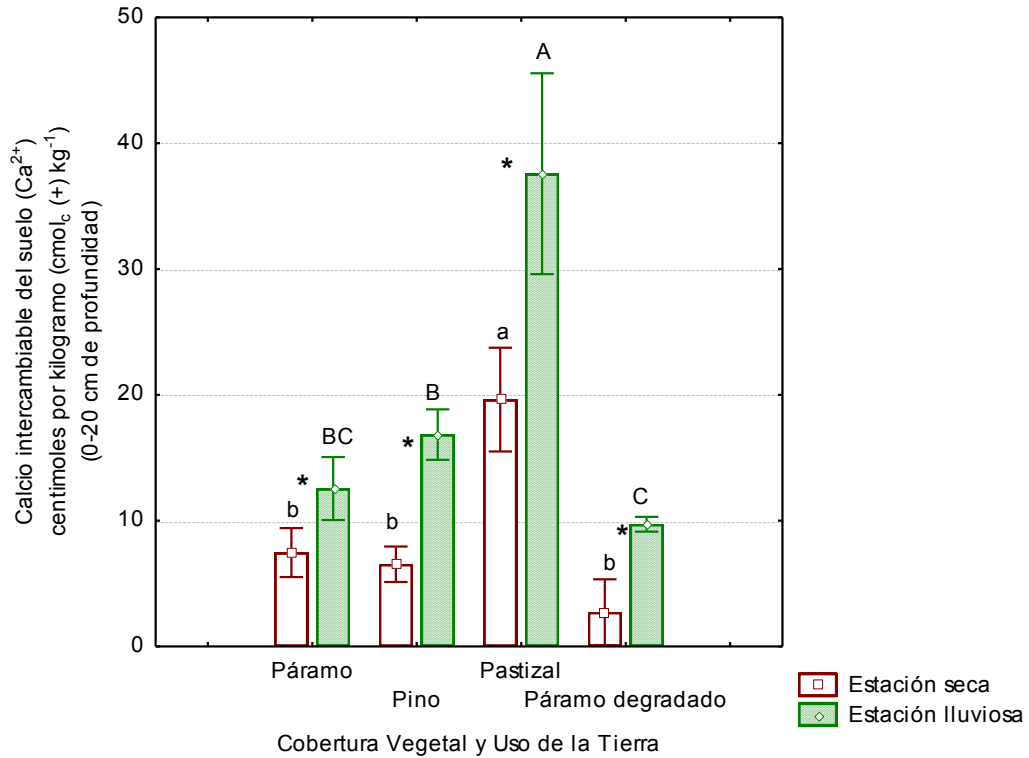


Figura 4.2.7.5. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

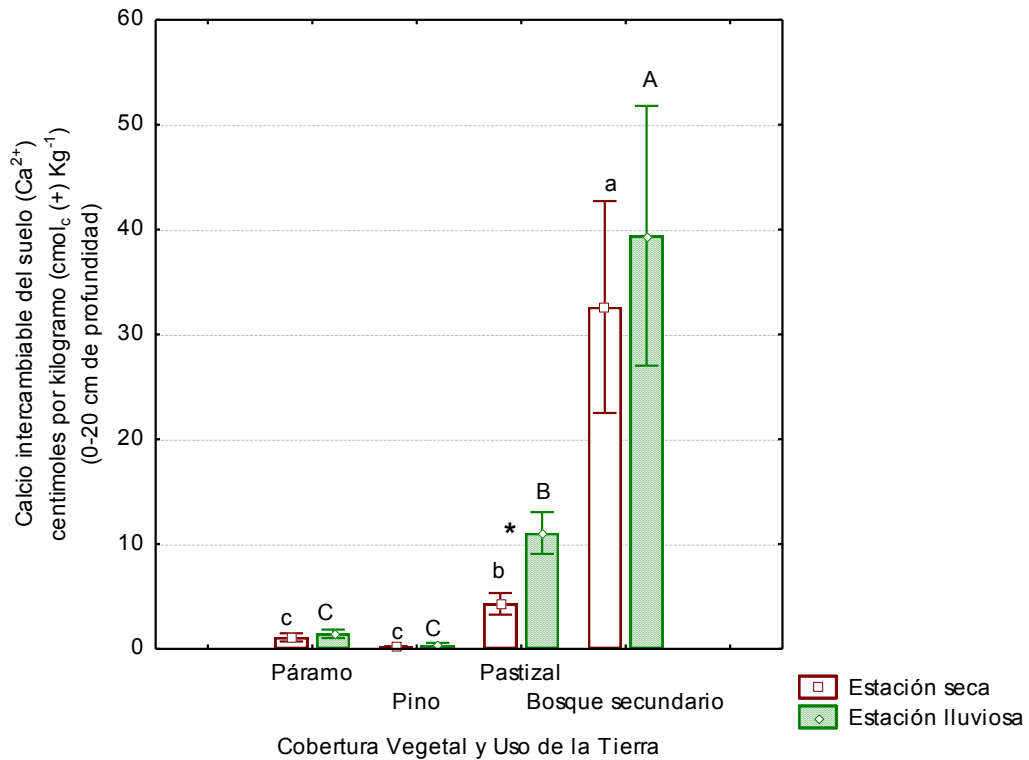


Figura 4.2.7.6. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

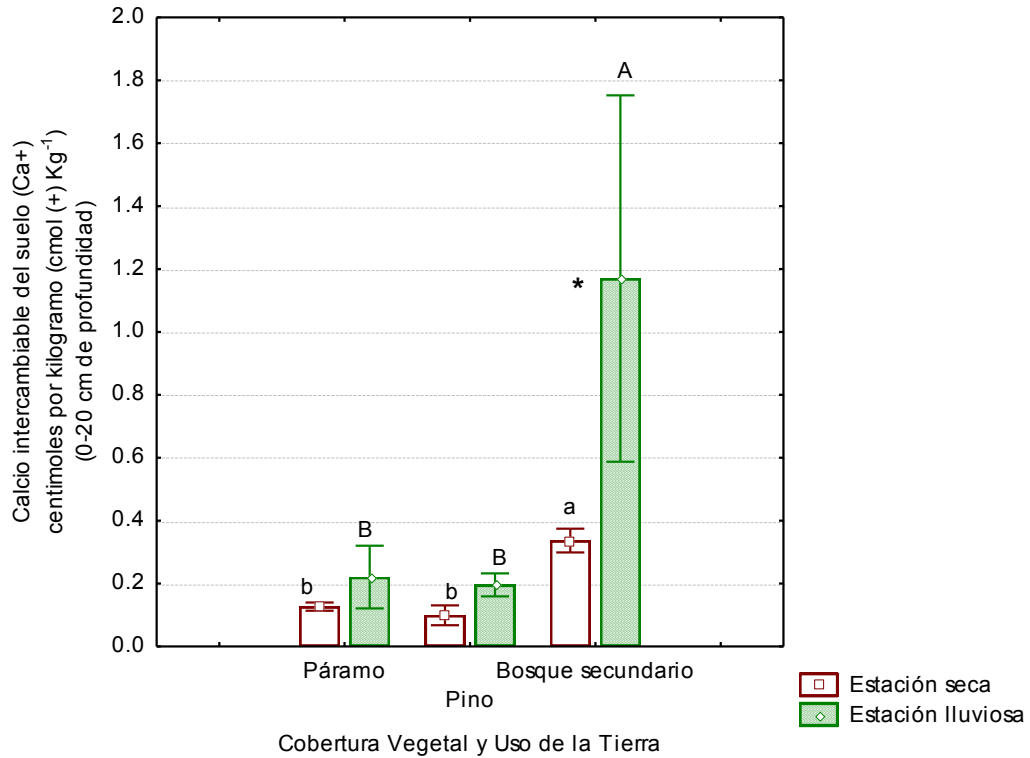


Figura 4.2.7.7. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

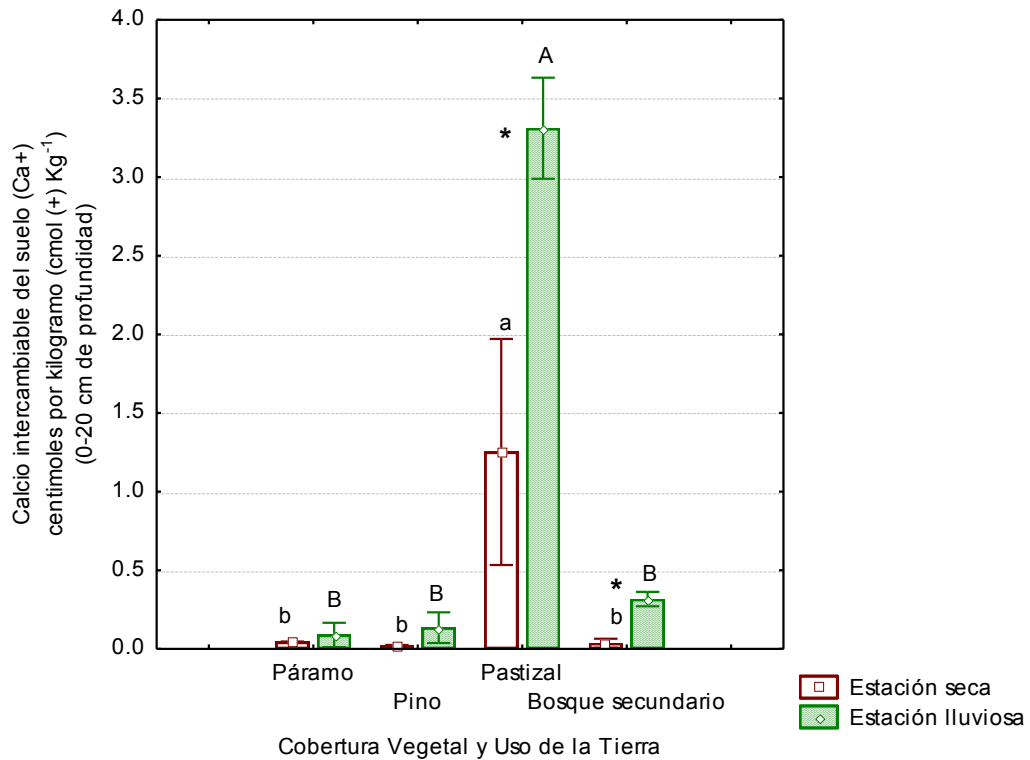


Figura 4.2.7.8. Calcio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

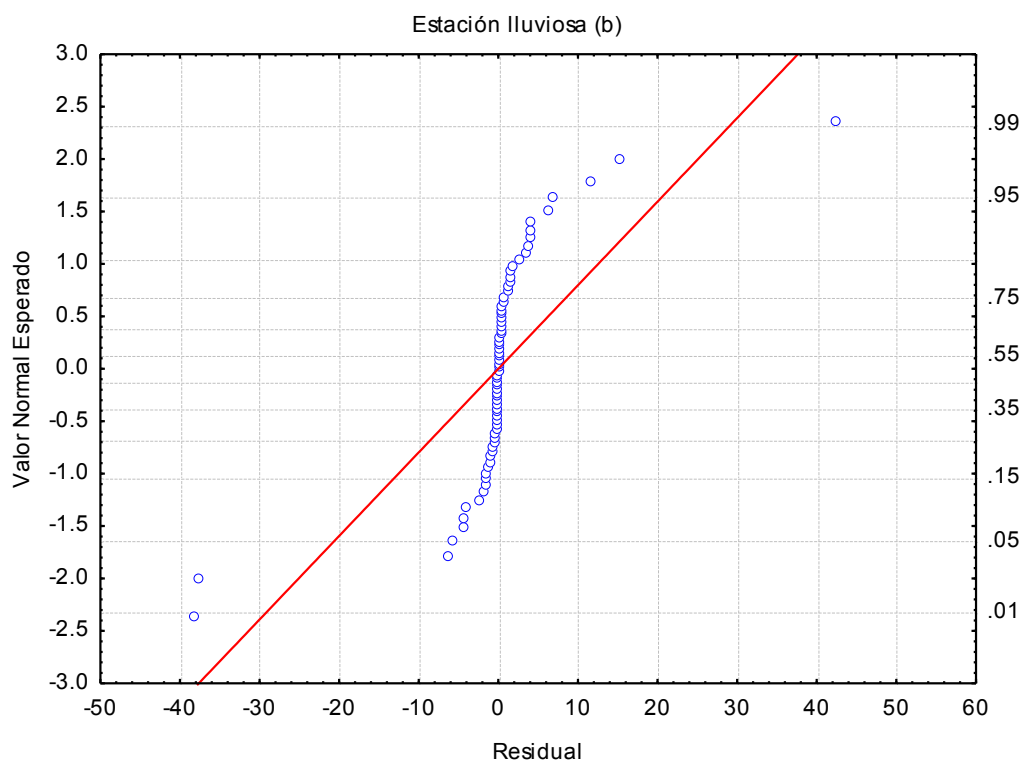
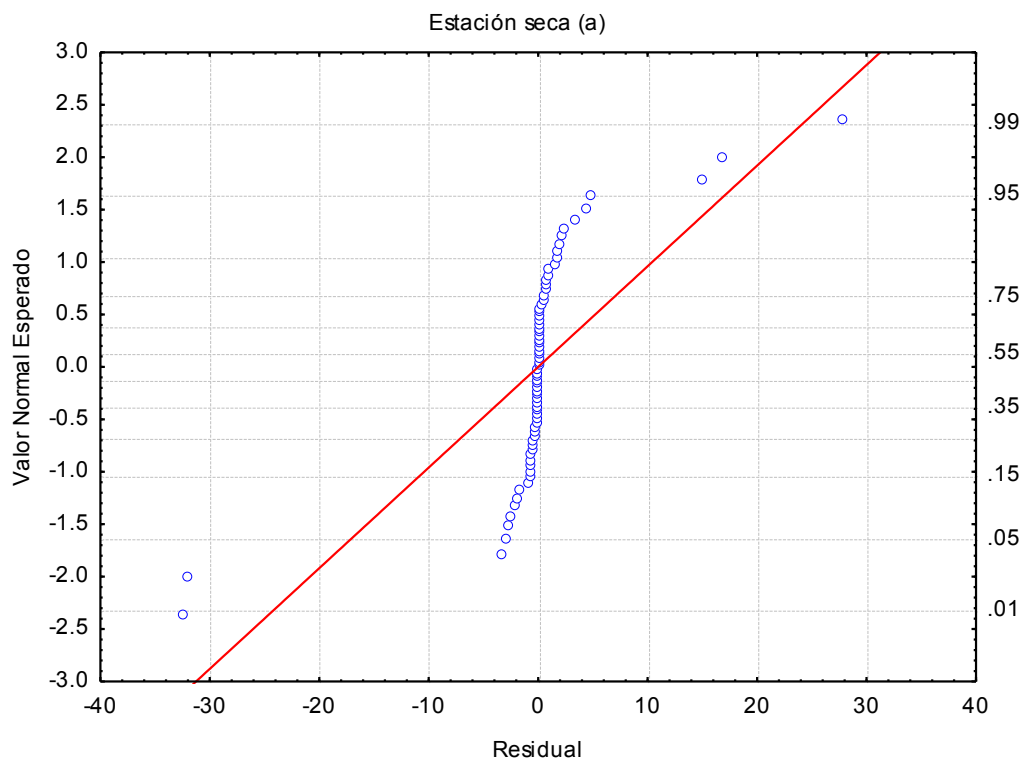


Figura 4.2.7.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales del  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo para los datos de la estación seca y la lluviosa.

#### 4.2.8. Efecto del factor CVUT sobre la variable Magnesio intercambiable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo (0 - 20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 0,17 y 7,81  $cmol_c\ kg^{-1}$  para la estación seca, y entre 0,3 y 13,6  $cmol_c\ kg^{-1}$  para la estación lluviosa (Tabla 4.2.8.1.).

Según los resultados del *Anova de medidas repetidas con dos factores* existieron diferencias significativas del  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo por efecto de la estación climática, y además, también este factor tuvo efecto significativo en interacción con los factores Zona de estudio y CVUT

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT en las diferentes zonas de estudio, indicaron que esta tuvo efectos significativos sobre el  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo en los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ) en la zona del Ángel; bajo Paramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) en el Chimborazo; bajo Bosque secundario en la zona del Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ); bajo Bosque secundario en Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ); y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona de Loja.

Debido a que la variable  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo vario significativamente con la estación climática, en el *Anova con factor anidado* se considero dos cohortes independientes de datos (secas y lluvias) dentro del modelo estadístico.

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como también el factor anidado CVUT tuvieron efectos significativos sobre la variable  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo (Tabla 4.1.9.2.; Fig. 4.1.9.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para ver los efectos de la zona de estudio, indicaron que en la estación seca la zona del Chimborazo tuvo significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo que las demás zonas, las cuales son: el Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ). También indicaron, que la zona del Ángel tuvo significativamente mayor  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo que la zona del Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ) y de Oña-Yacuambi ( $p < 0,005^{***}$ ); y además indicaron, que la zona del Cajas también tuvo significativamente mayor  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo que la zona de Cotopaxi ( $p < 0,01^{**}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la temporada lluviosa la zona del Chimborazo tuvo significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo que las demás zonas, Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ),

Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ). Sin embargo, en esta temporada la zona del Cajas solo tuvo significativamente mayor  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo que la zona del Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ).

Mientras que los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicados para evaluar el efecto del factor anidado CVUT sobre la variable  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo, indicaron que hubo efectos significativos específicamente dentro de las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos los resultados se describen a continuación.

#### *Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

En las dos estaciones el  $Mg^{2+}$  intercambiable estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.8.3.).

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ).

Por su parte, en la estación lluviosa los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ). Mientras que los suelos bajo Bosque secundario también tuvieron significativamente mayor  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

En esta zona, solo los suelos bajo Pastizal presentaron diferencias significativas por efectos de la estacionalidad, siendo mayor en lluvias.

#### *Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi*

Tanto en la estación climática seca como en la lluviosa la CVUT no tuvo un efecto significativo sobre el contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo (Fig. 4.2.8.4.).

#### *Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo*

En las parcelas de la zona del Chimborazo el  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo estuvo influenciado por la CVUT (Fig 4.2.8.5.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). Además también los suelos bajo Páramo degradado presentaron significativamente menor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte en la estación lluviosa los suelos bajo Páramo degradado tuvieron significativamente menor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Pino ( $p<0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ).

#### Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

En esta zona también la CVUT mostro tener una influencia significativa sobre el  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.8.6.).

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p<0,001^{***}$ ), Pino ( $p<0,001^{***}$ ) y Pastizal ( $p<0,05^*$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  que los suelos bajo Páramo ( $p<0,001^{***}$ ), Pino ( $p<0,001^{***}$ ) y Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ).

#### Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En la zona de Oña-Yacuambi el factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo solo en una estación climática (Fig. 4.2.8.7.).

En la estación seca no existieron diferencias significativas del contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo asociadas a la CVUT; mientras que su parte en la estación lluviosa, los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p<0,01^{**}$ ) y bajo Pino ( $p<0,01^{**}$ ).

#### Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la zona de Loja en las dos estaciones climáticas el  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo estuvo fuertemente influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.8.8.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p<0,01^{**}$ ), bajo Pino ( $p<0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $Mg^{2+}$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p<0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p<0,005^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,005^{***}$ ).



### Análisis estadísticos previos

La prueba de regresión indicó que los datos de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,94; *F* = 20,19; *p* < 0,001\*\*\*) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,85; *F* = 6.40; *p* < 0,001\*\*\*)).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT tienen distribución normal (Fig. 4.2.8.9.) tanto para la temporada seca (*W* = 0,63145; *p* < 0,001\*\*\*) cómo para la temporada lluviosa (*W* = 0,78144; *p* < 0,001\*\*\*)).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos de  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo tienen homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca (*F* = 5,86; *p* < 0,001\*\*\*) como los de la temporada lluviosa (*F* = 5,87; *p* < 0,001\*\*\*)).

Tabla 4.2.8.1. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                                      |    | Pino  |    | Pastizales                                  |    | Bosque secundario                           |    | Páramo degradado                            |    | Promedio general                            |    |
|--------------|--------------------|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|
|              |                    |    | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 0,38 ±0,02 b                                |    | 0,34 ±0,05 b                                |    | 0,45 ±0,37 b                                |    | 4,63 ±0,01 a                                |    | -   | -  | 1,45 ±0,2 b                                 |    |
|              | Lluviosa           | 12 | 0,55 ±0,05 B                                |    | 0,45 ±0,02 B                                |    | *2,92 ±0,13 A                               |    | 2,99 ±1,74 A                                |    | -   | -  | 1,73 ±0,45 BC                               |    |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 0,36 ±0,17 a                                |    | 0,53 ±0,06 a                                |    | -   |    | -   |    | -   | -  | 0,44 ±0,2 c                                 |    |
|              | Lluviosa           | 10 | 0,62 ±0,32 A                                |    | *1,16 ±0,23 A                               |    | -   |    | -   |    | -   | -  | 0,89 ±0,47 C                                |    |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 2,26 ±0,23 b                                |    | 1,76 ±0,34 b                                |    | 7,81 ±0,87 a                                |    | -   |    | 0,41 ±0,4 c                                 |    | 3,06 ±0,2 a                                 |    |
|              | Lluviosa           | 12 | *4,35 ±0,65 B                               |    | *5,23 ±0,43 B                               |    | *13,59 ±1,04 A                              |    | -   |    | *2,06 ±0,07 C                               |    | 6,31 ±0,45 A                                |    |
| Cajas        | Seca               | 18 | 0,48 ±0,13 c                                |    | 0,28 ±0,02 c                                |    | 1,13 ±0,37 b                                |    | 2,19 ±0,65 a                                |    | -   | -  | 1,02 ±0,15 b                                |    |
|              | Lluviosa           | 18 | 0,73 ±0,14 C                                |    | 0,49 ±0,05 C                                |    | 1,53 ±0,17 B                                |    | *5,19 ±1,39 A                               |    | -   | -  | 1,99 ±0,35 B                                |    |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 0,3 ±0,07 a                                 |    | 0,27 ±0,01 a                                |    | -   |    | 0,41 ±0,11 a                                |    | -   | -  | 0,33 ±0,17 c                                |    |
|              | Lluviosa           | 12 | 0,4 ±0,11 B                                 |    | 0,4 ±0,07 B                                 |    | -   |    | *3,18 ±1,35 A                               |    | -   | -  | 1,33 ±0,4 BC                                |    |
| Loja         | Seca               | 8  | 0,17 ±0,01 c                                |    | 0,19 ±0,02 c                                |    | 1,84 ±0,33 a                                |    | 0,49 ±0,16 b                                |    | -   | -  | 0,67 ±0,21 bc                               |    |
|              | Lluviosa           | 8  | 0,35 ±0,22 B                                |    | 0,29 ±0,01 B                                |    | *5,21 ±1,46 A                               |    | 0,72 ±0,01 B                                |    | -   | -  | 1,64 ±0,52 BC                               |    |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.8.2. Efecto de la estación climática sobre el  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
| Estacionalidad                       | 47                       | 1                         | 47        | 60,97    | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 22                       | 5                         | 4         | 5,69     | 0,000302*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 21                       | 4                         | 5         | 6,91     | 0,000159*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 28                       | 11                        | 3         | 3,35     | 0,001566*** |
| Error                                | 39                       | 51                        | 1         |          |             |

Tabla 4.2.8.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Prueba</i> | <i>Valor</i> | <i>F</i> | <i>GL efecto</i> | <i>GL error</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|---------------|--------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Intercepción                    | Wilks         | 0,15         | 141,4    | 2                | 50              | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | Wilks         | 0,2          | 12,3     | 10               | 100             | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | Wilks         | 0,07         | 9,3      | 30               | 100             | 0,000000*** |

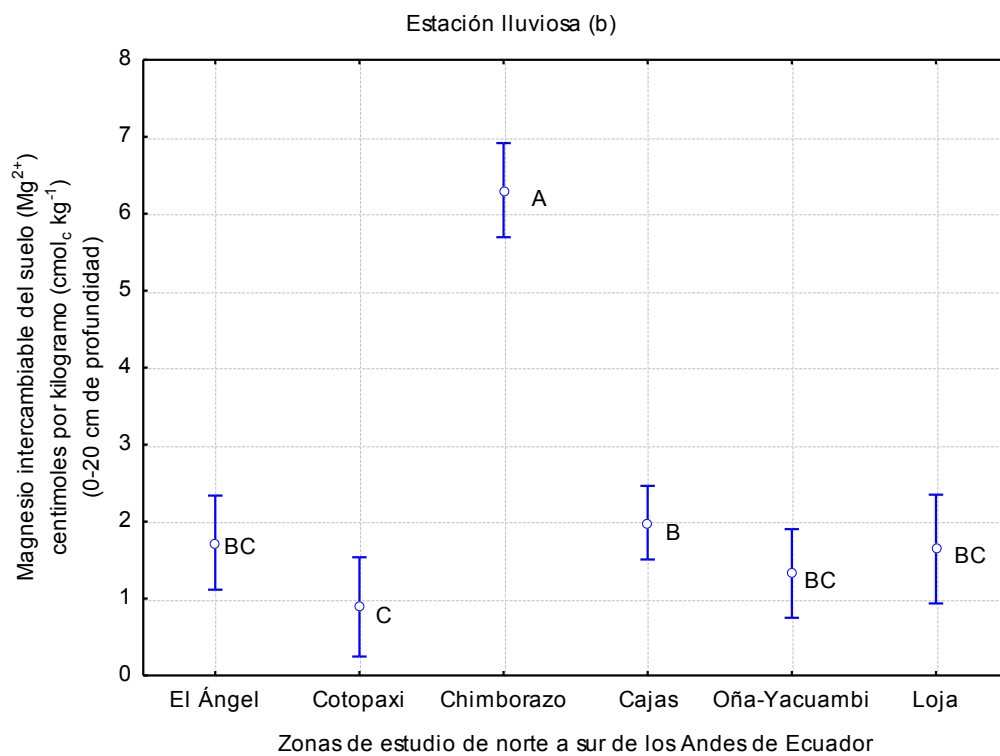
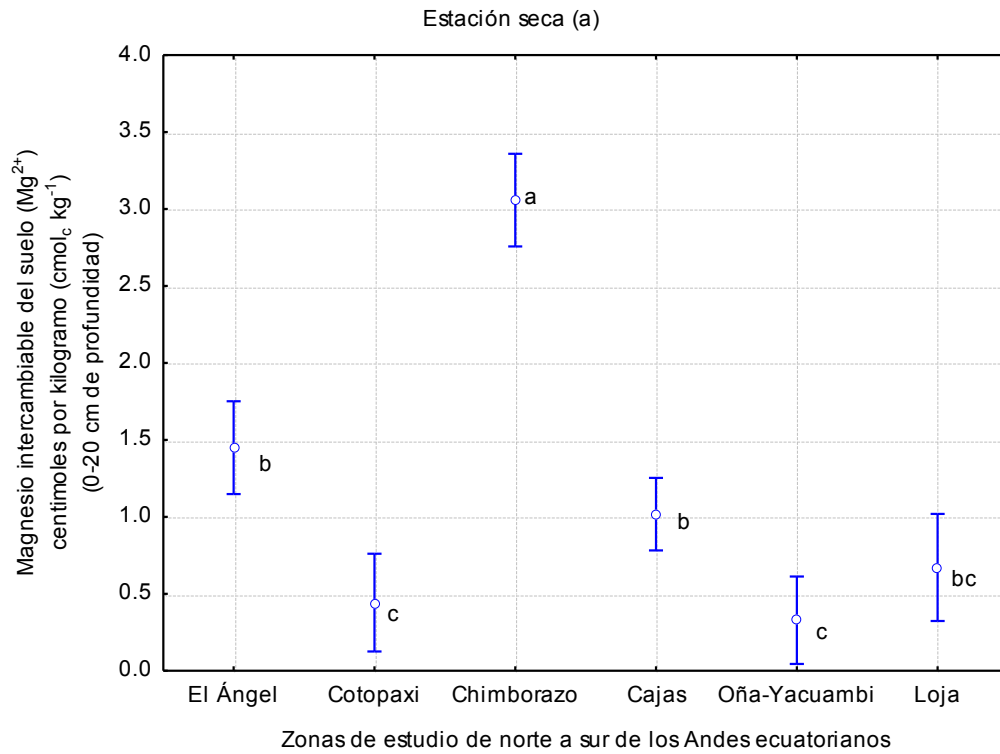


Figura 4.2.8.1. Magnesio intercambiable del suelo de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

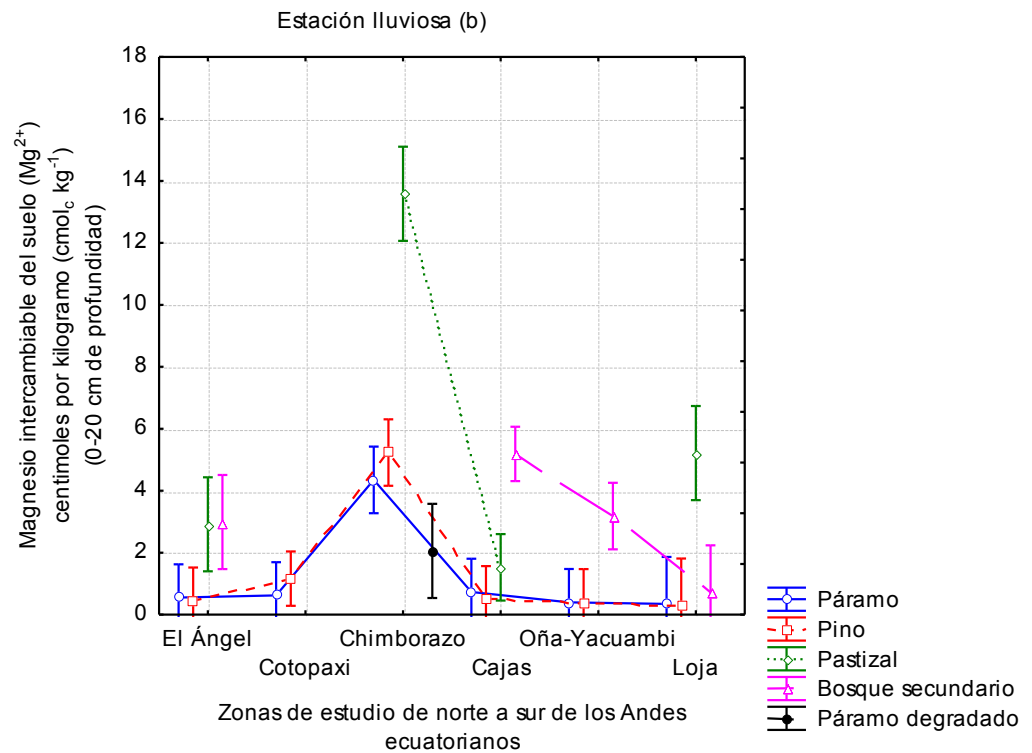
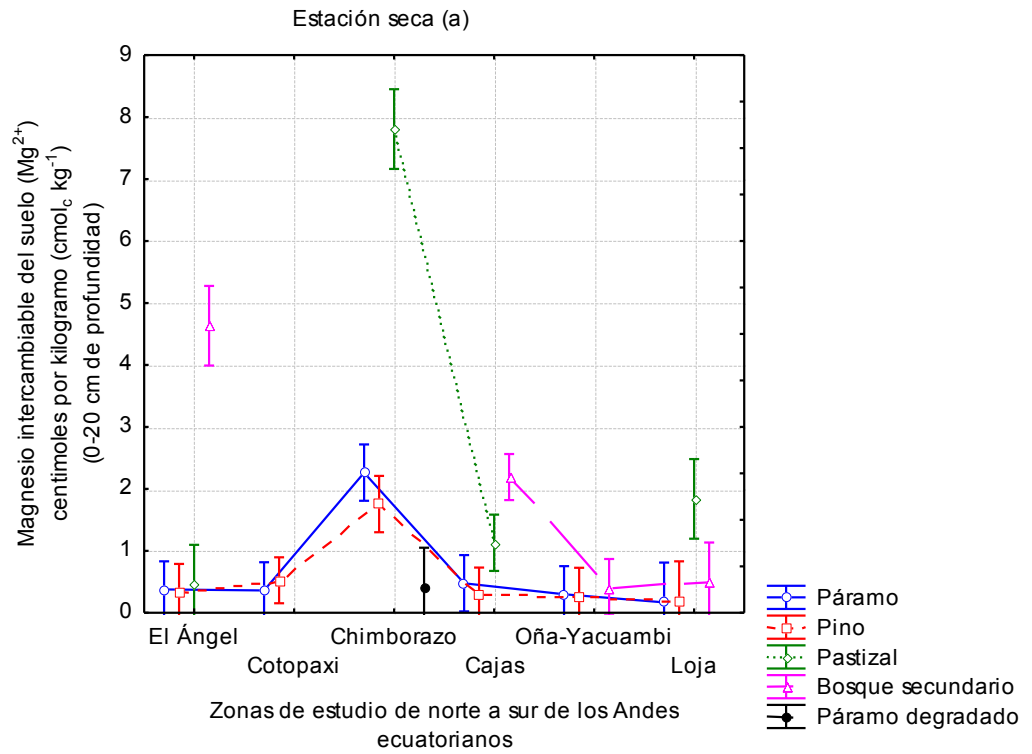


Figura 4.2.8.2. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

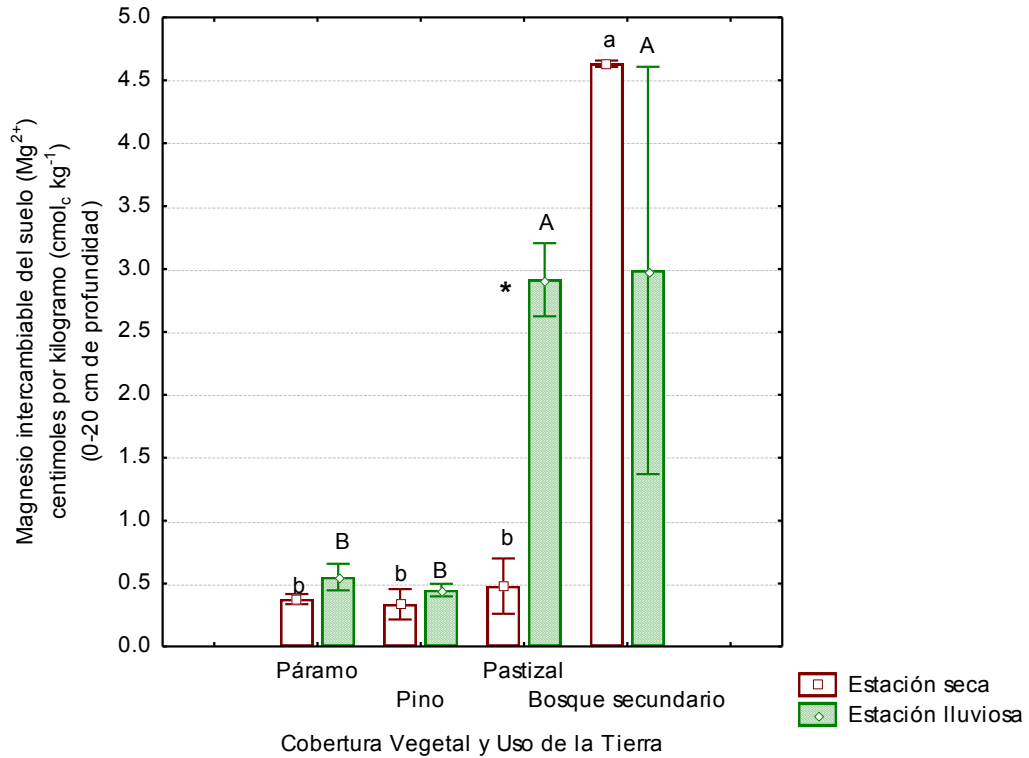


Figura 4.2.8.3. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

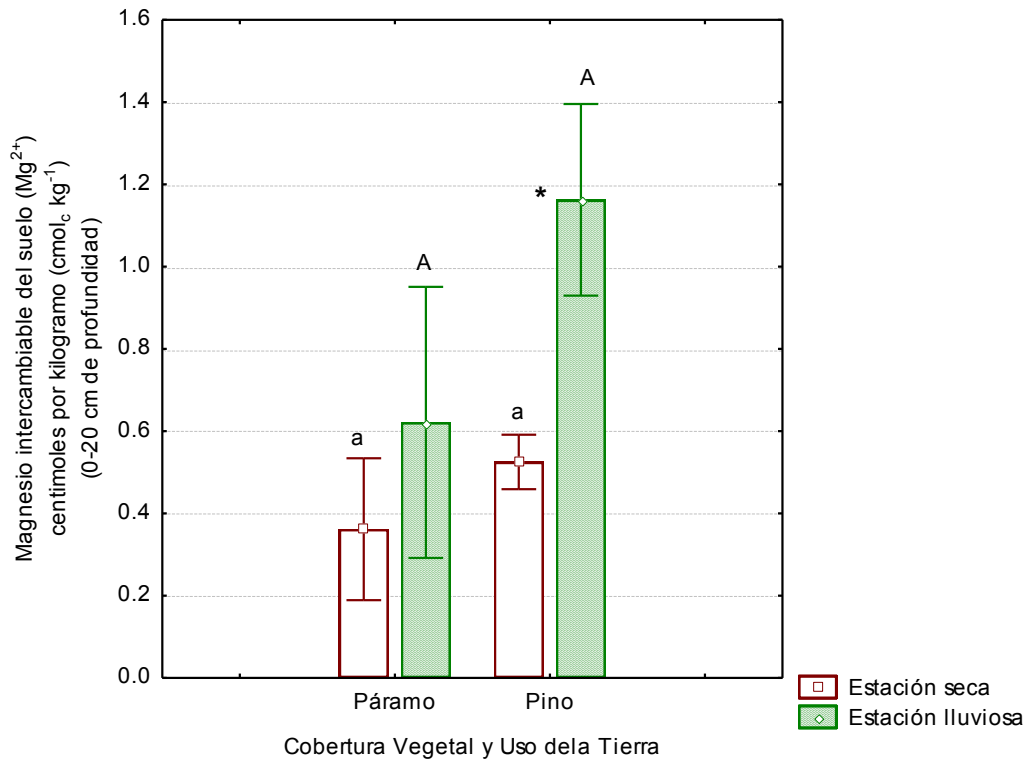


Figura 4.2.8.4. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

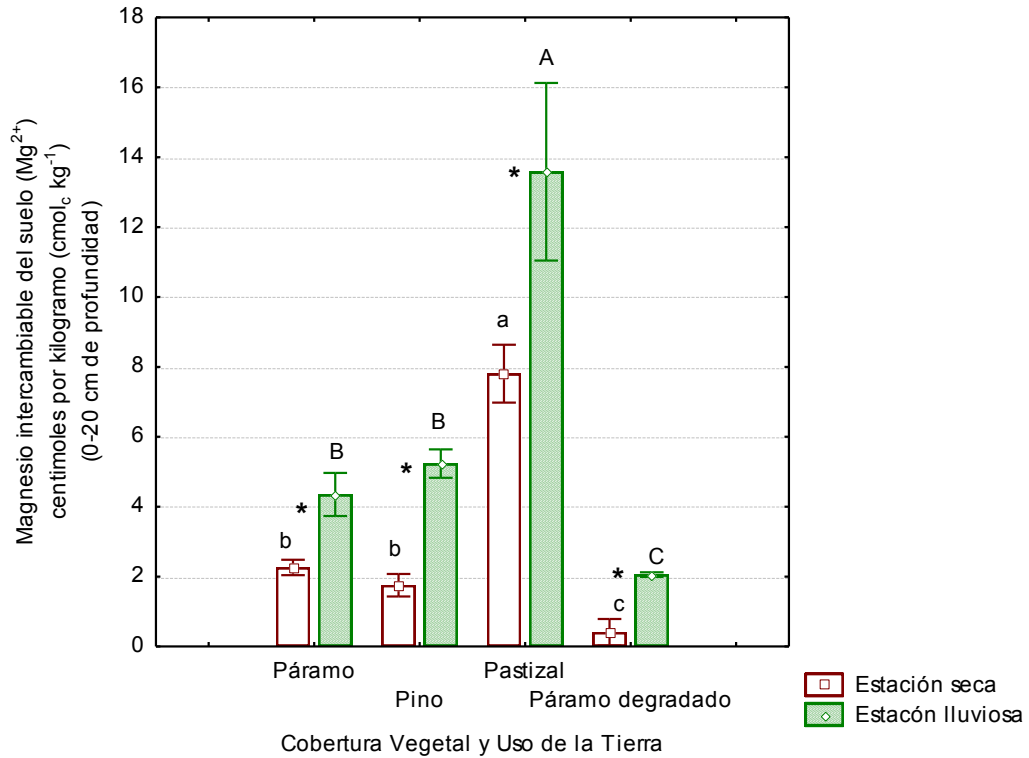


Figura 4.2.8.5. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

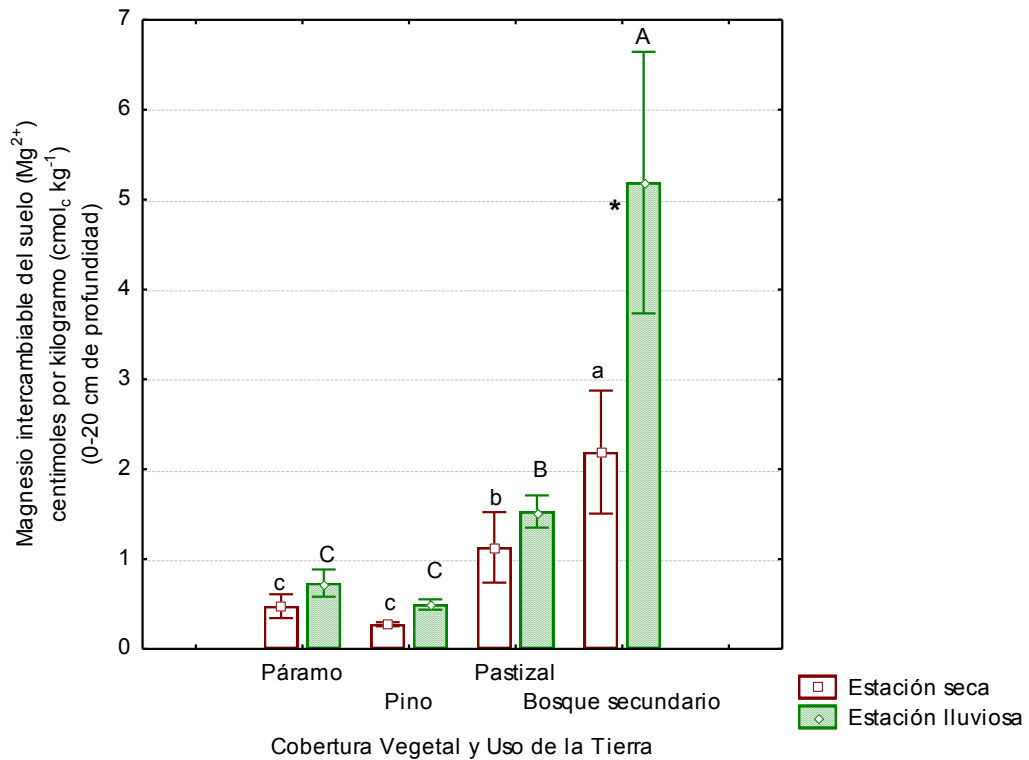


Fig. 4.2.8.6. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

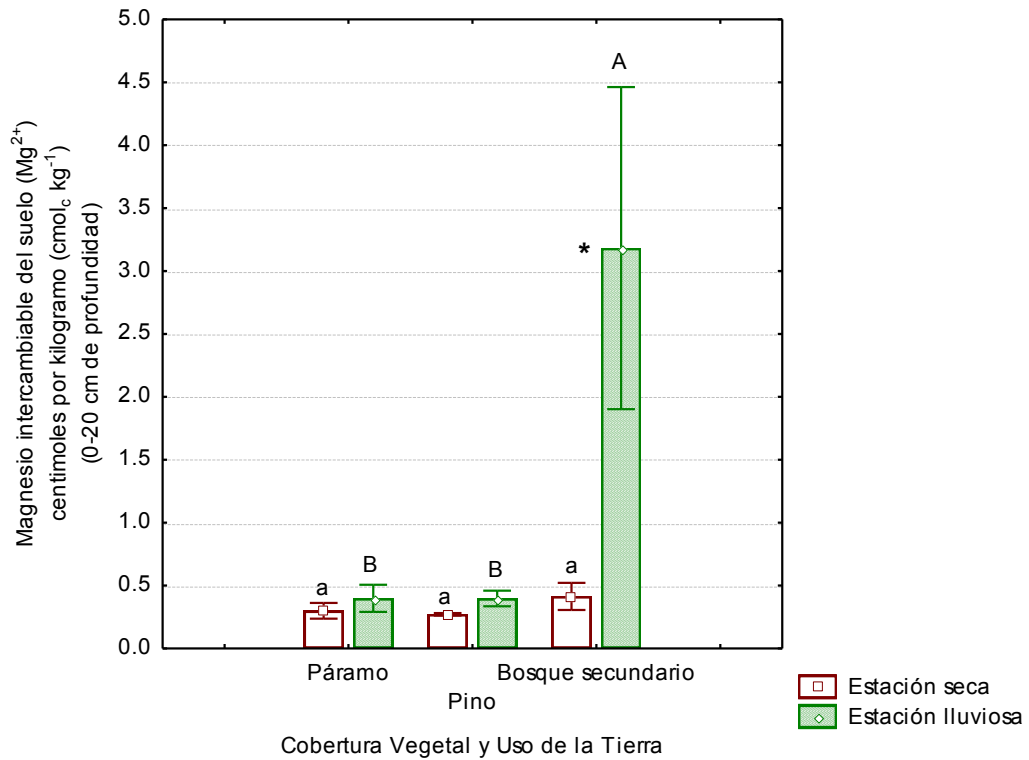


Figura 4.2.8.7. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

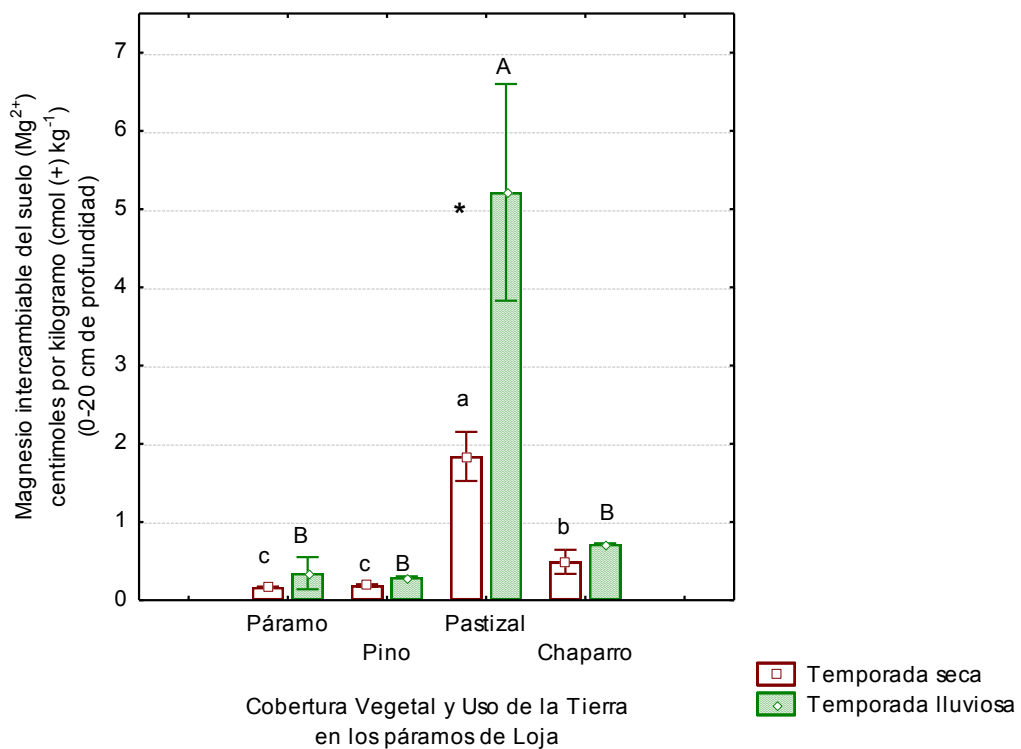


Figura 4.2.8.8. Magnesio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

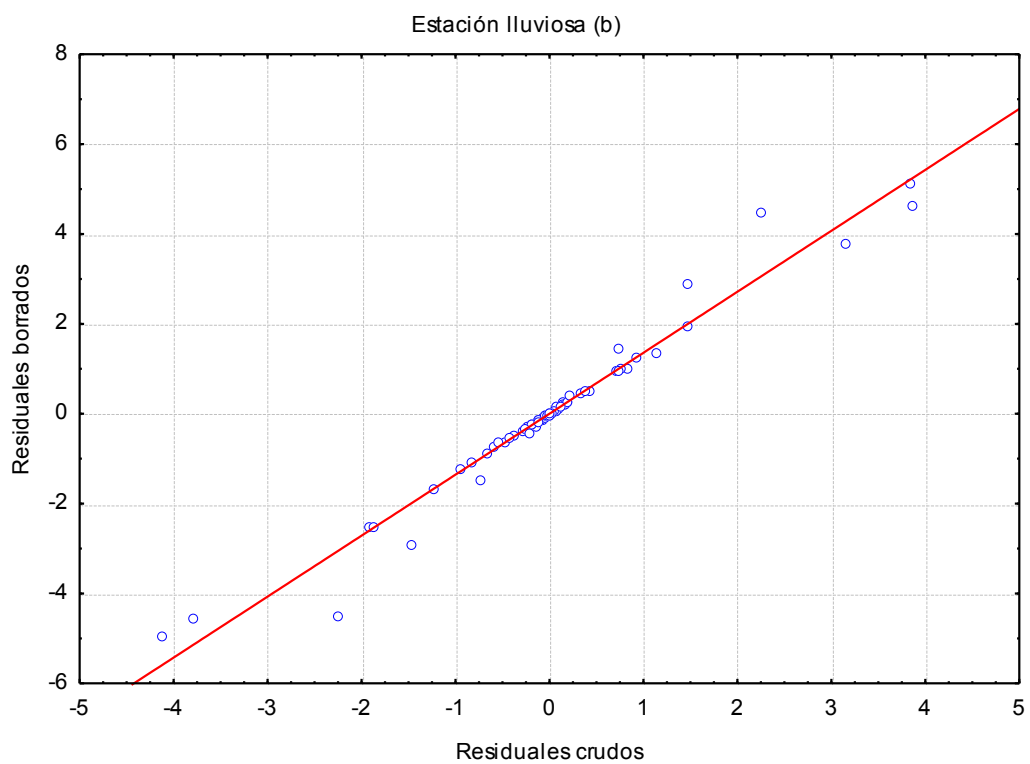
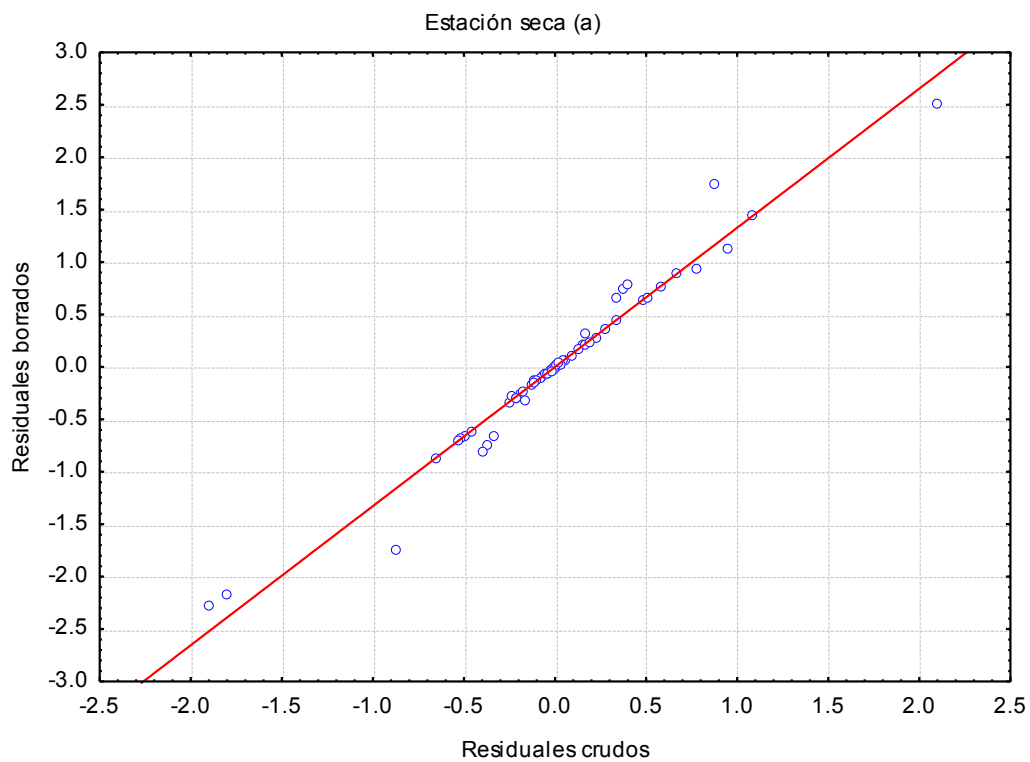


Figura 4.2.8.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales del  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo para los datos de la estación seca y la lluviosa.



#### 4.2.9. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable Potasio intercambiable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de contenido de  $K^+$  intercambiable del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 0,1 y 0,96  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para la temporada seca, y entre 0,31 y 1,84  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.9.1.; Fig. 4.2.9.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores* indicaron que el factor estación climática tuvo significativamente un efecto sobre el contenido de  $K^+$  intercambiable del suelo (Tabla 4.2.9.2.), siendo mayor en la temporada lluviosa. También indicaron, que la estacionalidad tuvo un efecto significativo en interacción con el factor Zona de estudio y CVUT.

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT en las zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre el  $K^+$  intercambiable del suelo específicamente en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), Pino ( $p < 0,05^*$ ) y Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) en la zona del Ángel; en los sitios bajo Pino en la zona del Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ); en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Pastizal ( $p < 0,01^{***}$ ) en la zona del Chimborazo; en los sitios bajo Paramo ( $p < 0,01^{**}$ ), Pino ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Cajas; en los sitios bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en Oña Yacuambi; y en los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona de Loja.

Debido a que el  $K^+$  intercambiable del suelo fue diferente para cada estación climática el *Anova con factor anidado* se realizó considerando como dos cohortes independientes de datos (secas y lluvias) dentro del modelo matemático.

Los resultados de la prueba *Anova con factor anidado* indicaron que el factor Zona de estudio y también el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $K^+$  intercambiable del suelo (Tabla 4.2.9.3.)

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.9.1.), indicaron que en la temporada seca los sitios de la zona del Chimborazo tuvieron significativamente mayor contenido de  $K^+$  intercambiable del suelo que lo sitios de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p < 0,05^*$ ). También indicaron, que los sitios de la zona del Cajas tuvieron significativamente mayor contenido de  $K^+$  intercambiable que los sitios de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p < 0,05^*$ ). Además, indicaron, que los sitios de la zona de Cotopaxi tuvieron significativamente menor contenido de  $K^+$  intercambiable del suelo que los sitios de las demás

zonas, siendo éstas, el Ángel ( $p<0,05^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p<0,05^*$ ) y Loja ( $p<0,005^{***}$ ).

Mientras que en la estación lluviosa la zona de Chimborazo tuvo significativamente mayor  $K^+$  intercambiable del suelo que todas las zonas, siendo estas, el Ángel ( $p<0,005^{***}$ ), Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p=0,000834^{***}$ ) y Loja ( $p<0,005^{***}$ ). En la estación lluviosa la zona del Cotopaxi tuvo significativamente menor contenido de  $K^+$  intercambiable del suelo que todas las demás zonas, siendo estas, el Ángel ( $p<0,005^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p<0,005^{***}$ ) y Loja ( $p<0,01^{**}$ ).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable  $K^+$  intercambiable del suelo en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se presentan con detalle a continuación.

#### Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

En las dos estaciones climáticas el factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable  $K^+$  intercambiable del suelo (Fig. 4.2.9.3.).

En la estación seca, los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor  $K^+$  que los suelos bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ).

Por su parte en la estación lluviosa, los suelos bajo Páramo tuvieron mayor  $K^+$  intercambiable que los suelos bajo Pastizal y bajo Bosque secundario, pero estas diferencias no fueron significativas.

#### Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa no existieron diferencias significativas de  $K^+$  intercambiable del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.9.4.).

#### Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

El  $K^+$  intercambiable en las dos estaciones estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.9.5.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor  $K^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ), bajo Pino ( $p<0,05^*$ ) y bajo Páramo degradado ( $p<0,001^{***}$ ).

En la temporada lluviosa los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor  $K^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). Además los suelos bajo Páramo degradado tuvieron menor  $K^+$  que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

En la zona del Cajas, en ambas estaciones, el  $K^+$  de cambio estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.9.6.)

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $K^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ). Así también los suelos bajo Bosque secundario tuvieron mayor contenido de  $K^+$  que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

En la estación lluviosa los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $K^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ). Así también los suelos bajo Bosque secundario tuvieron mayor contenido de  $K^+$  que los suelos bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

La influencia de la CVUT sobre el  $K^+$  intercambiable varió significativamente entre las estaciones climáticas de secas y lluvias (Fig. 4.2.9.7.).

En la estación seca no existieron diferencias significativas del contenido de  $K^+$  intercambiable del suelo asociadas a la CVUT.

En la temporada lluviosa los suelos bajo Bosque secundario presentaron mayor contenido de  $K^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En las dos estaciones el potasio estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.9.8.)

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor contenido de  $K^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte en la estación lluviosa, los suelos bajo Pastizal presentaron mayor  $K^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

### Análisis estadísticos previos

La prueba con ecuación de regresión indicó que los datos de  $K^+$  intercambiable del suelo tuvieron linealidad tanto en la estación seca (*múltiple*  $R = 0,78$ ;  $F = 3,86$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple*  $R = 0,83$ ;  $F = 5,46$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de  $K^+$  intercambiable del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT tienen distribución normal (Fig. 4.2.9.9.) tanto para la temporada seca ( $W = 0,82945$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo para la temporada lluviosa ( $W = 0,90283$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos de  $K^+$  intercambiable del suelo tienen homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca ( $F = 8,81$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como los de la temporada lluviosa ( $F = 8,23$ ; ( $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.9.1. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona       | Estación climática | n  | Páramo                                      |    | Pino  |    | Pastizales                                  |    | Bosque secundario                           |    | Páramo degradado                            |    | Promedio general                            |    |
|------------|--------------------|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|
|            |                    |    | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE |
| El Ángel   | Seca               | 12 | 0,53 ± 0,05 a                               |    | 0,34 ± 0,02 b                               |    | 0,14 ± 0,11 c                               |    | 0,41 ± 0,17 abc                             |    | - -   |    | 0,36 ± 0,07 ab                              |    |
|            | Lluviosa           | 12 | *0,82 ± 0,09 A                              |    | *0,71 ± 0,08 A                              |    | *0,53 ± 0,06 B                              |    | 0,55 ± 0,02 B                               |    | - -   |    | ***0,65 ± 0,11 C                            |    |
| Cotopaxi   | Seca               | 10 | 0,1 ± 0,04 a                                |    | 0,1 ± 0,02 a                                |    | - -   |    | - -   |    | - -   |    | 0,10 ± 0,07 c                               |    |
|            | Lluviosa           | 10 | 0,19 ± 0,06 A                               |    | *0,24 ± 0,03 A                              |    | - -   |    | - -   |    | - -   |    | *0,21 ± 0,11 D                              |    |
| Chimborazo | Seca               | 12 | 0,49 ± 0,07 b                               |    | 0,49 ± 0,08 b                               |    | 0,96 ± 0,01 ab                              |    | - -   |    | 0,18 ± 0,18 c                               |    | 0,53 ± 0,07 a                               |    |
|            | Lluviosa           | 12 | *1,03 ± 0,08 B                              |    | *1,29 ± 0,14 B                              |    | *1,84 ± 0,09 A                              |    | - -   |    | 0,56 ± 0,17 C                               |    | ***1,18 ± 0,11 A                            |    |
| Cajas      | Seca               | 18 | 0,34 ± 0,04 b                               |    | 0,23 ± 0,01 c                               |    | 0,88 ± 0,37 a                               |    | 0,52 ± 0,07 a                               |    | - -   |    | 0,49 ± 0,05 a                               |    |
|            | Lluviosa           | 18 | *0,74 ± 0,15 B                              |    | *0,47 ± 0,04 B                              |    | 1,28 ± 0,48 A                               |    | *1,12 ± 0,16 B                              |    | - -   |    | **0,9 ± 0,08 B                              |    |
| Oña-       | Seca               | 12 | 0,26 ± 0,04 a                               |    | 0,25 ± 0,03 a                               |    | - -   |    | 0,35 ± 0,07 a                               |    | - -   |    | 0,28 ± 0,06 b                               |    |
| Yacuambi   | Lluviosa           | 12 | 0,39 ± 0,08 B                               |    | 0,41 ± 0,06 B                               |    | - -   |    | *1,22 ± 0,27 A                              |    | - -   |    | **0,67 ± 0,1 BC                             |    |
| Loja       | Seca               | 8  | 0,22 ± 0,02 b                               |    | 0,22 ± 0,02 b                               |    | 0,5 ± 0,12 ab                               |    | 0,7 ± 0,19 a                                |    | - -   |    | 0,41 ± 0,08 ab                              |    |
|            | Lluviosa           | 8  | 0,39 ± 0,23 B                               |    | 0,31 ± 0,05 B                               |    | *1,48 ± 0,46 A                              |    | 0,57 ± 0,11 B                               |    | - -   |    | *0,69 ± 0,12 BC                             |    |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.9.2. Efecto de la estación climática sobre el K<sup>+</sup> intercambiable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
| Estacionalidad                       | 4,37                     | 1                         | 4,37      | 99,82    | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 0,51                     | 5                         | 0,1       | 2,33     | 0,056313    |
| Estacionalidad*CVUT                  | 0,72                     | 4                         | 0,18      | 4,12     | 0,005798*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 1,22                     | 11                        | 0,11      | 2,53     | 0,012694**  |
| Error                                | 2,19                     | 50                        | 0,04      |          |             |

Tabla 4.2.9.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el K<sup>+</sup> intercambiable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Prueba</i> | <i>Valor</i> | <i>F</i> | <i>GL efecto</i> | <i>GL error</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|---------------|--------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Intercepción                    | Wilks         | 0,13         | 170,2    | 2                | 50              | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | Wilks         | 0,47         | 4,5      | 10               | 100             | 0,000029*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | Wilks         | 0,28         | 3,0      | 30               | 100             | 0,000029*** |

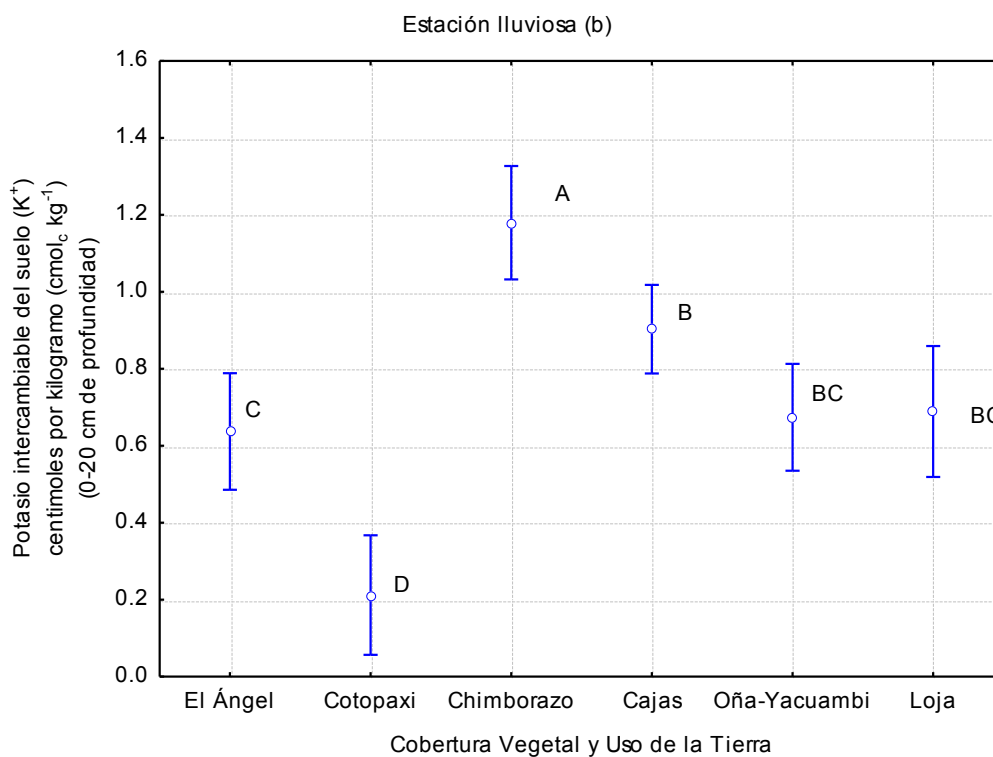
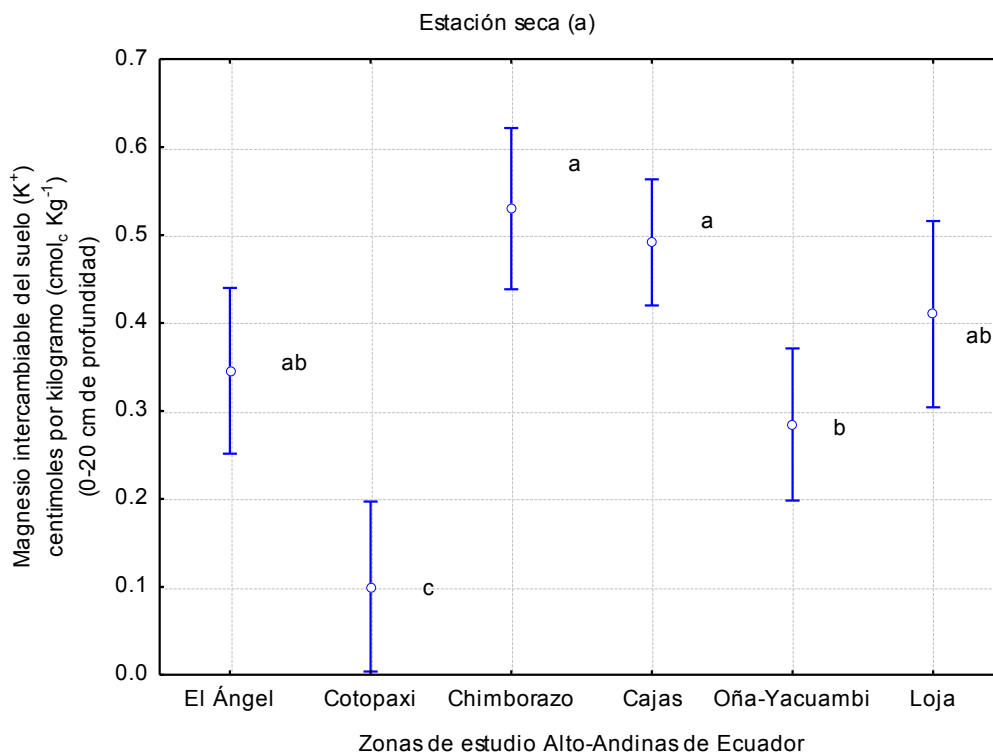


Figura 4.2.9.1. Potasio intercambiable del suelo de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

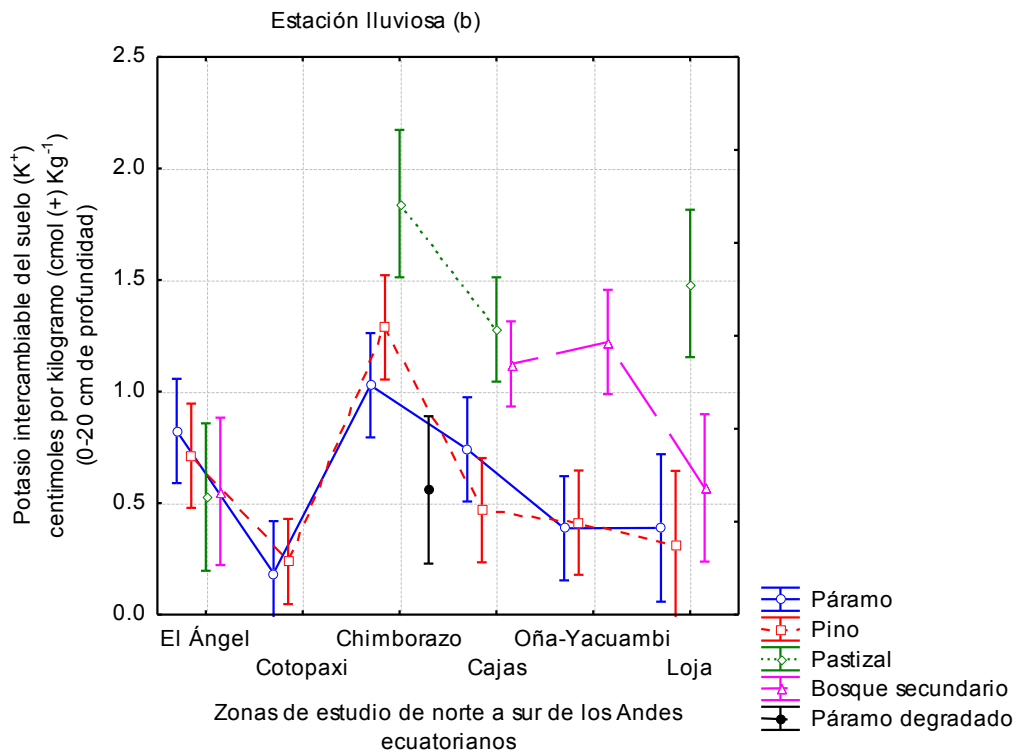
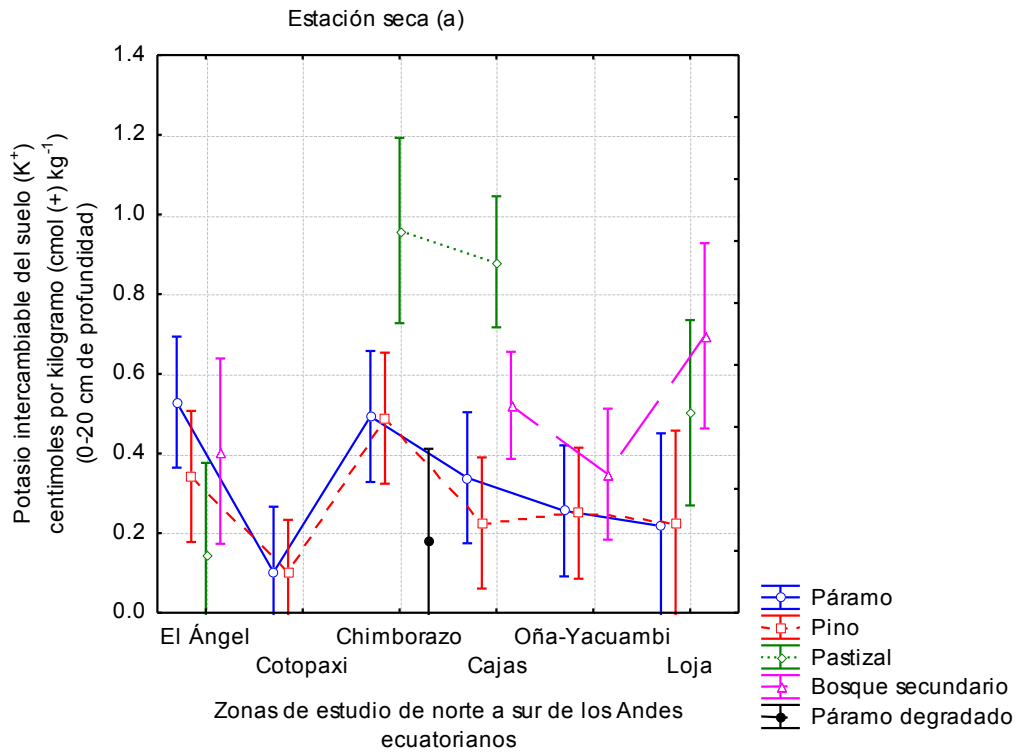


Figura 4.2.9.2. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

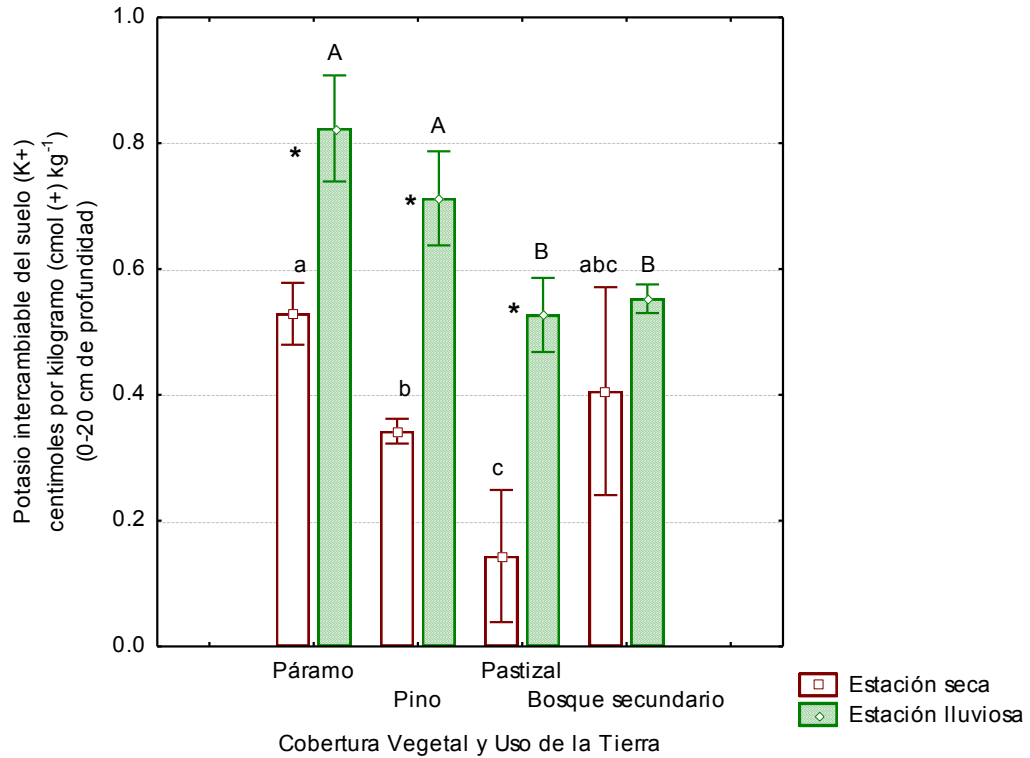


Figura 4.2.9.3. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

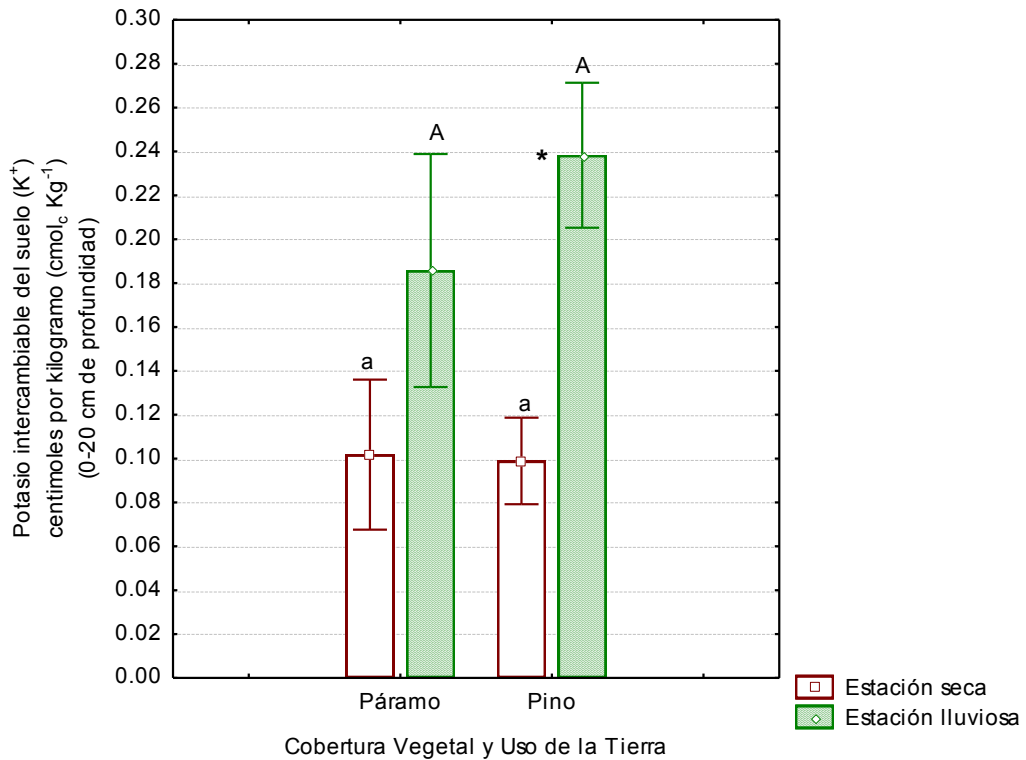


Figura 4.2.9.4. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.



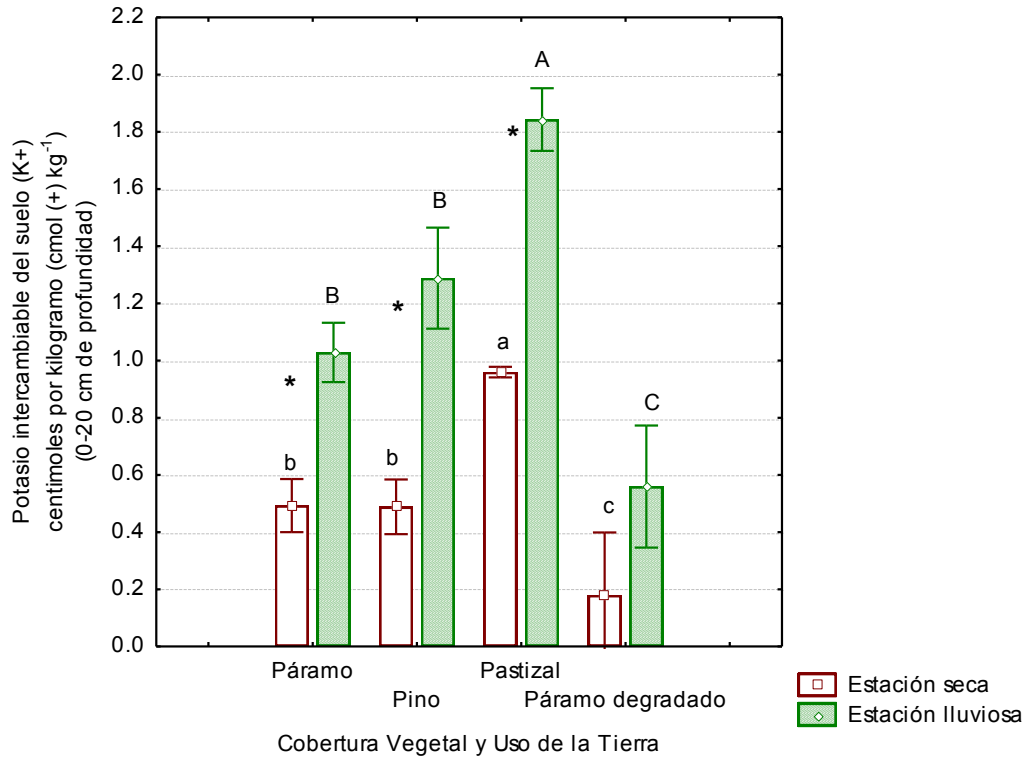


Figura 4.2.9.5. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

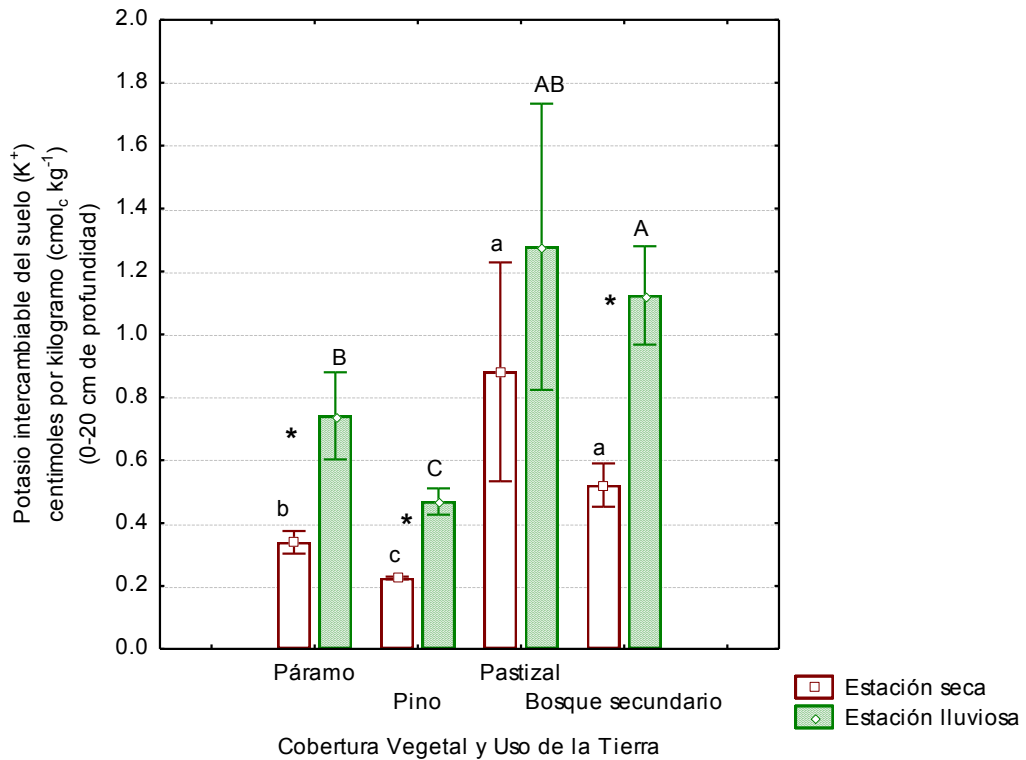


Figura 4.2.9.6. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajás. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

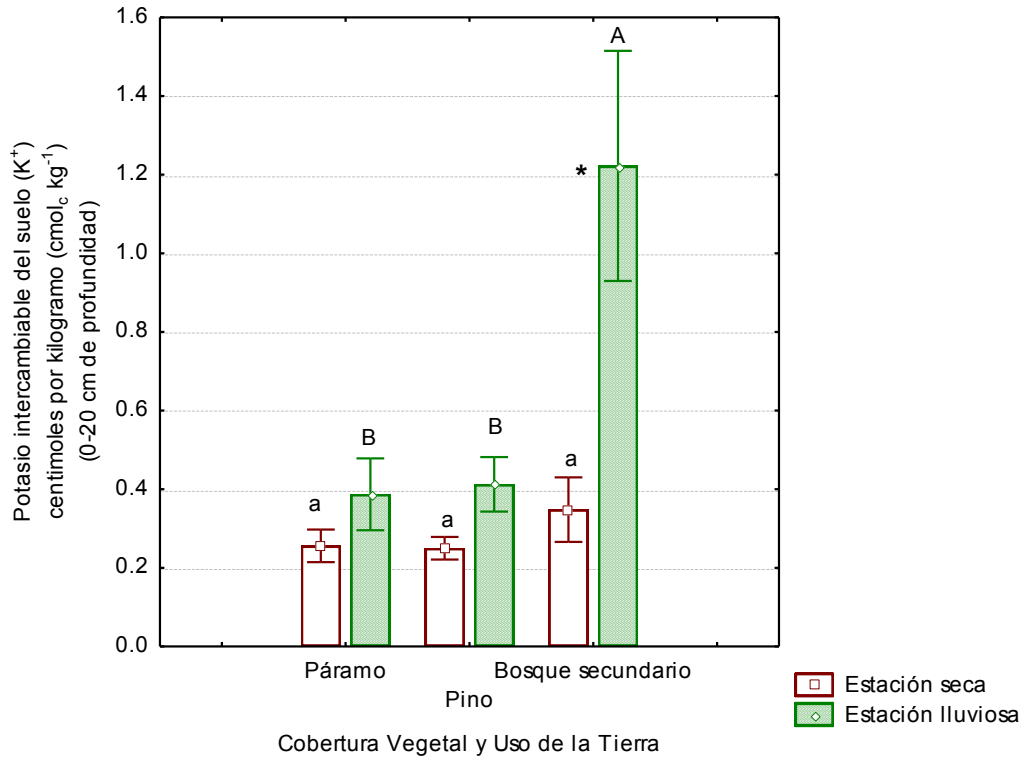


Figura 4.2.9.7. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

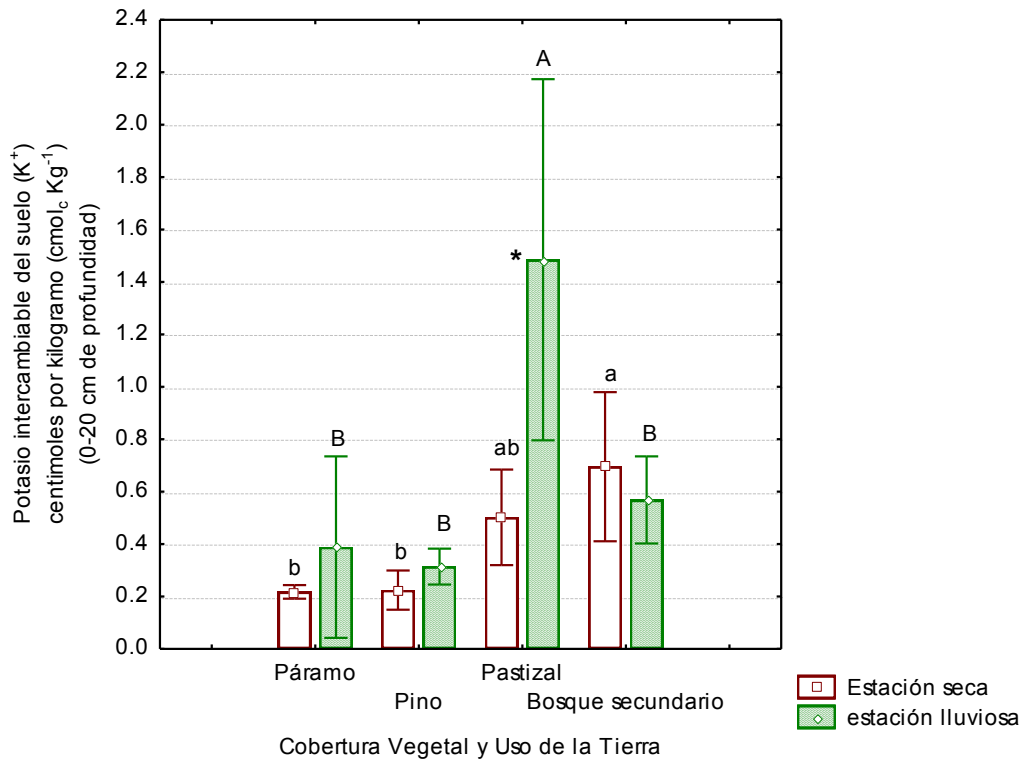


Figura 4.2.9.8. Potasio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

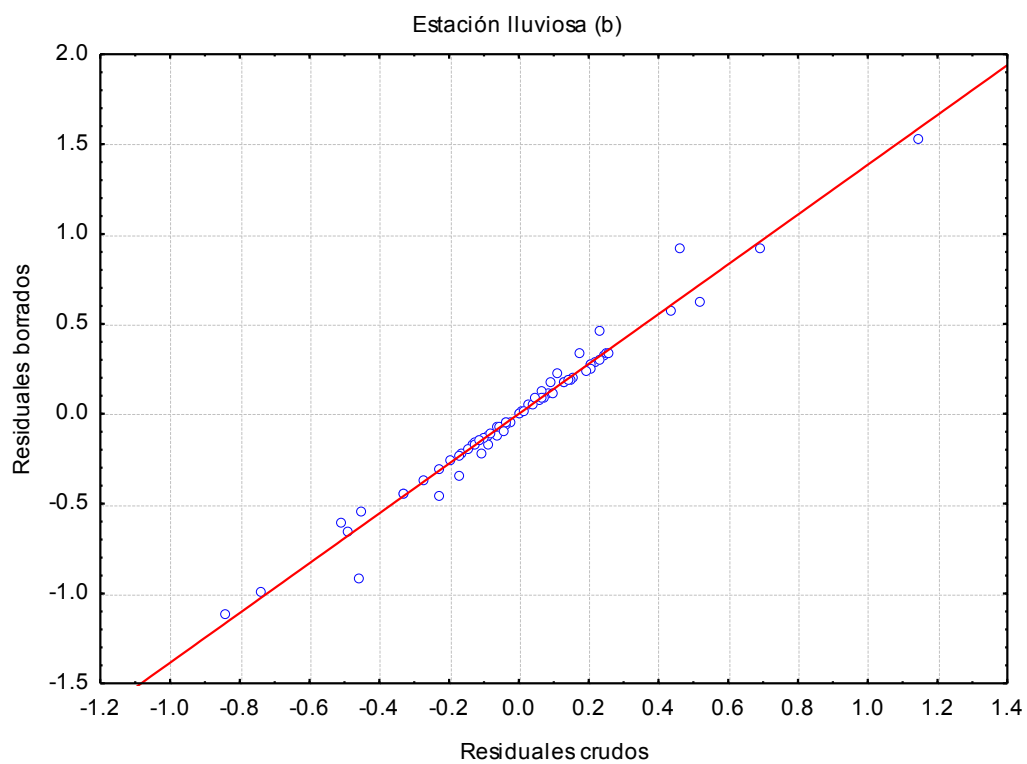
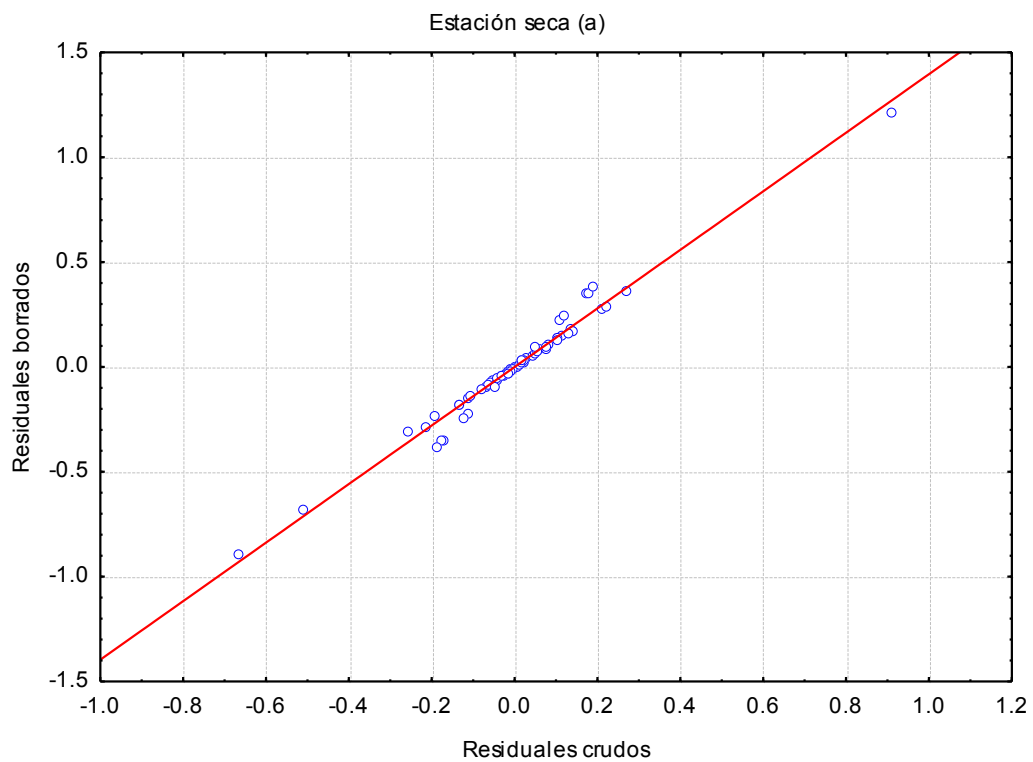


Figura 4.2.9.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de Potasio intercambiable del suelo para los datos de la estación seca y la lluviosa.

#### **4.2.10. Efecto del factor CVUT sobre la variable Sodio intercambiable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador**

El rango promedio de contenido de  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo (0-20 cm de profundidad) estuvo entre 0,01 y 0,26  $\text{cmol}_c \text{Na kg}^{-1}$  para la temporada seca (Tabla 4.2.10.1. Fig. 4.2.10.2.).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo (Tabla 4.1.10.3.)

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.10.1.), indicaron que en la estación seca los suelos de la zona de Loja tuvieron significativamente menor cantidad de  $\text{Na}^+$  intercambiable que los suelos de las zonas del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,005^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,05^*$ ) y Cajas ( $p < 0,005^{***}$ ). También los suelos de la zona de Oña-Yacuambi tuvieron significativamente menor cantidad de  $\text{Na}^+$  intercambiable que los suelos del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,005^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,05^*$ ) y Cajas ( $p < 0,005^{***}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se describen con detalle a continuación.

##### *Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente menor contenido de  $\text{Na}^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ; Fig. 4.2.10.3.).

##### *Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi*

En la temporada seca no existieron diferencias significativas del contenido de  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.10.4.).

##### *Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo*

Como se puede observar en la Figura 4.2.10.5. en la estación seca, los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de  $\text{Na}^+$  intercambiable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

En la estación seca (Fig. 4.2.10.6) los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{Na}^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En la estación seca no existieron diferencias significativas de  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.10.7.).

#### Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), Pino ( $p < 0,05^*$ ) y Pastizal ( $p < 0,05^*$ ; Fig. 4.2.10.8.).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de regresión indicó que los datos de  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0.76;  $F = 3.40$ ;  $p < 0,005^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,72;  $F = 2,81$ ;  $p < 0,005^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT tienen distribución normal (Fig. 4.2.10.9.) tanto para la temporada seca ( $W = 0,87631$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo para la temporada lluviosa ( $W = 0,96774$ ;  $p < 0,05^*$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos de  $\text{Na}^+$  intercambiable del suelo tienen homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca ( $F = 3,68$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como los de la temporada lluviosa ( $F = 2,55$ ;  $p < 0,005^{***}$ ).

Tabla 4.2.10.1. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                                      |     | Pino  |     | Pastizales                                  |     | Bosque secundario                           |     | Páramo degradado                            |     | Promedio general                            |     |
|--------------|--------------------|----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
|              |                    |    | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE. | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE. | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE. | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE. | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE. | media<br>cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | EE. |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 0,17 ± 0,01 a                               |     | 0,13 ± 0,02 ab                              |     | 0,07 ± 0,04 b                               |     | 0,16 ± 0,02 a                               |     | - -   |     | 0,13 ± 0,02 A                               |     |
|              | Lluviosa           | 12 | 1,49 ± 0,13                                 |     | 1,31 ± 0,07                                 |     | 1,37 ± 0,25                                 |     | 1,36 ± 0,43                                 |     | - -   |     | 1,38 ± 0,08                                 |     |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 0,09 ± 0,01 a                               |     | 0,14 ± 0,04 a                               |     | - -   |     | - -   |     | - -   |     | 0,12 ± 0,02 A                               |     |
|              | Lluviosa           | 10 | 1,19 ± 0,14                                 |     | 1,20 ± 0,06                                 |     | - -   |     | - -   |     | - -   |     | 1,19 ± 0,08                                 |     |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 0,07 ± 0,01 b                               |     | 0,05 ± 0,01 b                               |     | 0,26 ± 0,01 a                               |     | - -   |     | 0,05 ± 0,01 b                               |     | 0,11 ± 0,02 A                               |     |
|              | Lluviosa           | 12 | 1,20 ± 0,18                                 |     | 1,19 ± 0,12                                 |     | 1,51 ± 0,12                                 |     | - -   |     | 1,25 ± 0,07                                 |     | 1,29 ± 0,08                                 |     |
| Cajas        | Seca               | 18 | 0,07 ± 0,00 c                               |     | 0,08 ± 0,02 bc                              |     | 0,17 ± 0,08 a                               |     | 0,10 ± 0,01 ab                              |     | - -   |     | 0,10 ± 0,01 B                               |     |
|              | Lluviosa           | 18 | 1,54 ± 0,04                                 |     | 1,58 ± 0,05                                 |     | 1,91 ± 0,25                                 |     | 1,49 ± 0,1                                  |     | - -   |     | 1,63 ± 0,07                                 |     |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 0,02 ± 0,01 a                               |     | 0,01 ± 0,01 a                               |     | - - a                                       |     | 0,07 ± 0,04 a                               |     | - -   |     | 0,03 ± 0,02 B                               |     |
|              | Lluviosa           | 12 | 1,63 ± 0,09                                 |     | 1,71 ± 0,02                                 |     | - -   |     | 1,79 ± 0,11                                 |     | - -   |     | 1,71 ± 0,07                                 |     |
| Loja         | Seca               | 8  | 0,01 ± 0,00 b                               |     | 0,01 ± 0,01 b                               |     | 0,02 ± 0,02 b                               |     | 0,07 ± 0,00 a                               |     | - -   |     | 0,02 ± 0,02 B                               |     |
|              | Lluviosa           | 8  | 1,62 ± 0,09                                 |     | 1,68 ± 0,16                                 |     | 1,77 ± 0,23                                 |     | 1,64 ± 0,13                                 |     | - -   |     | 1,68 ± 0,09                                 |     |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.10.2. Efecto de la estación climática sobre el Na<sup>+</sup> intercambiable del suelo en la región alto-andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
| Estacionalidad                       | 61,86                    | 1                         | 61,86     | 2005     | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 1,3                      | 5                         | 0,25      | 8        | 0,000010*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 0,1                      | 4                         | 0,02      | 1        | 0,636706    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 0,1                      | 11                        | 0,01      | 0,3      | 0,992432    |
| Error                                | 1,6                      | 51                        | 0,03      |          |             |

Tabla 4.2.10.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el Na<sup>+</sup> intercambiable del suelo en la región alto-andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Prueba</i> | <i>Valor</i> | <i>F</i> | <i>GL efecto</i> | <i>GL error</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|---------------|--------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Intercepción                    | <i>Wilks</i>  | 0,02         | 1089     | 2                | 50              | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | <i>Wilks</i>  | 0,35         | 7        | 10               | 100             | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | <i>Wilks</i>  | 0,52         | 1        | 30               | 100             | 0.165470    |

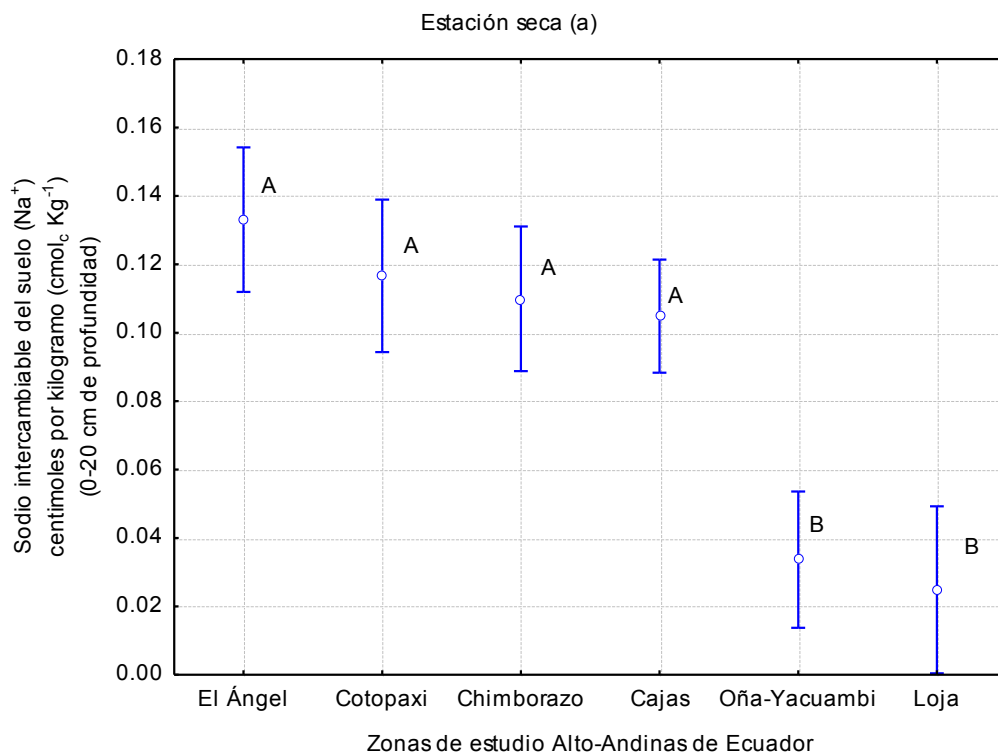


Figura 4.2.10.1. Sodio intercambiable del suelo de norte a sur en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

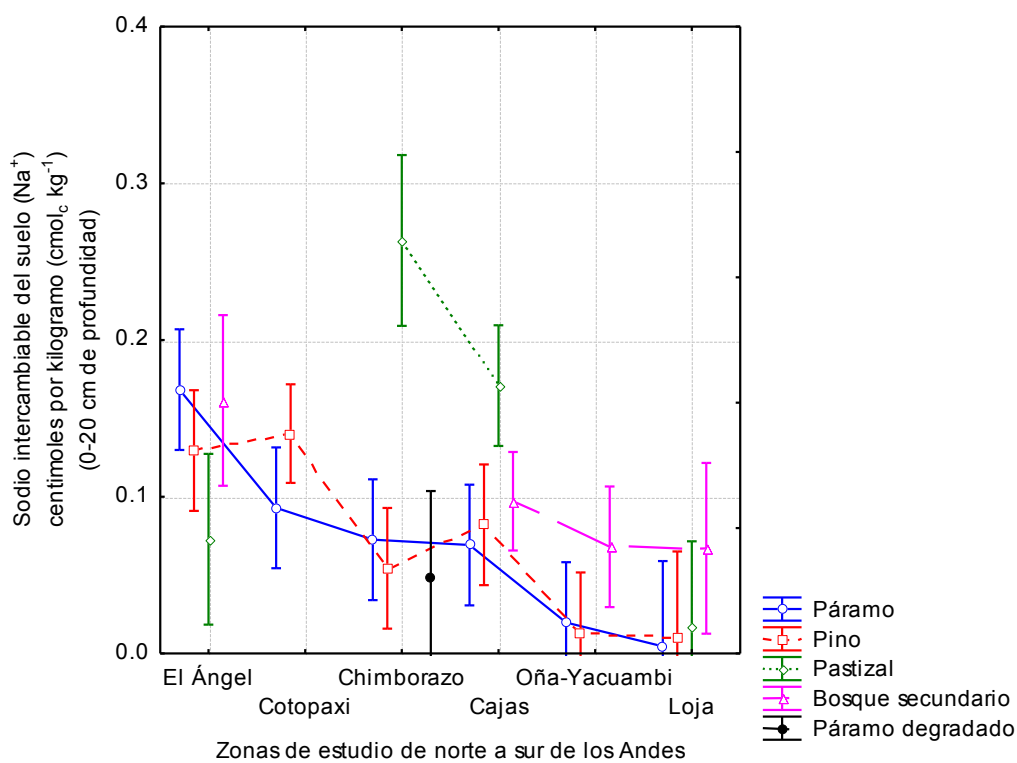


Figura 4.2.10.2. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

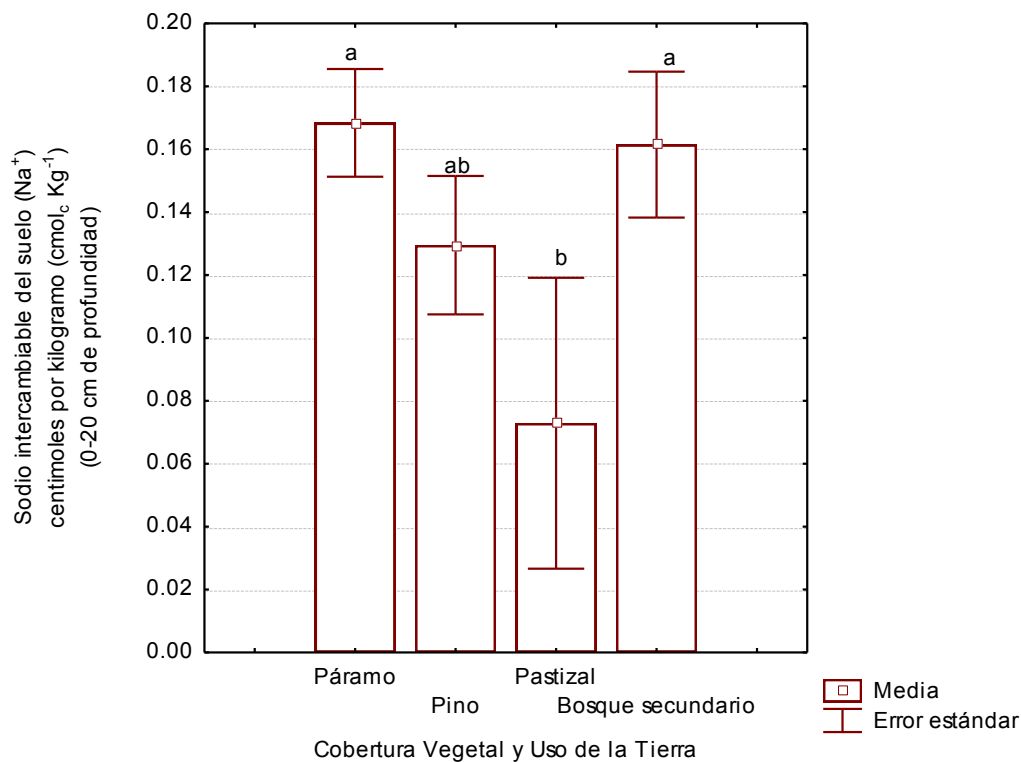


Figura 4.2.10.3. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

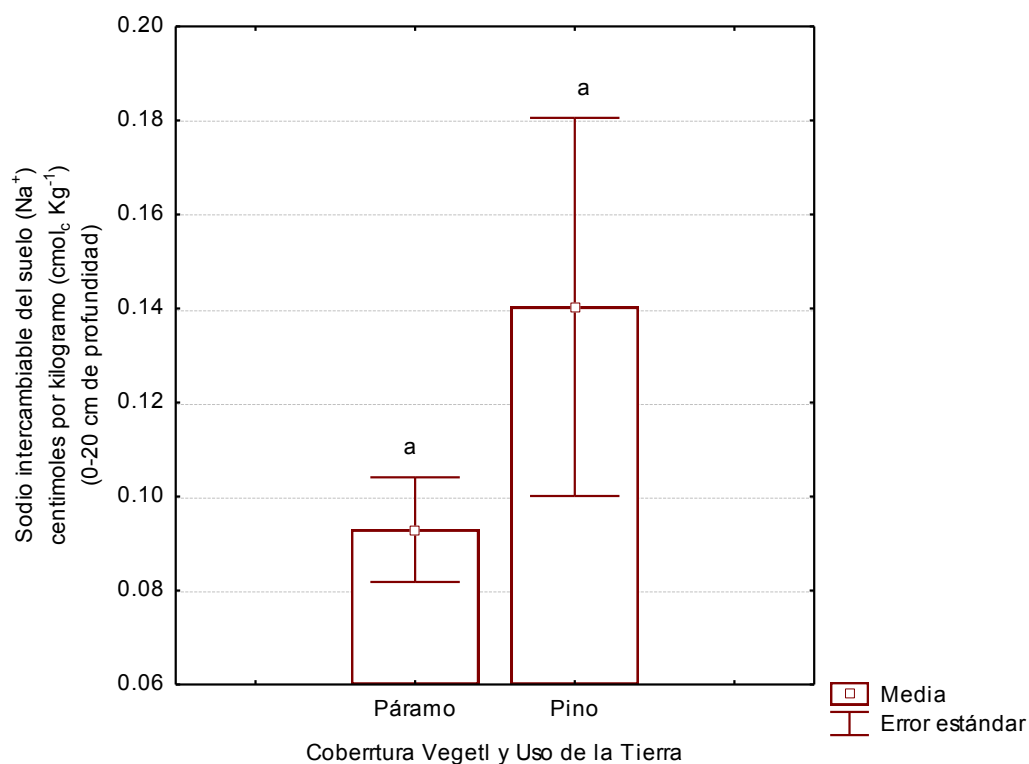


Figura 4.2.10.4. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.



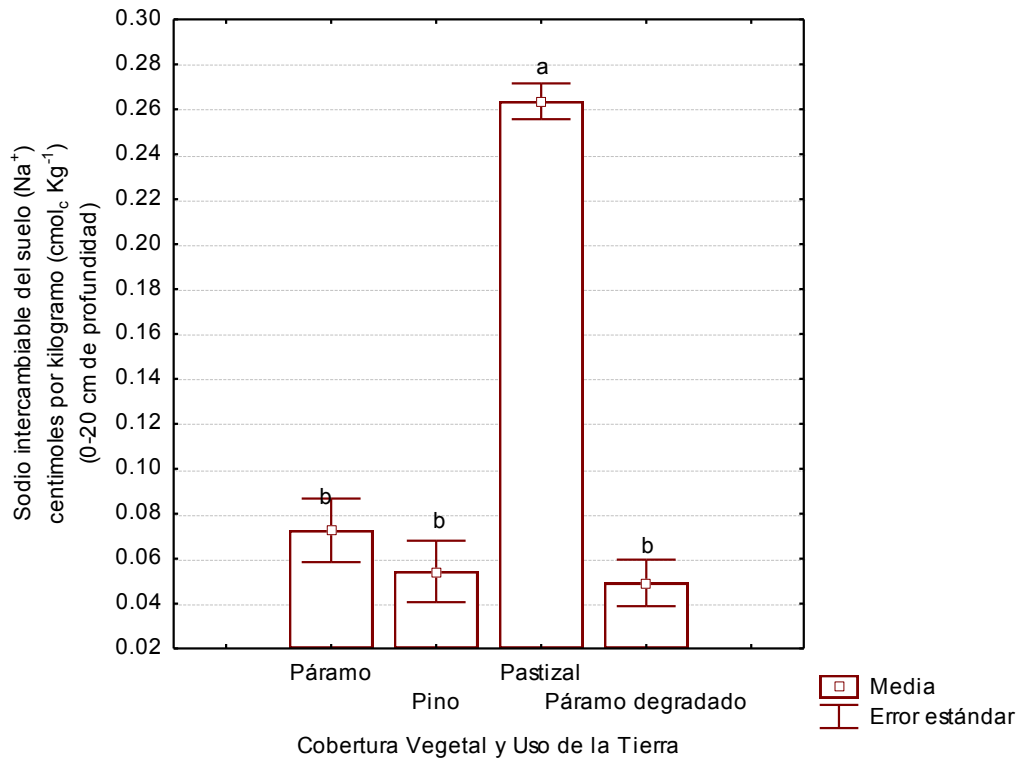


Figura 4.2.10.5. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

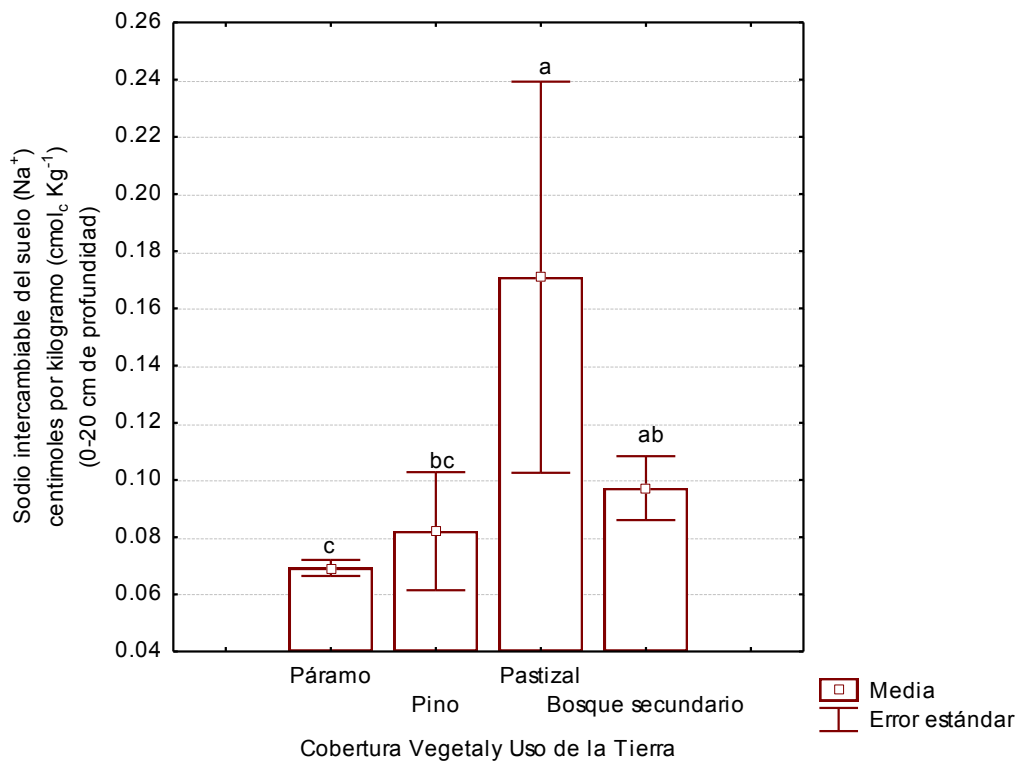


Figura 4.2.10.6. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

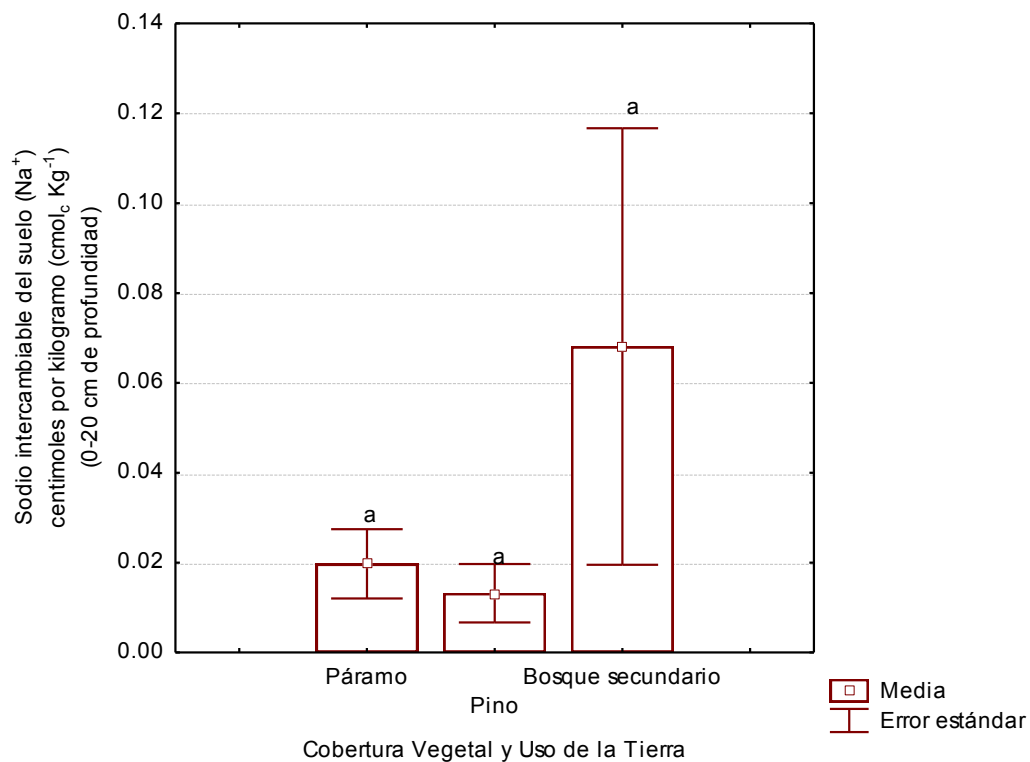


Figura 4.2.10.7. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

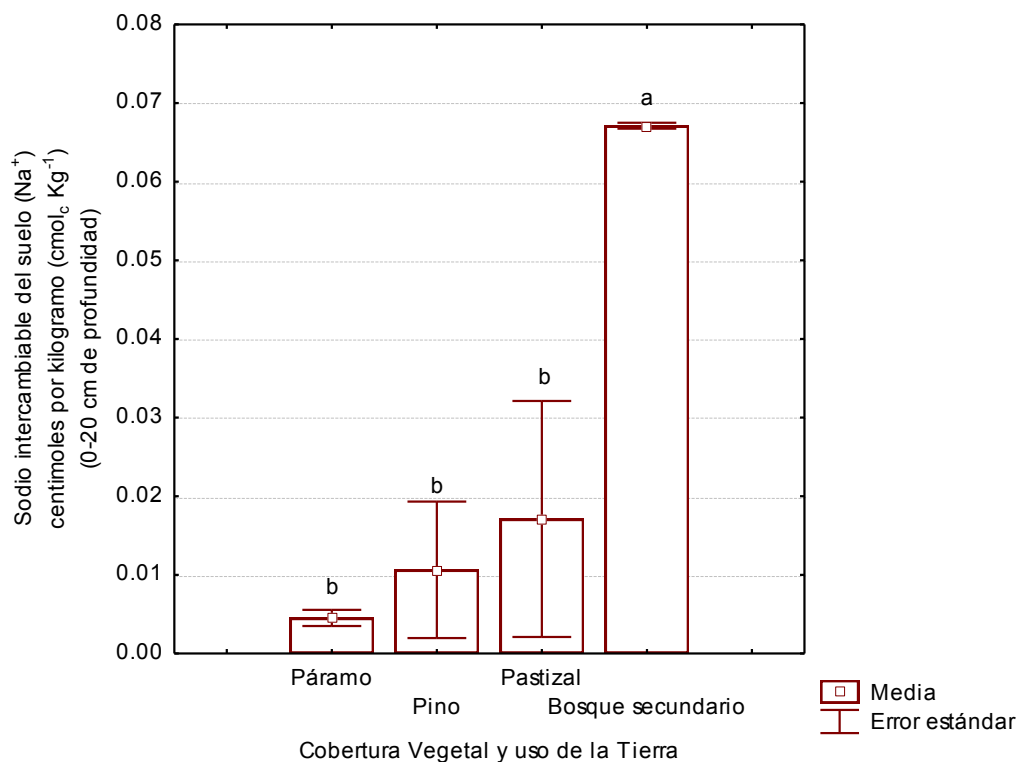


Figura 4.2.10.8. Sodio intercambiable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

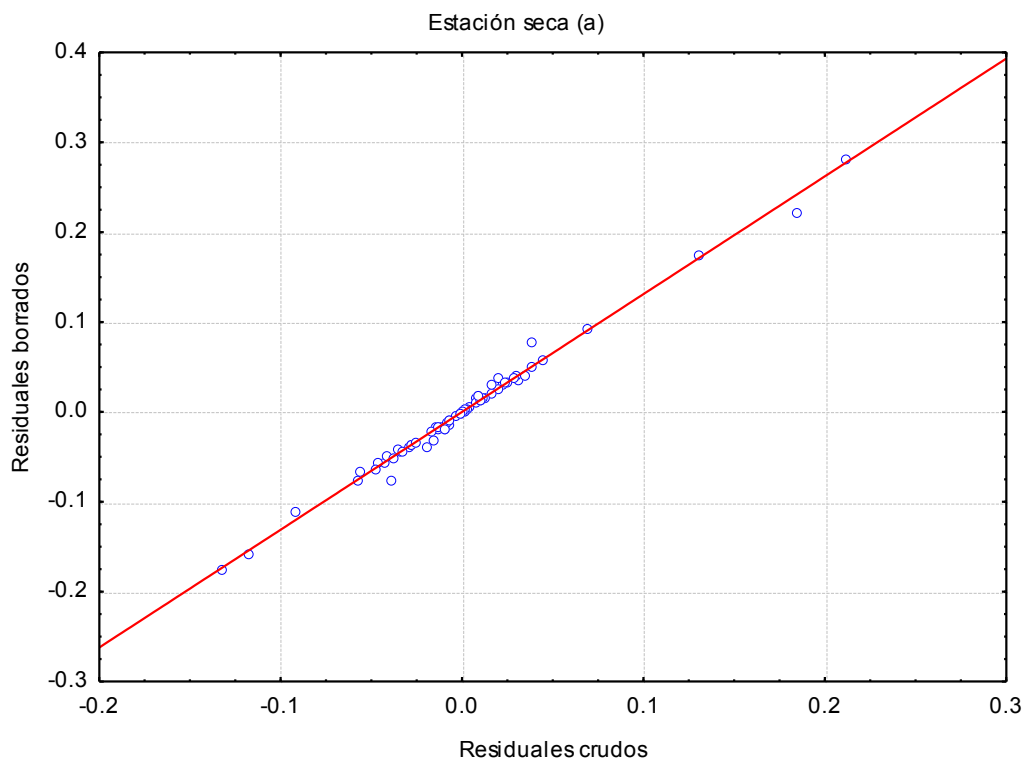


Figura 4.2.10.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales del Sodio intercambiable del suelo para los datos de la estación seca y la lluviosa.

#### 4.2.11. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de la saturación de bases del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT en las diferentes zonas de estudio estuvo entre 1.2 y 70 % para la temporada seca, y entre 4 y 141% para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.11.1.; Fig. 4.2.11.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores* indicaron que hubo un efecto significativo de la estacionalidad sobre el grado de saturación de bases, siendo mayor en la temporada lluviosa (Tabla 4.2.11.2.). Los resultados de esta prueba también indicaron que el efecto de la estacionalidad interactuó con el factor Zona de estudio

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estación climática bajo cada uno de los tipos de CVUT en las diferentes zonas de estudio, indicaron que esta tuvo efecto sobre la variable V del suelo, específicamente en la zona del Ángel en los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ; Fig. 4.2.11.3.); en la zona del Cotopaxi en los suelos bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ; Fig. 4.2.11.4.); en la zona del Chimborazo en los suelos bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ), Pastizal

( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Paramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ; Fig. 4.2.11.5.); en la zona del Cajas en los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ; Fig. 4.2.11.6.); y en la zona de Loja en suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ; Fig. 4.2.11.7.)

Debido a que existieron diferencias significativas entre los datos de las dos estaciones, se realizaron los demás análisis considerando dos cohortes independientes dentro del modelo matemático.

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que la variable V del suelo, estuvo fuerte y significativamente influenciada por la Zona de estudio, así como también por el factor anidado CVUT (Tabla 4.2.11.3.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* para ver las diferencias entre zonas de estudio (Fig. 4.2.11.1.). en la temporada seca indicaron que los suelos del Chimborazo tuvieron significativamente mayor V que los suelos del Cotopaxi, el Ángel, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Así mismo ocurrió en la temporada lluviosa, los suelos del Chimborazo tuvieron significativamente mayor V que los suelos del Cotopaxi, el Ángel, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja.

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT indicaron que este afectó significativamente la variable V de suelo en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se describen con detalle a continuación.

#### Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

La CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable V del suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.11.3.).

En la temporada seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor V que los suelo bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ); también los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor V que los suelos bajo Paramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

En la temporada lluviosa ocurrió lo mismo, los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor V que los suelo bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ); también los suelo bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor V que los suelos bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

En la temporada seca como en la temporada lluviosa no existieron diferencias significativas de la variable V del suelo entre las dos CVUT de esta zona (Fig. 4.2.11.4.).

Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

En esta zona el factor CVUT mostró efectos significativos sobre la variable V del suelo solo en una de las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.11.5.)

En la estación seca no hubo diferencias significativas en la saturación de bases por efectos de la CVUT. Por su parte, en la estación lluviosa, los suelos bajo Páramo degradado tuvieron significativamente mayor V que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ).

Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

En las dos estaciones climáticas la CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable V del suelo (Fig. 4.2.11.6.)

En la temporada seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor V que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y Pastizal ( $p < 0,05^*$ ).

Lo mismo ocurrió en la temporada lluviosa los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor V que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), Pino ( $p < 0,005^{***}$ ) y Pastizal ( $p < 0,05^*$ ).

Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

El factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable V del suelo solo en una de las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.11.7.)

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor V que los suelos bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ). Mientras que en la estación húmeda las diferencias en V del suelo entre CVUT no fueron significativas.

Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la zona de Loja el factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable V del suelo (Fig. 4.2.11.8.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor saturación que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), Pino ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario. ( $p < 0,05^*$ ).

En la estación lluviosa ocurrió lo mismo, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor V que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario. ( $p < 0,001^{***}$ ).

Análisis estadísticos previos

La prueba de regresión indicó que los datos de la variable Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total, tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (múltiple  $R = 0,97$ ;  $F = 8,30$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (múltiple  $R = 0,94$ ;  $F = 18,31$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total, del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.11.9.) tanto para la temporada seca ( $W = 0,78$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo para la temporada lluviosa ( $W = 0,81$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca ( $F = 9,54$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como los de la temporada lluviosa ( $F = 7,92$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.11.1. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Zona         | Estación climática | Páramo |           | Pino     |           | Pastizal |           | Bosque secundario |           | Páramo degradado |           | Promedio general |           |    |
|--------------|--------------------|--------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|----|
|              |                    | n      | media (%) | EE       | media (%) | EE       | media (%) | EE                | media (%) | EE               | media (%) | EE               | media (%) | EE |
| El Ángel     | Seca               | 12     | 3         | ± 0,2 c  | 3         | ± 0,2 c  | 14        | ± 8,9 b           | 55        | ± 1,4 a          | -         | -                | 19 ± 5,1  | c  |
|              | Lluviosa           | 12     | *8        | ± 0,5 C  | *7        | ± 0,1 C  | *39       | ± 9,4 B           | 54        | ± 2,3 A          | -         | -                | 27 ± 6,2  | C  |
| Cotopaxi     | Seca               | 10     | 46        | ± 7,3 a  | 44        | ± 5,6 a  | -         | -                 | -         | -                | -         | -                | 45 ± 5,4  | b  |
|              | Lluviosa           | 10     | *113      | ± 21,7 A | *89       | ± 5,5 A  | -         | -                 | -         | -                | -         | -                | 101 ± 6,6 | B  |
| Chimborazo   | Seca               | 12     | 62        | ± 13,3 a | 70        | ± 8,3 a  | 70        | ± 4,3 a           | -         | -                | 42        | 35,1 a           | 61 ± 5,1  | a  |
|              | Lluviosa           | 12     | *102      | ± 17,4 B | *120      | ± 6,5 AB | *133      | ± 18,2 AB         | -         | -                | *141      | 4,9 A            | 124 ± 6,2 | A  |
| Cajas        | Seca               | 18     | 3         | ± 0,7 c  | 1         | ± 0,2 c  | 11        | ± 2,6 b           | 47        | ± 14,6 a         | -         | -                | 16 ± 4,0  | c  |
|              | Lluviosa           | 18     | 6         | ± 0,9 C  | 4         | ± 0,6 C  | *21       | ± 3,1 B           | *61       | ± 17,6 A         | -         | -                | 23 ± 4,9  | C  |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12     | 2         | ± 0,3 ab | 1         | ± 0,3 b  | -         | -                 | 3         | ± 8,3 a          | -         | -                | 2 ± 4,8   | d  |
|              | Lluviosa           | 12     | *10       | ± 1,1 A  | *8        | ± 0,9 A  | -         | -                 | *9        | ± 1,3 A          | -         | -                | 9 ± 5,9   | D  |
| Loja         | Seca               | 8      | 1         | ± 0,1 b  | 1         | ± 0,14 b | 17        | ± 6,0 a           | 2         | ± 0,6 b          | -         | -                | 5 ± 5,9   | cd |
|              | Lluviosa           | 8      | *8        | ± 2,4 B  | *8        | ± 2,0 B  | *39       | ± 0,7 A           | *7        | ± 0,1 B          | -         | -                | 16 ± 7,2  | CD |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.11.2. Efecto de la estación climática sobre la variable Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Efecto                               | Suma de cuadrados | Gardos de libertad | MS    | F      | p           |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|-------|--------|-------------|
| Estacionalidad                       | 16701             | 1                  | 16701 | 135,51 | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 8052              | 5                  | 1610  | 13,07  | 0,000010*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 1164              | 4                  | 291   | 2,36   | 0.065443    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 998               | 11                 | 91    | 0,74   | 0.699110    |
| Error                                | 6285              | 51                 | 123   |        |             |

Tabla 4.2.11.3. Efecto de la Zona de estudio y el factor anidado CVUT sobre el Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo en ecosistemas Alto-Andinas de Ecuador

| Efecto                         | Prueba | Valor | F   | GL efecto | GL error | p           |
|--------------------------------|--------|-------|-----|-----------|----------|-------------|
| Intercepción                   | Wilks  | 0.13  | 163 | 2         | 50       | 0,000000*** |
| Zona de estudio                | Wilks  | 0.12  | 18  | 10        | 100      | 0,000000*** |
| CVUT anidado a Zona de estudio | Wilks  | 0.31  | 3   | 30        | 100      | 0.000183*** |

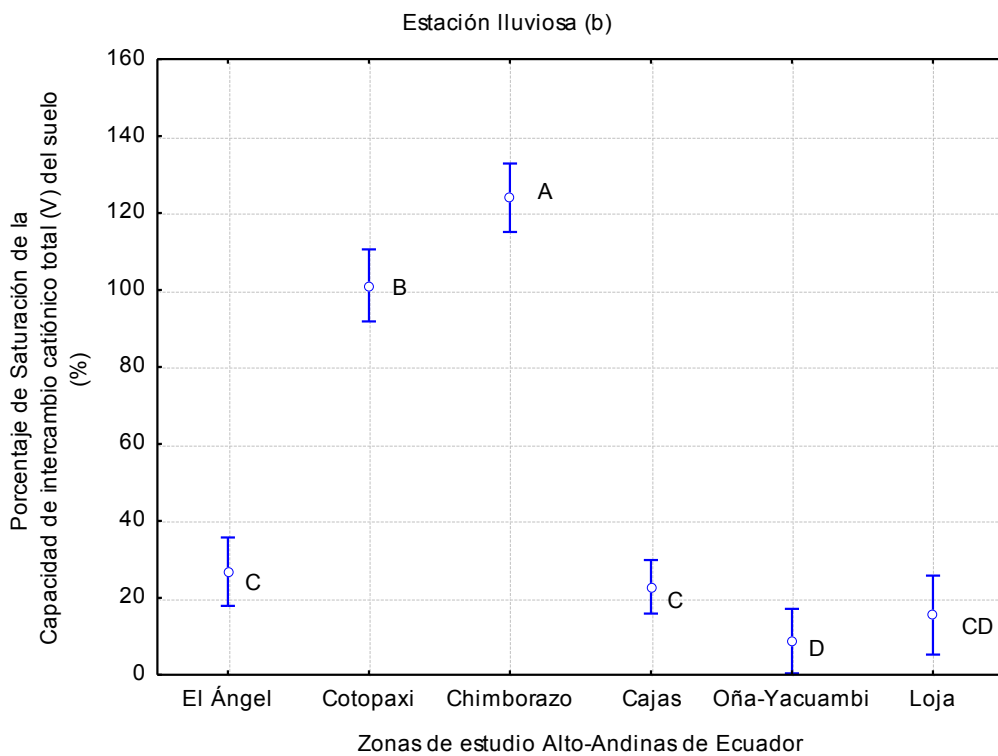
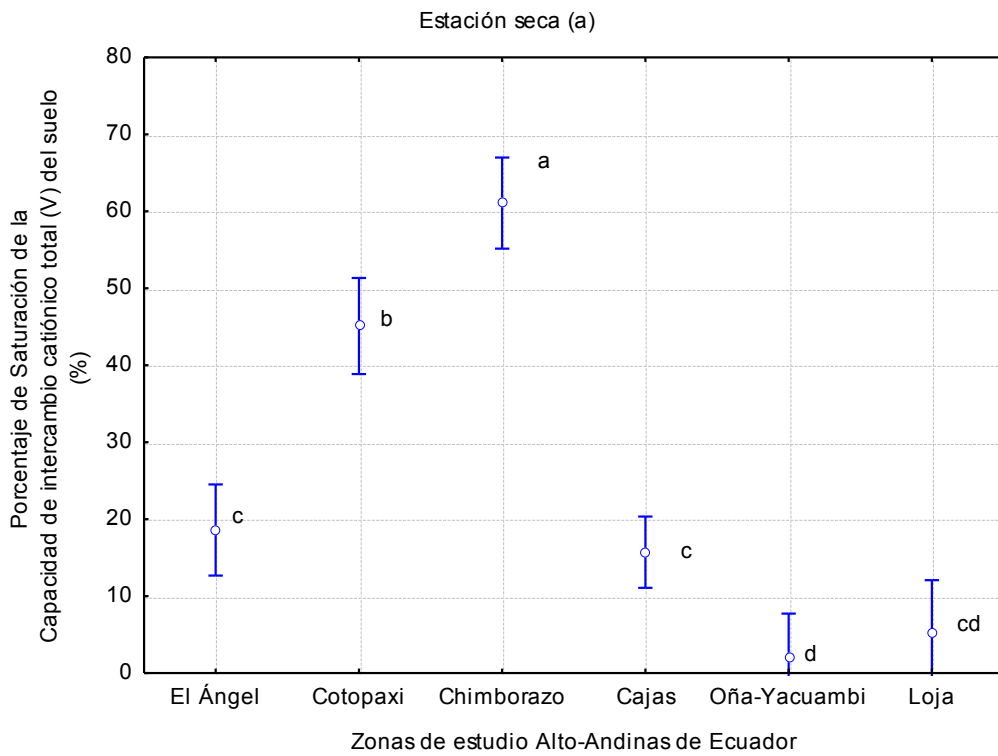


Figura 4.2.11.1. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar



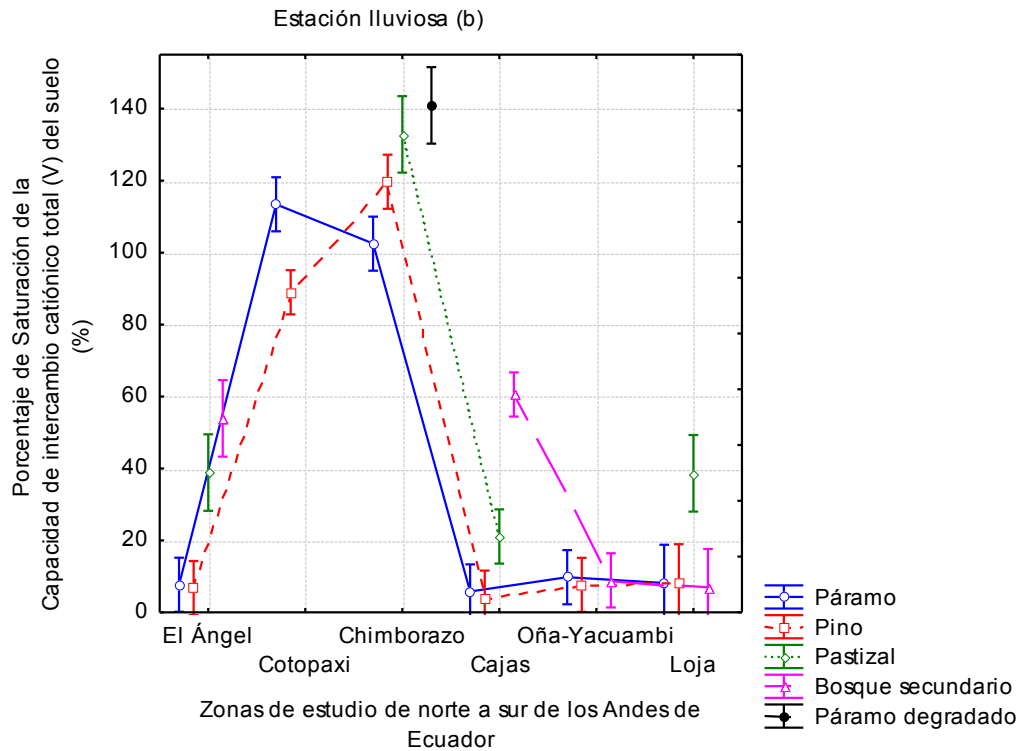
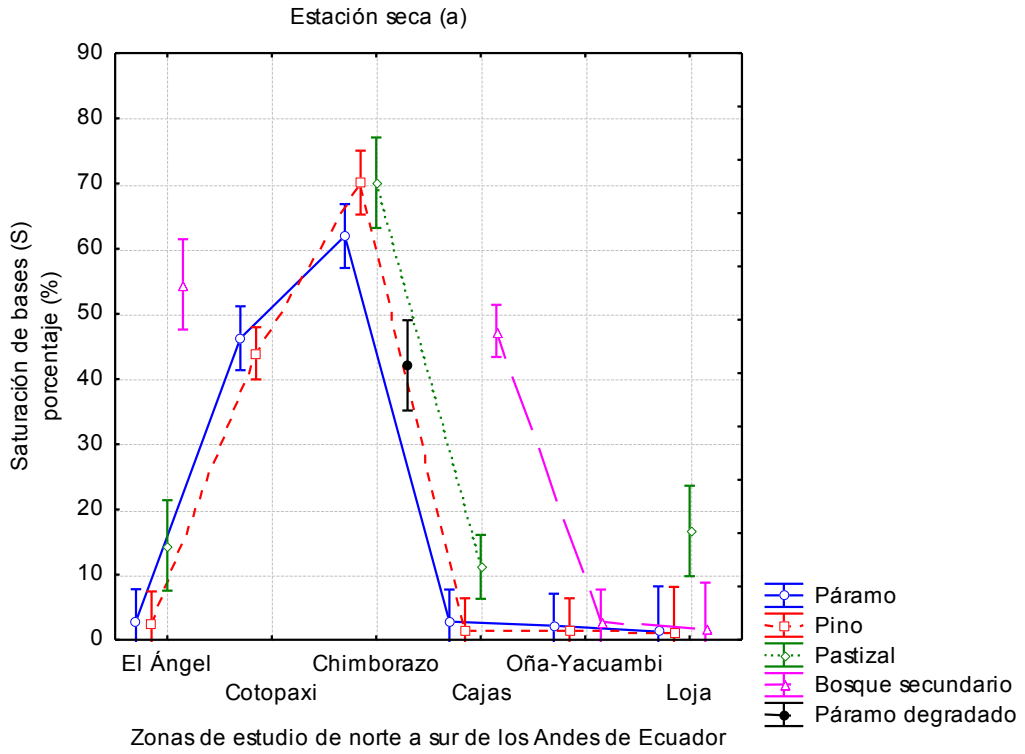


Figura 4.2.11.2. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

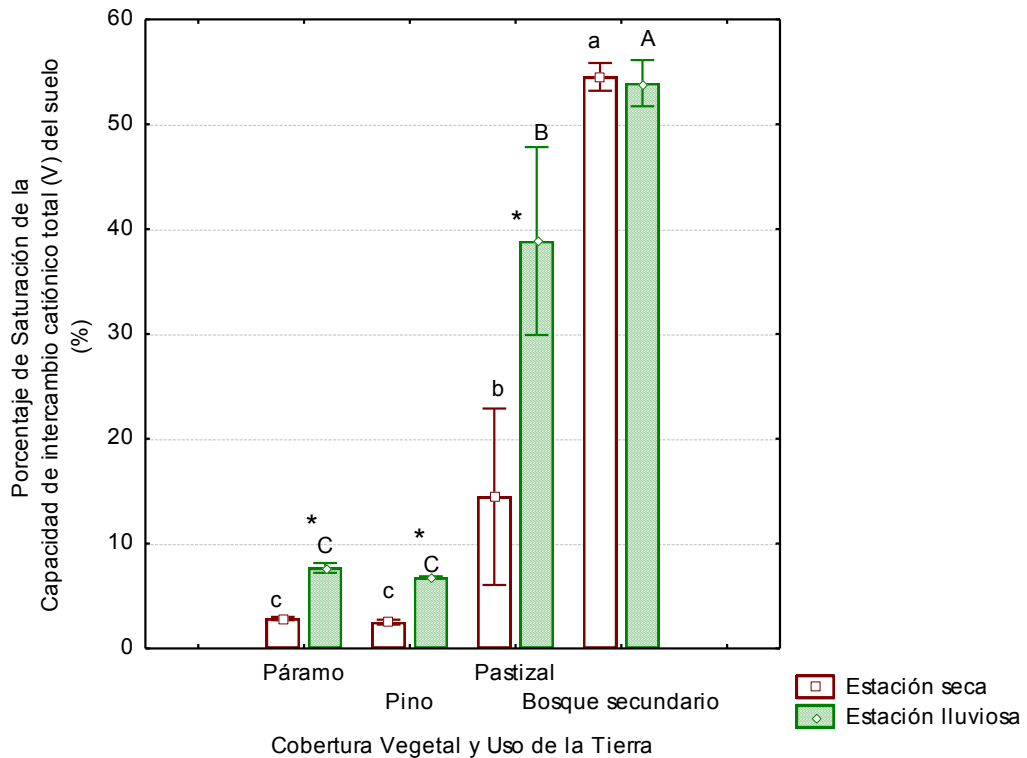


Figura 4.2.11.3. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

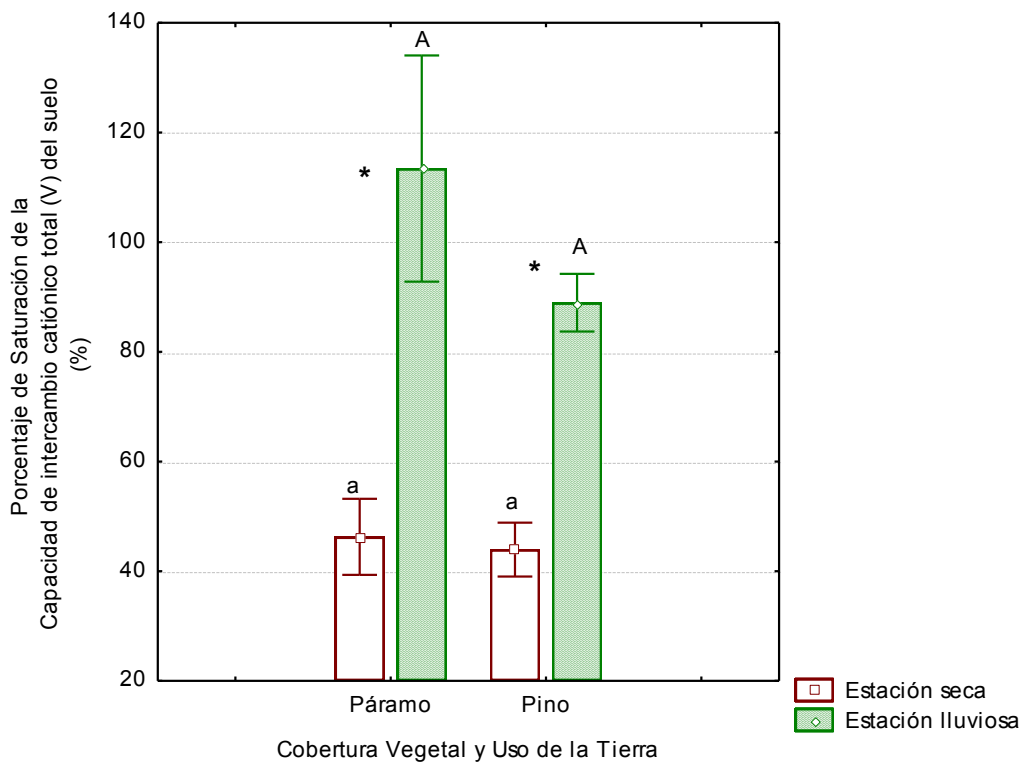


Figura 4.2.11.4. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

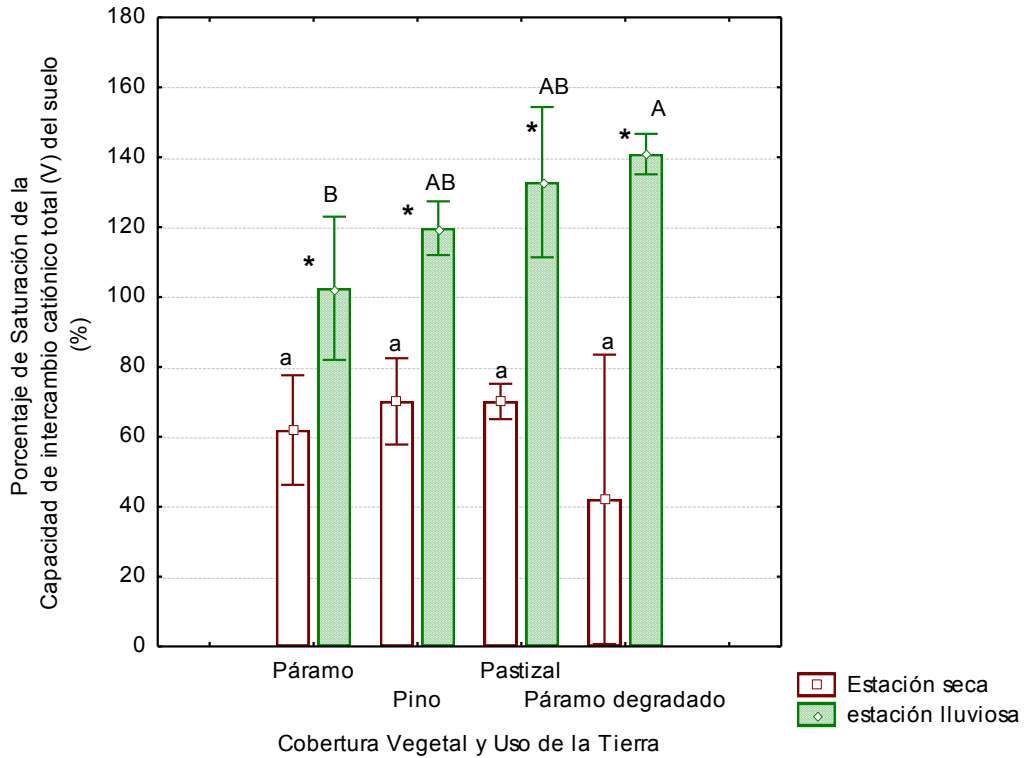


Figura 4.2.11.5. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar

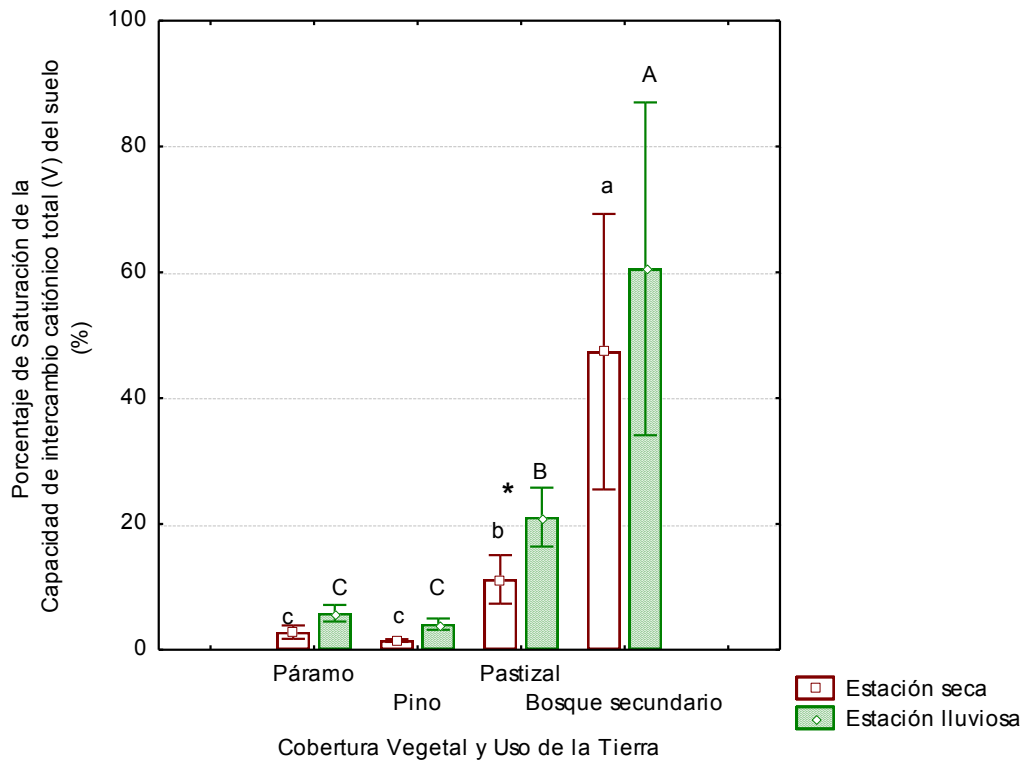


Figura 4.2.11.6. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

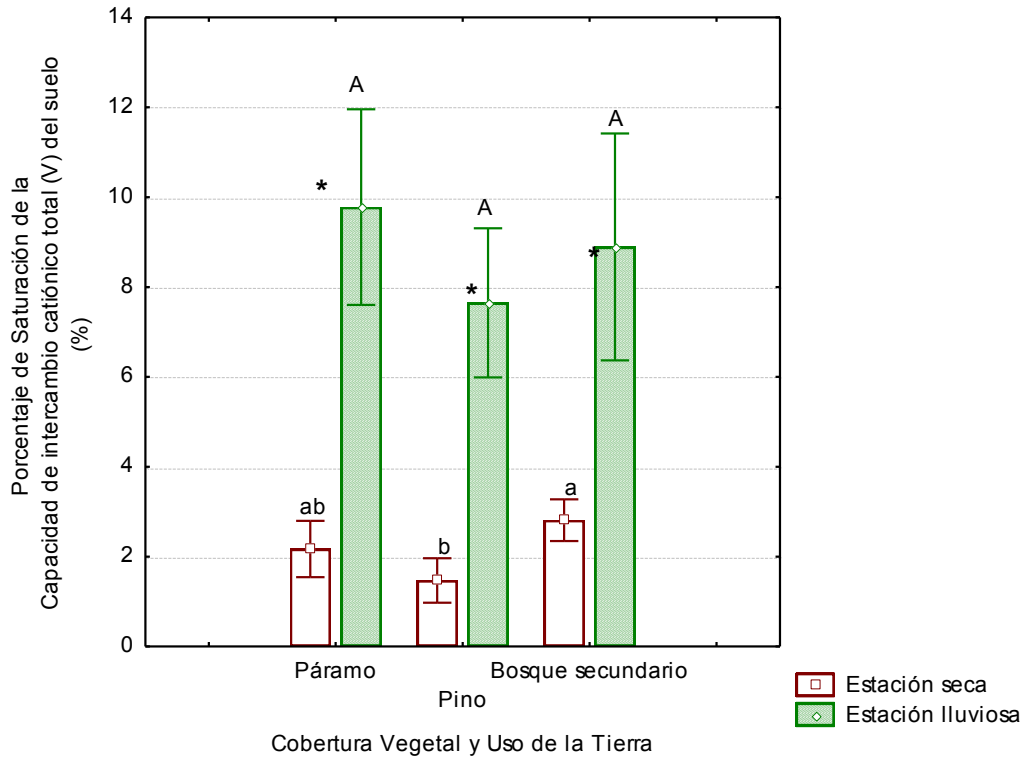


Figura 4.2.11.7. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

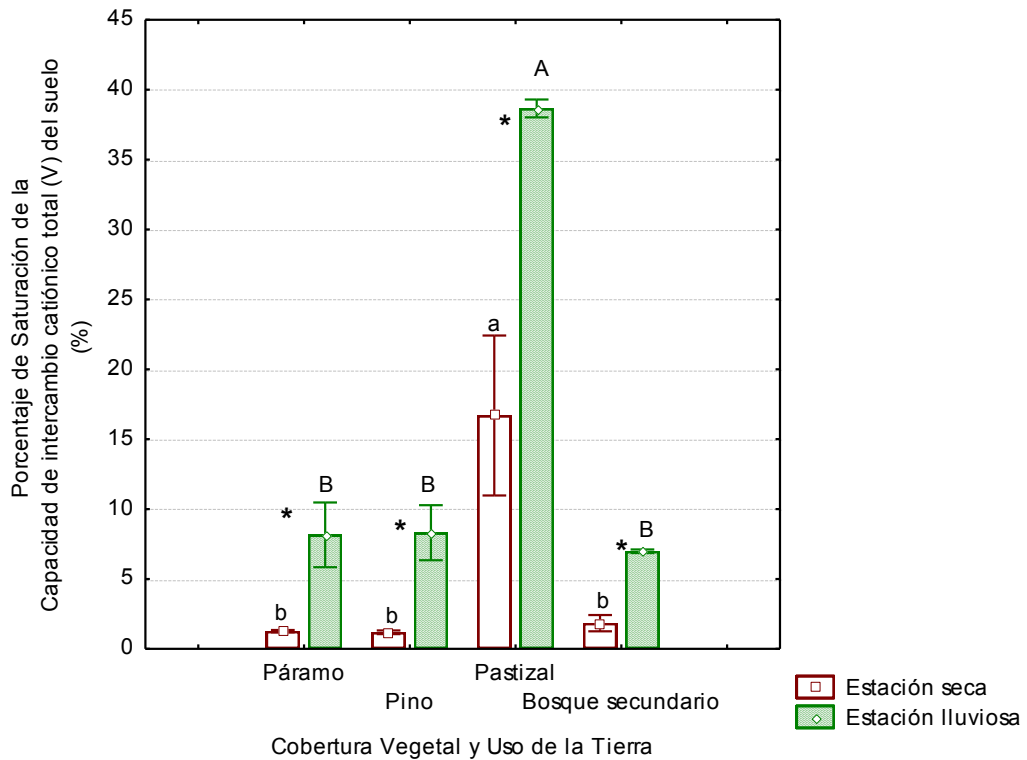


Figura 4.2.11.8. Porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

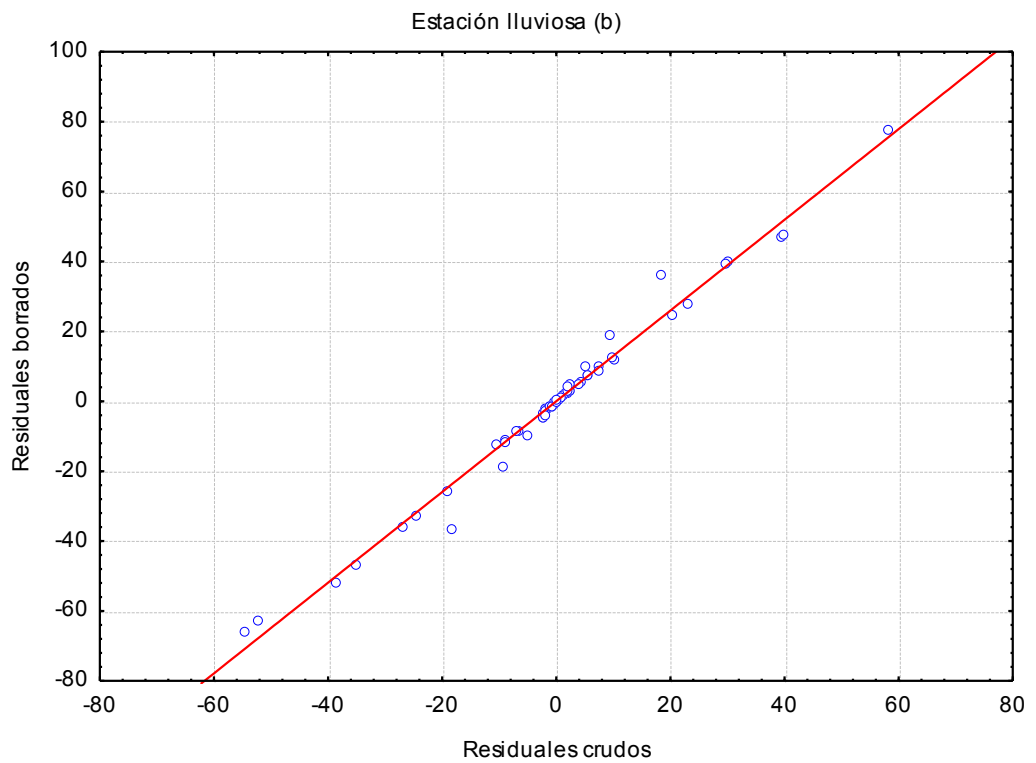
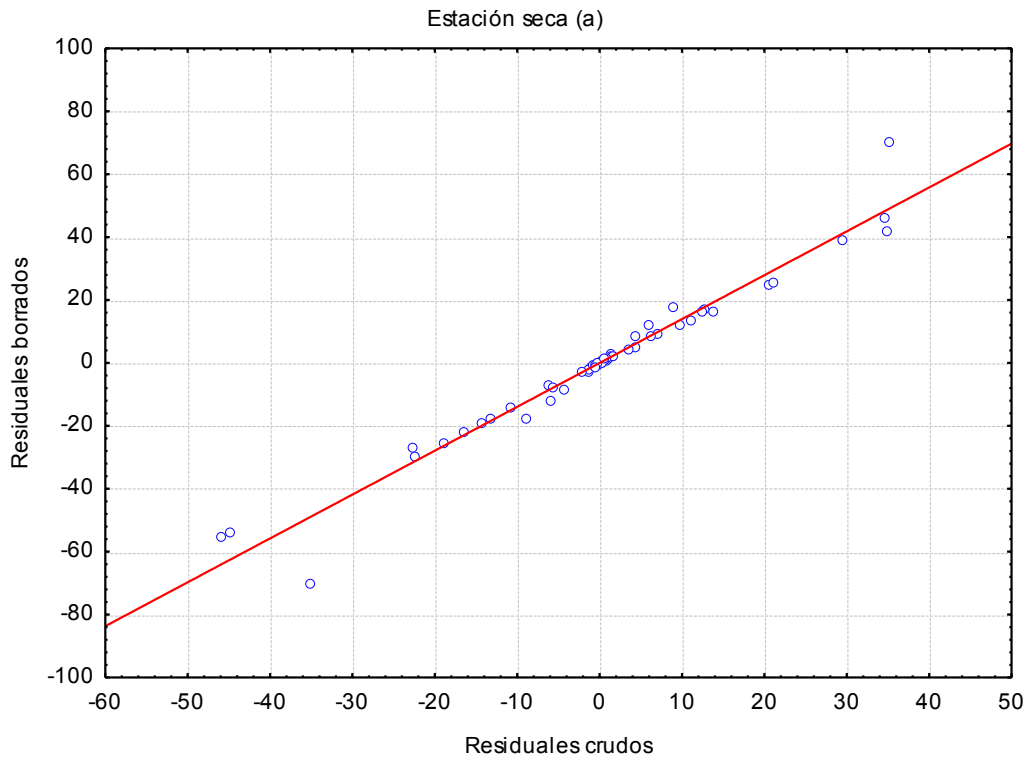


Figura 4.2.11.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de porcentaje de Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total (V) del suelo. Estación seca (a) y Estación lluviosa (b).

## C- EFECTO DE LA CVUT SOBRE LAS VARIABLES BIOQUÍMICAS DEL SUELO

### 4.2.12. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable COS del suelo en parcelas de la región Alto-Andina de Ecuador

El rango promedio del contenido de COS (0 - 20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 43 y 362 Mg C ha<sup>-1</sup> (Tabla 4.2.12.1.; Fig. 4.2.12.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de dos factores con medidas repetidas* indicaron que no hubo diferencias significativas en el contenido de COS entre la época seca y la época lluviosa (Tabla 4.1.7.2); por lo que se consolidaron los datos de las dos temporadas climáticas en una sola cohorte previa a evaluar estadísticamente el efecto de la CVUT y de la Zona de estudio sobre la variable COS.

Así, los resultados del *Anova con factor anidado* (utilizando los datos consolidados) indicaron muy significativamente que el principal factor que influyó sobre el contenido de COS fue la Zona de estudio y que el factor CVUT, también tuvo efectos fuertemente significativos sobre el COS dentro de cada una de las zonas (Tabla 4.1.7.3.).

Los resultados de la prueba *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio, indicaron que en los sitios del Cajas hubo significativamente mayor contenido de COS que en los sitios de todas las demás zonas de estudio (Fig. 4.2.12.1.): Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,01^*$ ) y Loja ( $p < 0,05^*$ ). También indicaron que la zona del Ángel tuvo significativamente mayor contenido de COS que la zona del Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ) y del Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ). No existieron diferencias significativas de contenido total de COS entre las zonas del Ángel, Oña-Yacuambi y Loja.

Finalmente, los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este tuvo un efecto significativo sobre la variable COS en todas las zonas de estudio con excepción de la zona de Loja. Sin embargo, tal como se describe a continuación, el efecto de la CVUT sobre el COS tuvo diferentes patrones en cada una de las zonas.

#### COS bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

El contenido de COS estuvo asociado a la CVUT en la zona del Ángel (Fig. 4.2.12.3.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que los suelos bajo Páramo tuvieron

significativamente mayor contenido de COS que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,005^{**}$ ); también indicaron que los sitios bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de COS que los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{**}$ ).

#### Contenido de COS bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

Existieron diferencias significativas asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.12.4.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que el contenido de COS fue significativamente mayor en los sitios bajo Pino que en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^{**}$ ).

#### Contenido de COS bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

El COS estuvo significativamente asociado a la CVUT (Fig 4.2.12.5.). Los resultados de la prueba posterior *LSD* indicaron que los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de COS que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). No existieron diferencias de COS significativas entre los sitios de Páramo y de Pino ( $p > 0,05$ ). Además, como era de esperarse, los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor COS que los sitios bajo Páramo degradado ( $p < 0,05^{*}$ ), así como también, los sitios bajo Pino tuvieron mayor COS que los sitios de Páramo degradado ( $p < 0,05^{*}$ ).

#### Contenido de COS bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

El COS varió significativamente de acuerdo la CVUT (Fig. 4.2.12.6.). Los resultados de la prueba *LSD* indicaron que los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de COS que los suelos bajo Pino ( $p < 0,005^{**}$ ), bajo Pastizal ( $p < 0,005^{**}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ). También indicaron que los sitios bajo Pino no tuvieron significativamente mayor COS que los sitios bajo Pastizal ( $p > 0,05$ ) y bajo Bosque secundario ( $p > 0,05$ ). Además, mostraron que los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de COS que los sitios bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ).

#### Contenido de COS bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

La variable COS estuvo significativamente asociada al factor CVUT (Fig. 4.2.12.7.). Según los resultados de la prueba posterior *LSD* los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de COS que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,005^{**}$ ) pero este contenido de COS no fue significativamente mayor que los sitios bajo Pino.

Contenido de COS bajo diferente CVUT en la zona de Loja

No hubo efectos significativos del factor CVUT sobre la variable contenido de COS (Fig. 4.2.12.8.).

Análisis estadísticos previos

La prueba de ecuación de regresión indicó que los datos de contenidos absolutos de COS (Mg C ha<sup>-1</sup>) tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,91; *F* = 12,94; *p*<0,001\*\*\*) como en la lluviosa (*múltiple R* = 0,92; *F* = 14,71; *p*<0,001\*\*\*)).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos estimados de la cantidad de COS bajo los diferentes tipos de CVUT en Mg C ha<sup>-1</sup> tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.12.9.) tanto en la temporada seca (*W* = 0,96; *p*<0,05\*) cómo en la temporada lluviosa (*W* = 0,96; *p*<0,05\*).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos de COS (Mg C ha<sup>-1</sup>) tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca (*F* = 2,11; *p*<0,05\*) como los de la temporada lluviosa (*F* = 3,13; *p*<0,001\*\*\*).

Tabla 4.2.12.1. Contenido de COS del suelo bajo diferente CVUT en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Zona         | n  | Páramo                         |      | Pino                           |     | Pastizal                       |    | Bosque secundario              |      | Páramo degradado               |     | Promedio general               |    |     |      |   |
|--------------|----|--------------------------------|------|--------------------------------|-----|--------------------------------|----|--------------------------------|------|--------------------------------|-----|--------------------------------|----|-----|------|---|
|              |    | media (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | EE   | media (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | EE  | media (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | EE | media (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | EE   | media (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | EE  | media (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | EE |     |      |   |
| El Ángel     | 24 | 193                            | ± 10 | ab                             | 218 | ± 12                           | a  | 129                            | ± 4  | c                              | 169 | ± 16                           | b  | 187 | ± 9  | B |
| Cotopaxi     | 20 | 43                             | ± 7  | b                              | 63  | ± 3                            | a  | -                              | -    | -                              | -   | -                              | -  | 55  | ± 4  | D |
| Chimborazo   | 24 | 80                             | ± 5  | b                              | 80  | ± 10                           | b  | 258                            | ± 25 | a                              | -   | -                              | 45 | ± 3 | c    | C |
| Cajas        | 36 | 362                            | ± 23 | a                              | 289 | ± 18                           | bc | 296                            | ± 11 | b                              | 256 | ± 19                           | c  | 296 | ± 11 | A |
| Oña-Yacuambi | 24 | 133                            | ± 19 | b                              | 172 | ± 21                           | a  | -                              | -    | -                              | 200 | ± 21                           | a  | 168 | ± 12 | B |
| Loja         | 16 | 176                            | ± 21 | a                              | 153 | ± 14                           | a  | 145                            | ± 18 | a                              | 141 | ± 35                           | a  | 154 | ± 11 | B |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E y F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.



Tabla 4.2.12.2. Efecto de medidas repetidas (estación climática) sobre el contenido de COS en la región Alto-Andina de Ecuador

| <i>Efecto</i>                 | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Gardos de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| Estación                      | 2888                     | 1                         | 2888      | 3,27     | 0,08     |
| Estación*Zona de estudio      | 2409                     | 5                         | 482       | 0,55     | 0,74     |
| Estación*CVUT                 | 1851                     | 4                         | 463       | 0,52     | 0,72     |
| Estación*Zona de estudio*CVUT | 5117                     | 11                        | 465       | 0,53     | 0,88     |
| Error                         | 45051                    | 51                        | 883       |          |          |

Tabla 4.2.12.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el contenido de COS en la región Alto-Andina de Ecuador

| <i>Efecto</i>                  | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Gardos de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
| Intercepción                   | 3659974                  | 1                         | 3659974   | 1936     | 0,000000*** |
| Zona de estudio                | 922742                   | 5                         | 184548    | 98       | 0,000000*** |
| CVUT anidado a Zona de estudio | 218349                   | 15                        | 14557     | 8        | 0,000000*** |
| Error                          | 232520                   | 123                       | 1890      |          |             |

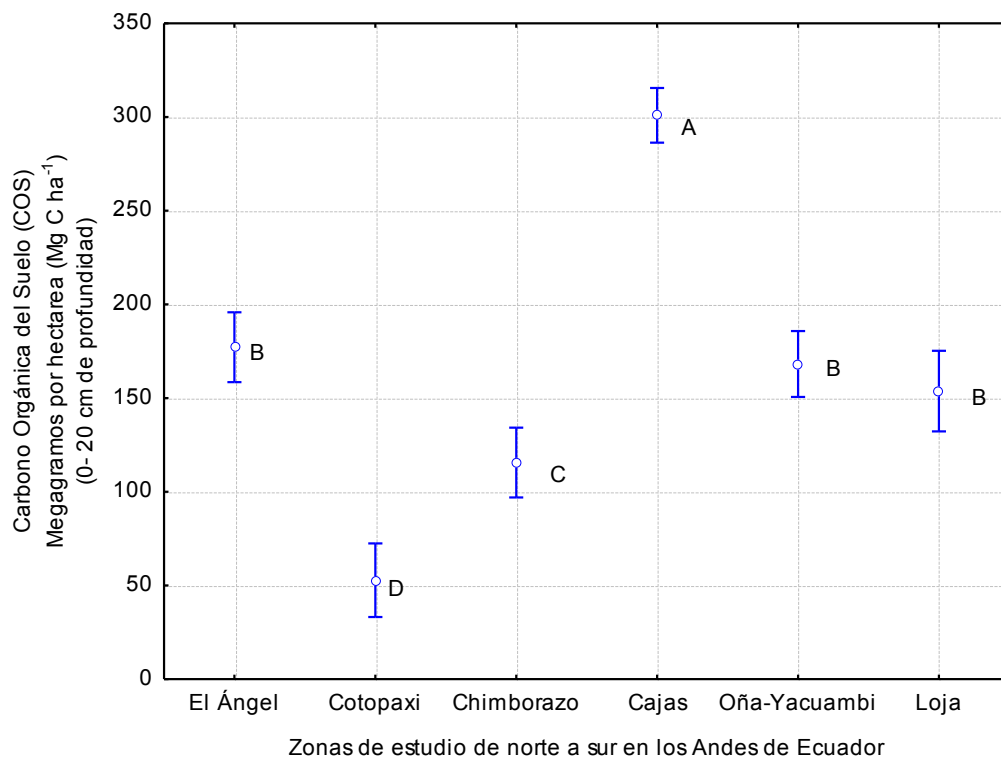


Figura 4.2.12.1. COS en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. La barra (I) indica la desviación estándar y las letras las diferencias significativas.

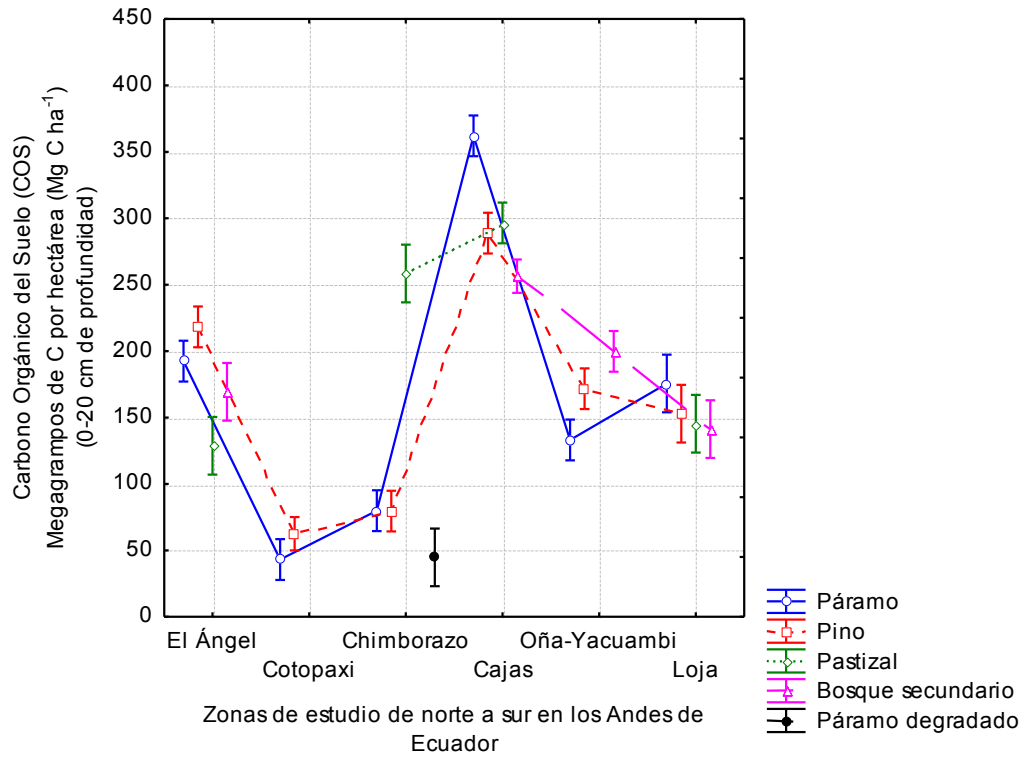


Figura 4.2.12.2. COS bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. La barra (I) son los intervalos de confianza al 95%.

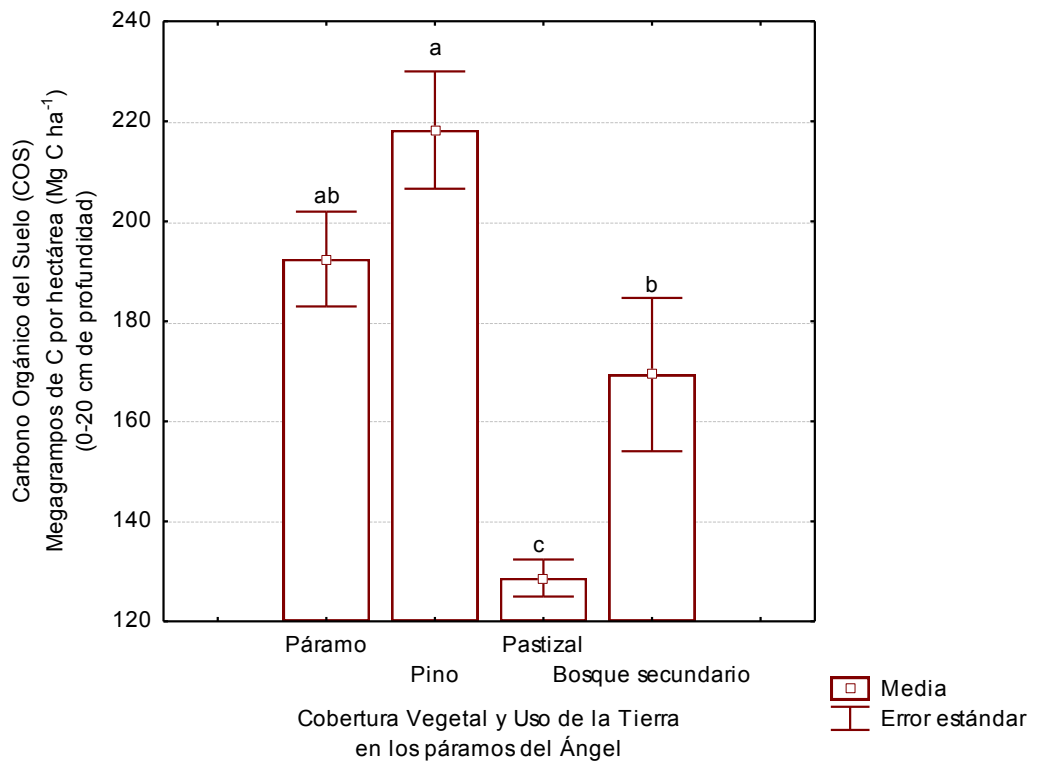


Figura 4.2.12.3. Contenido de COS del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

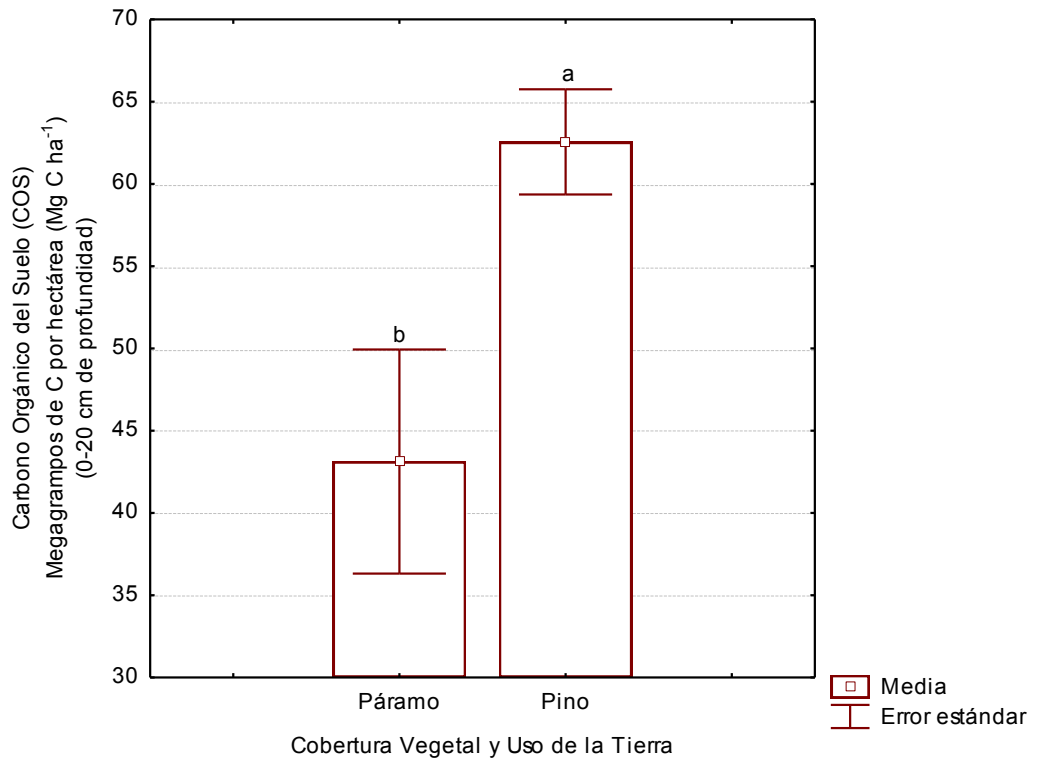


Figura. 4.2.12.4 Contenido de COS del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

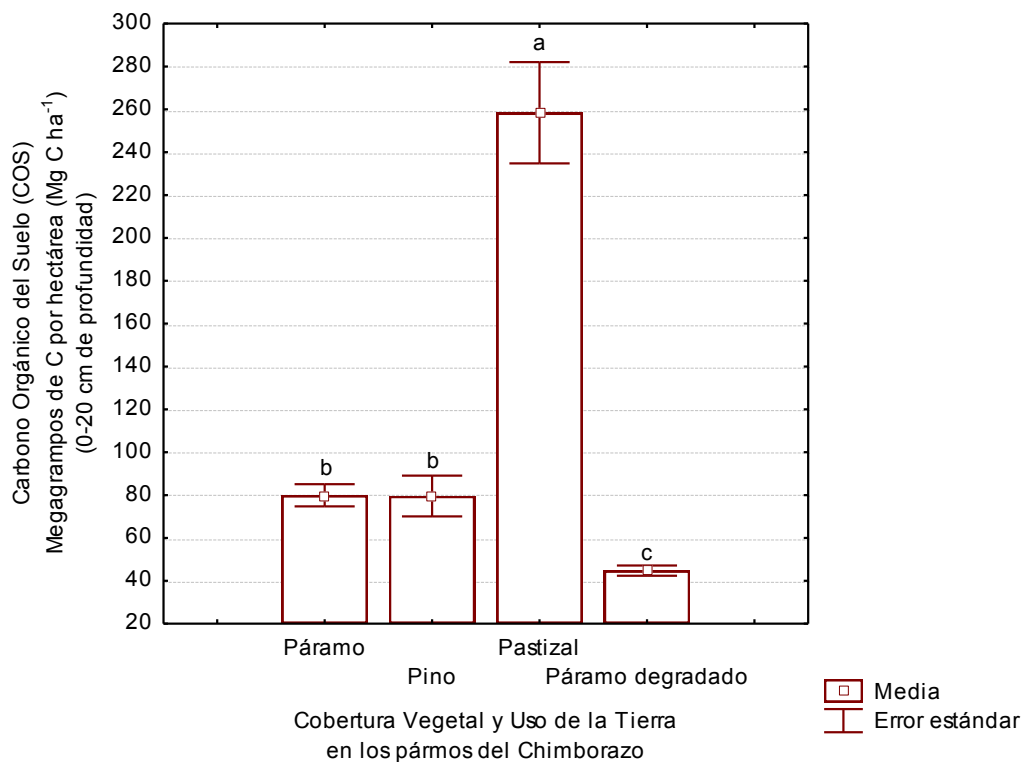


Figura. 4.2.12.5. Contenido de COS del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

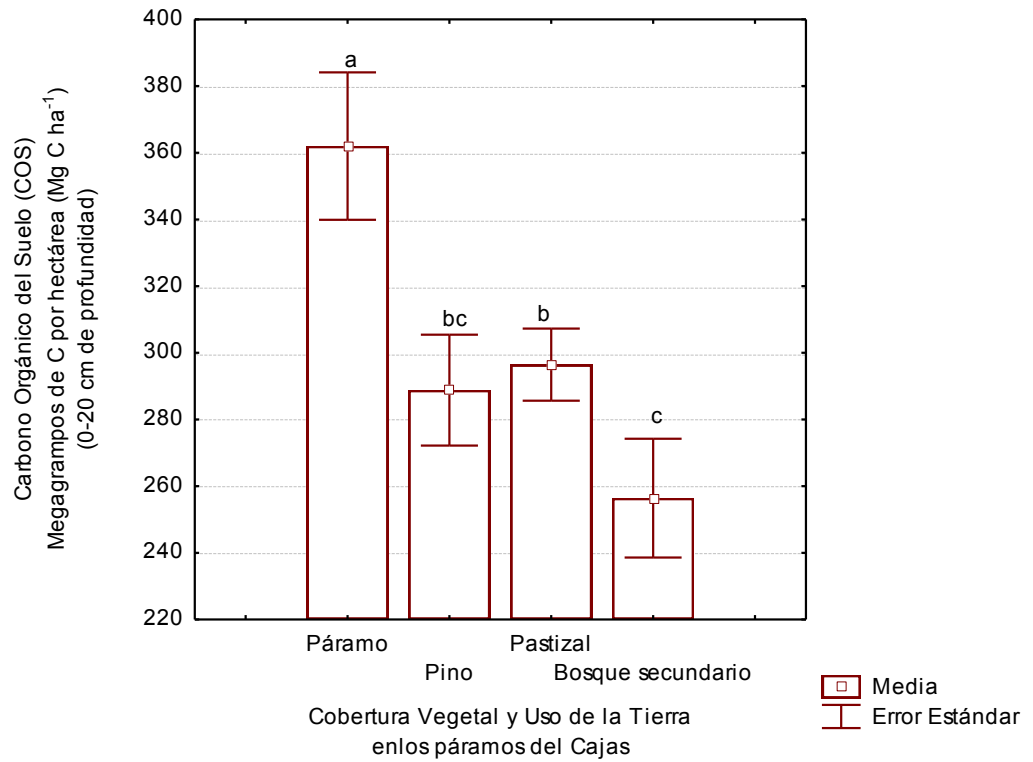


Fig. 4.2.12.6. Contenido de COS del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

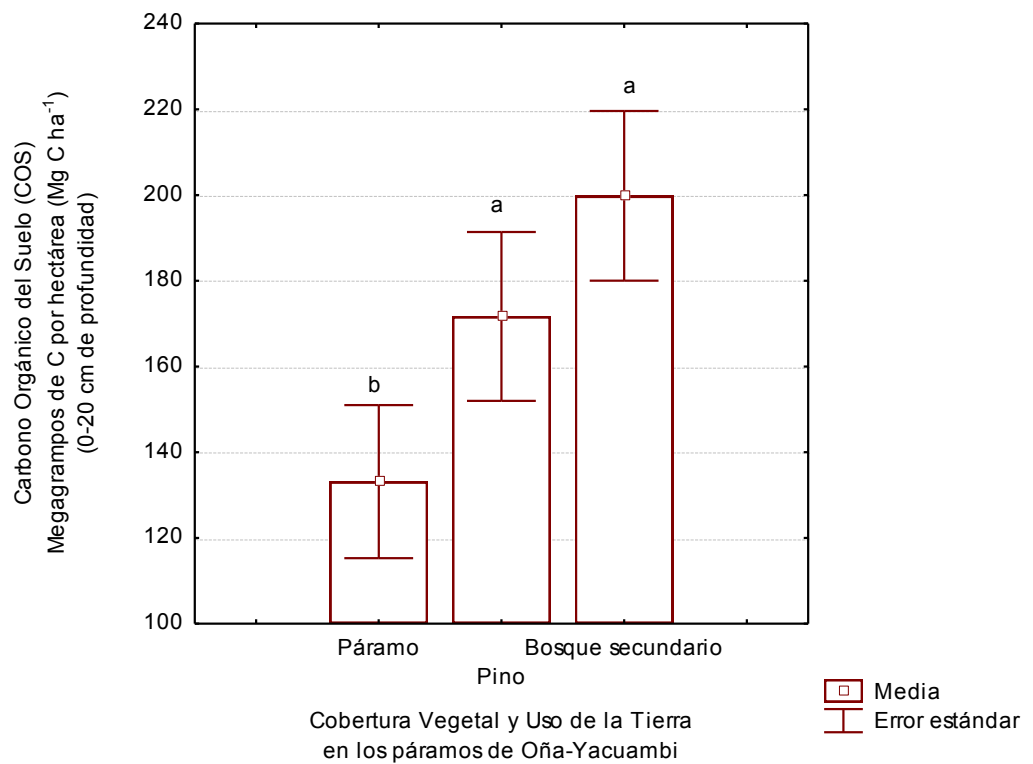


Fig. 4.2.12.7. Contenido de COS del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

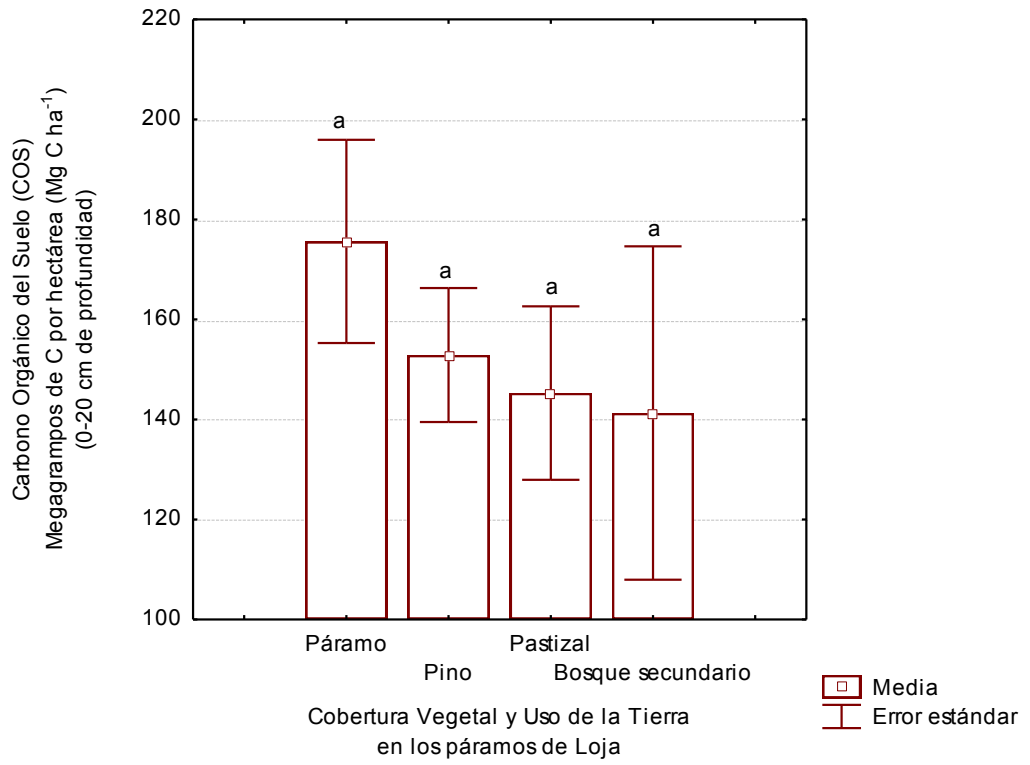


Fig. 4.2.12.8. Contenido de COS del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

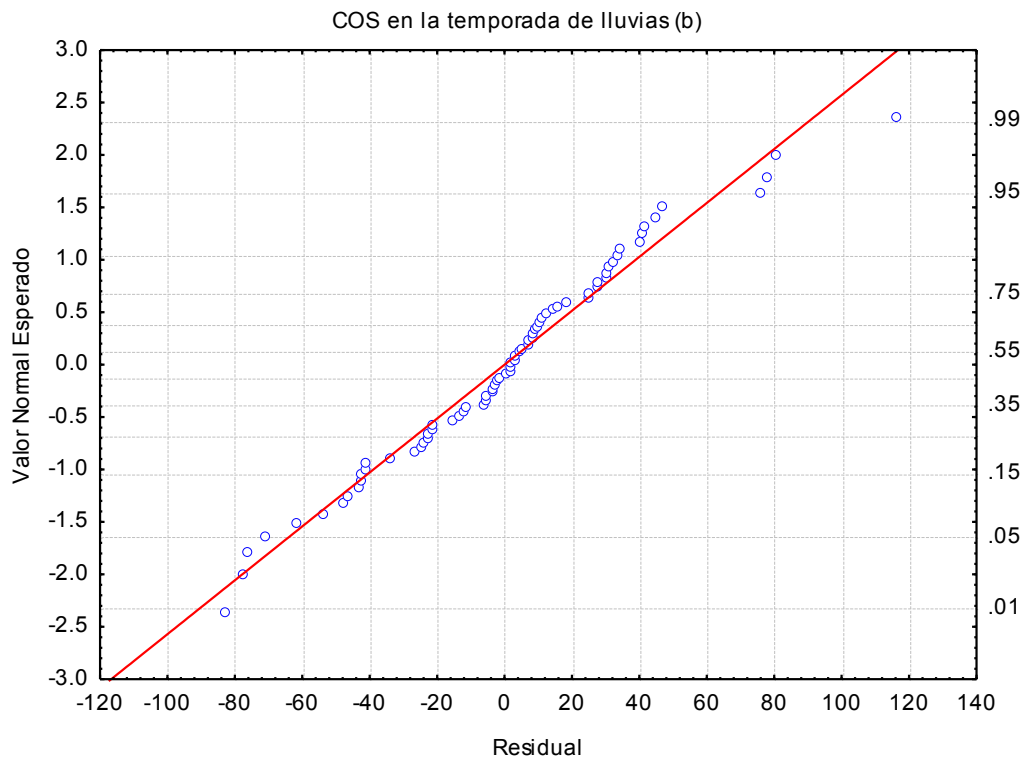
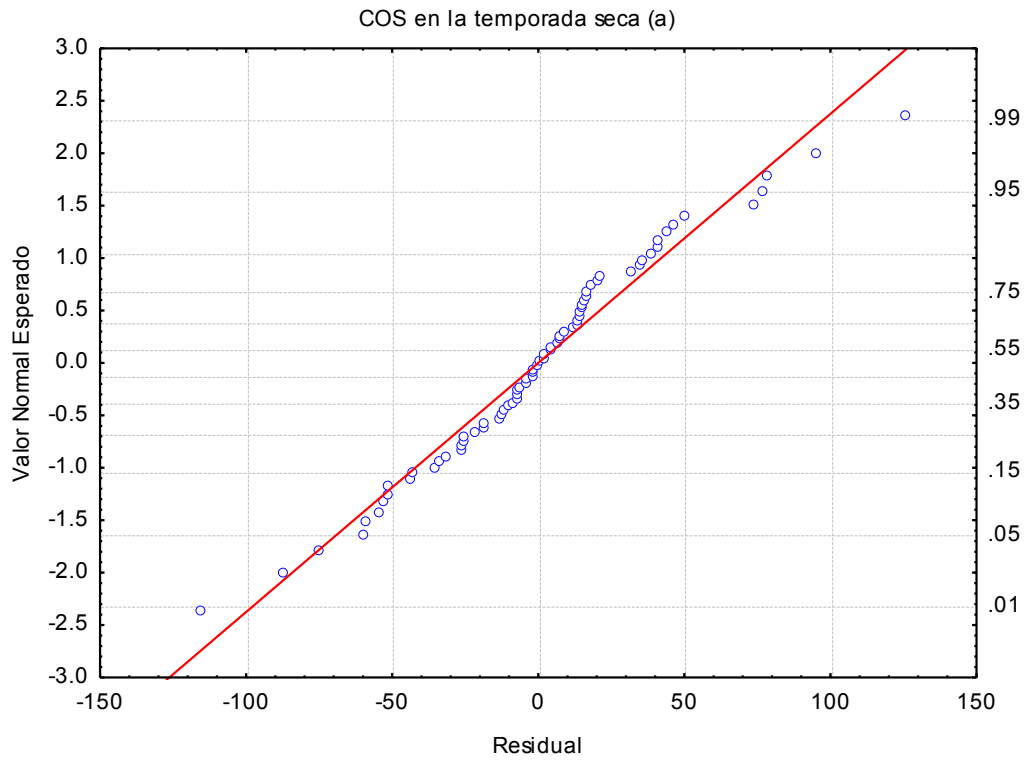


Figura 4.2.12.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales crudos de COS ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ) para los datos de las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

#### **4.2.13. Efecto de los factores Zona de estudio y CVUT sobre la variable Carbono Orgánico Lábil (COL) del suelo (% en relación al COS) en la región Alto-Andina del Ecuador**

El rango promedio del % de COS que corresponde a COL (0–20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 0,21 y 2,2 8%; mientras que el rango promedio por zona de estudio estuvo entre 0,41 y 1.41 % (Tabla 4.2.13.1.; Fig. 4.2.13.2.).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable % de COS que corresponde a COL (Tabla 4.2.13.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.13.2.), indicaron que en la estación seca, los suelos de la zona del Chimborazo tuvieron significativamente mayor % de COS que corresponde a COL, que los suelos de las zonas del Ángel ( $p<0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,01^{**}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,01^{**}$ ). También indicaron que los suelos de la zona de Loja tuvieron significativamente mayor % de COS que corresponde a COL, que lo suelos de las zonas del Ángel ( $p<0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p<0,001^{***}$ ), Cajas ( $p<0,01^{**}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p<0,01^{**}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyo significativamente sobre la variable % de COS que corresponde a COL, en todas las zonas de estudio, es decir, el Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se describen a continuación.

##### *Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

El factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable menor % de COS que corresponde a COL (Fig. 4.2.13.3.). En la temporada seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor % de COS que corresponde a COL, que los suelos bajo Pino ( $p<0,001^{***}$ ), Pastizal ( $p<0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ); también, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor % de COS que corresponde a COL, que los suelos bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ )

##### *Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona de Cotopaxi*

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor % de COS que corresponde a COL que los suelos bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ). (Figura 4.2.13.4.).

Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

En los sitios del Chimborazo también la CVUT tuvo un efecto significativo sobre el % de COS que corresponde a COL (Fig. 4.2.13.5.). En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor % de COS que corresponde a COL, que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ), bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ); también, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente menor % de COS que corresponde a COL que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,01^{**}$ ).

Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

La CVUT afectó significativamente el % de COS correspondiente a COL (Fig. 4.2.13.6.). En la temporada seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor % de COS correspondiente a COL, que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); también, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente menor % de COS correspondiente a COL que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^{*}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ).

Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor % de COS correspondiente a COL, que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ); también, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente menor % de COS correspondiente a COL, que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^{*}$ ; Fig. 4.2.13.7.).

Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En Loja como en las demás zonas, la CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable % de COS correspondiente a COL (Fig. 4.2.13.8.)

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor % de COS correspondiente a COL, que los suelos bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ); también, los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente menor % de COS correspondiente a COL, que los suelos bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal



( $p < 0,001^{***}$ ); y además, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente menor % de COS correspondiente a COL que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ )

#### Análisis estadísticos previos

Los resultados de la prueba de ecuación de regresión indicaron que los datos de % de COS que corresponde a COL, bajo diferente CVUT, tuvieron linealidad ( $R = 0,78$ ;  $F = 3,90$ ;  $p < 0,001^{***}$ )

Por su parte, la prueba *Shapiro-Wilk* indicó que los datos de % de COS que corresponde a COL tuvieron normalidad significativa ( $W = 0,73431$  y  $p < 0,001^{***}$ ; Fig. 4.2.13.9.)

Además, la prueba *Levene* indico que los datos de % de COS que corresponde a COL tuvieron homogeneidad de las varianzas ( $F = 9,38$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.13.1. Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

| Zona         | n  | Páramo      |    | Pino        |    | Pastizal    |    | Bosque secundario |    | Páramo degradado |    | Promedio general |    |
|--------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------------|----|------------------|----|------------------|----|
|              |    | media %     | EE | media %     | EE | media %     | EE | media %           | EE | media %          | EE | media %          | EE |
| El Ángel     | 12 | 0,21 ± 0,02 | c  | 0,65 ± 0,14 | a  | 0,45 ± 0,07 | ab | 0,41 ± 0,10       | b  | -                | -  | 0,43 ± 0,15      | B  |
| Cotopaxi     | 10 | 0,24 ± 0,02 | b  | 0,57 ± 0,07 | a  | -           | -  | -                 | -  | -                | -  | 0,41 ± 0,16      | B  |
| Chimborazo   | 12 | 0,60 ± 0,17 | b  | 0,83 ± 0,12 | b  | 1,91 ± 0,66 | a  | -                 | -  | 2,28 ± 0,82      | a  | 1,41 ± 0,15      | A  |
| Cajas        | 18 | 0,29 ± 0,01 | b  | 0,66 ± 0,23 | a  | 0,31 ± 0,06 | b  | 1,07 ± 0,33       | a  | -                | -  | 0,58 ± 0,12      | B  |
| Oña-Yacuambi | 12 | 0,28 ± 0,06 | b  | 0,35 ± 0,08 | b  | -           | -  | 0,87 ± 0,22       | a  | -                | -  | 0,50 ± 0,14      | B  |
| Loja         | 8  | 0,87 ± 0,15 | c  | 2,13 ± 0,18 | a  | 1,29 ± 0,14 | b  | 0,78 ± 0,08       | c  | -                | -  | 1,27 ± 0,17      | A  |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.13.2. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la variable Porcentaje de COS que corresponde a COL, en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media suma cuadrados | F   | p           |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----|-------------|
| Intercepción                    | 41                | 1                  | 41                   | 173 | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | 10                | 5                  | 2                    | 9   | 0,000006*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | 11                | 15                 | 1                    | 3   | 0,001249*** |
| Error                           | 12                | 51                 | 0                    |     |             |

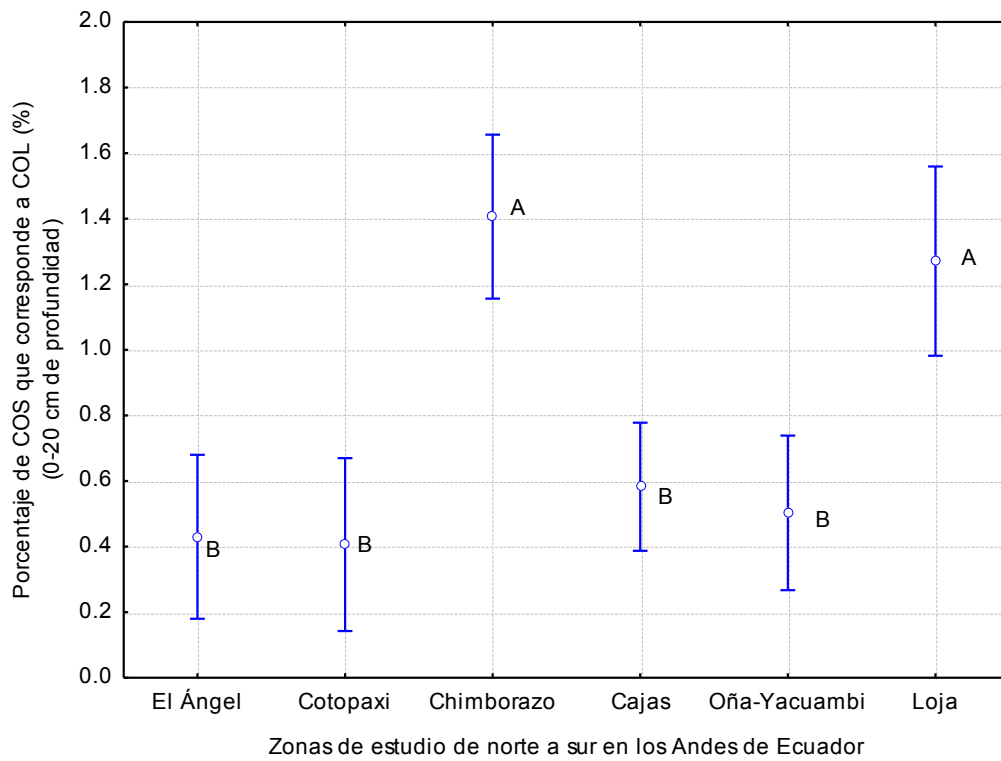


Figura 4.2.13.1. Porcentaje de COS que corresponde a COL en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

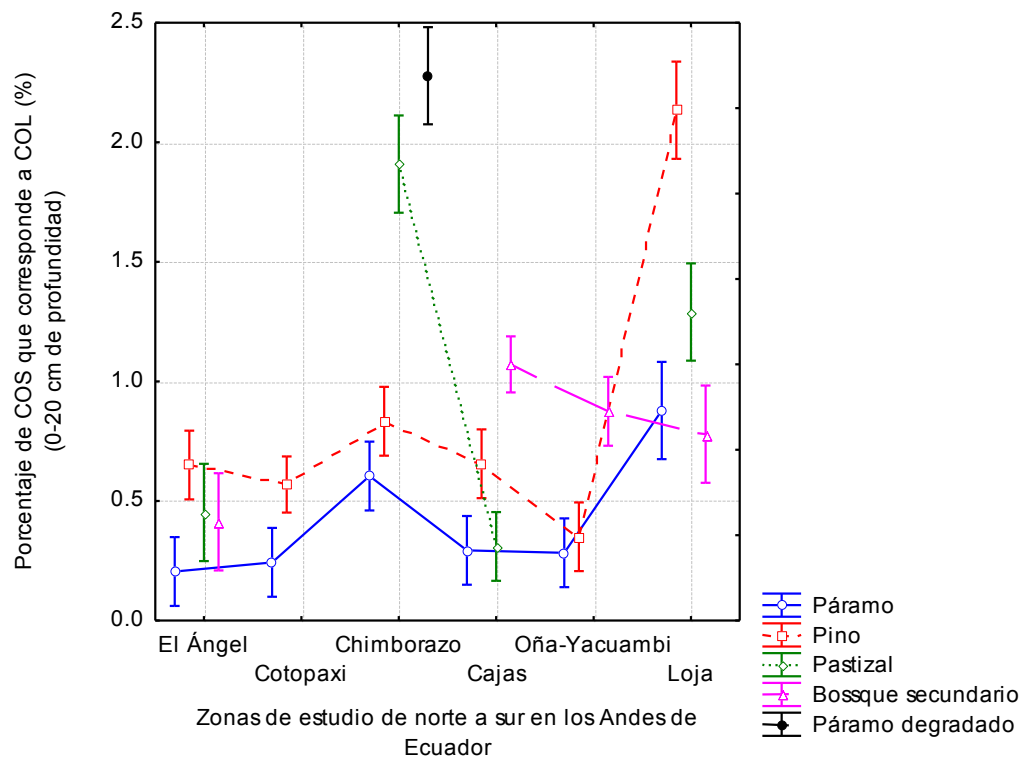


Figura 4.2.13.2. Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

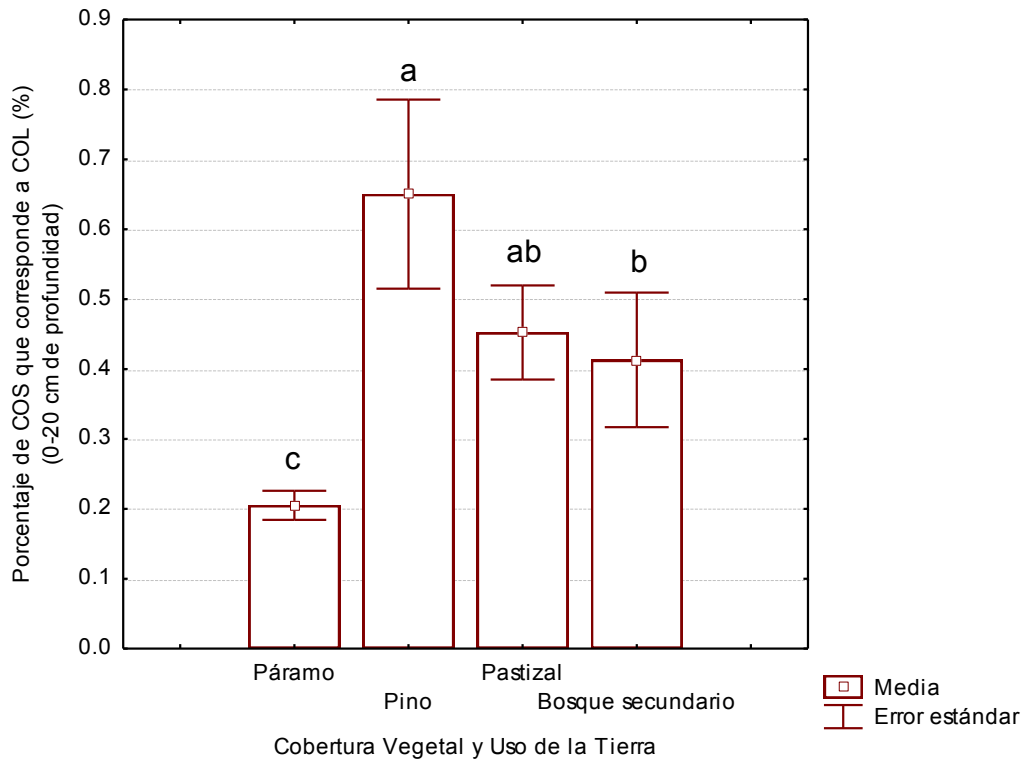


Figura 4.2.13.3. Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

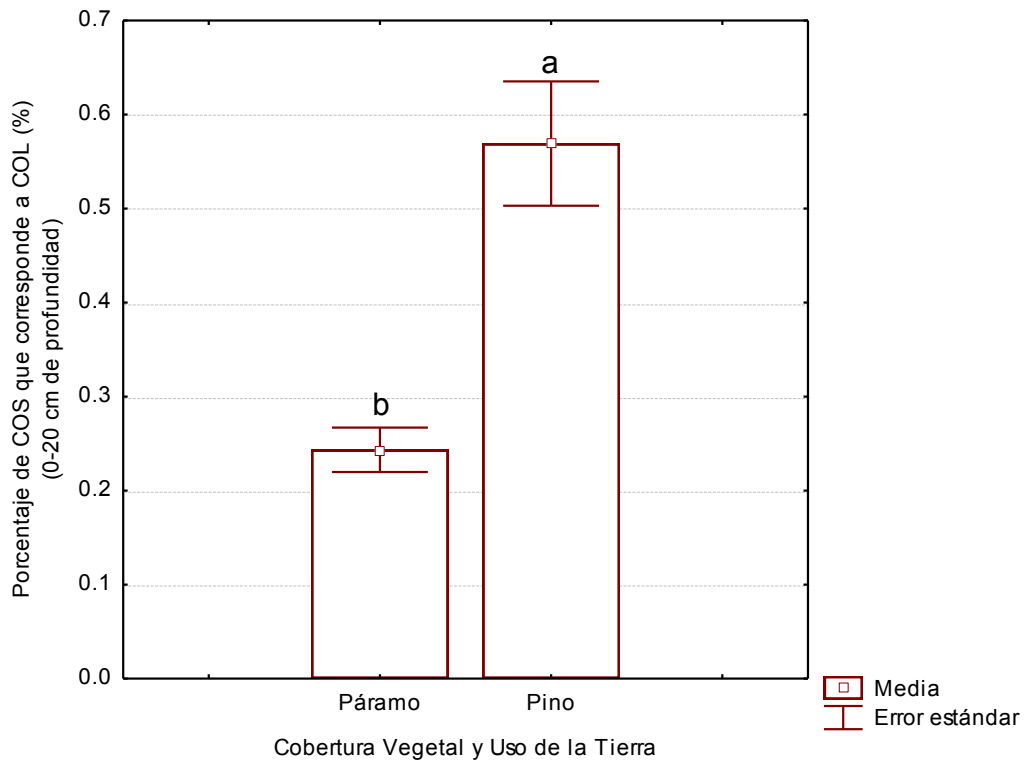


Figura 4.2.13.4. Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

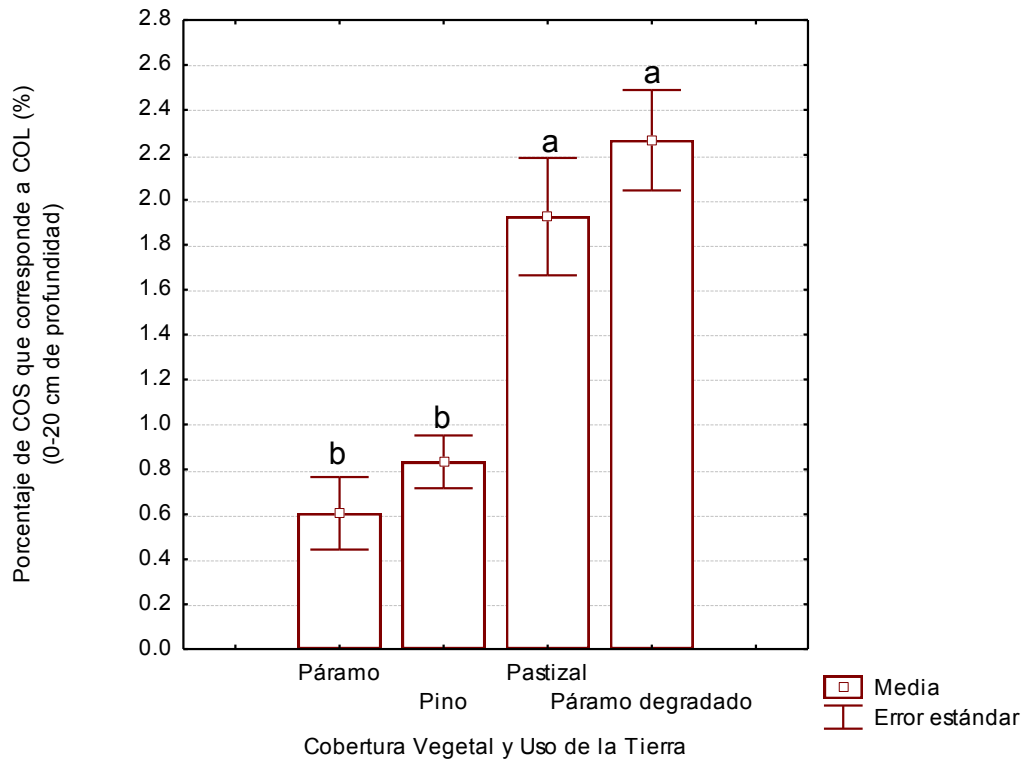


Fig. 4.2.13.5. Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

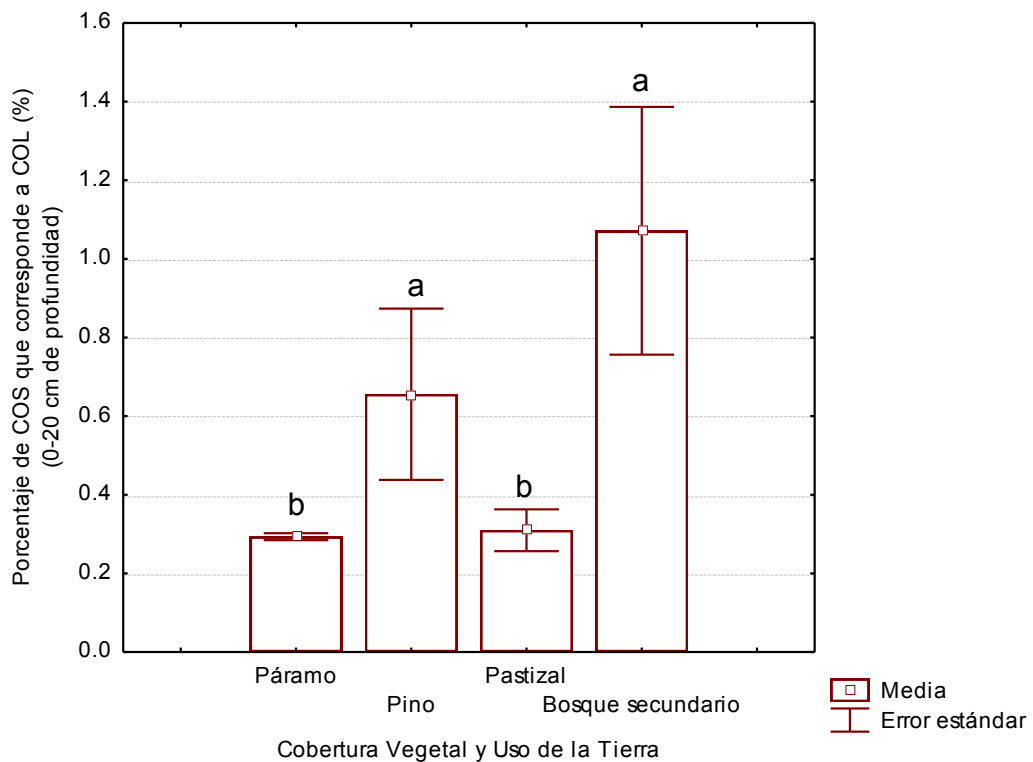


Figura 4.2.13.6. Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

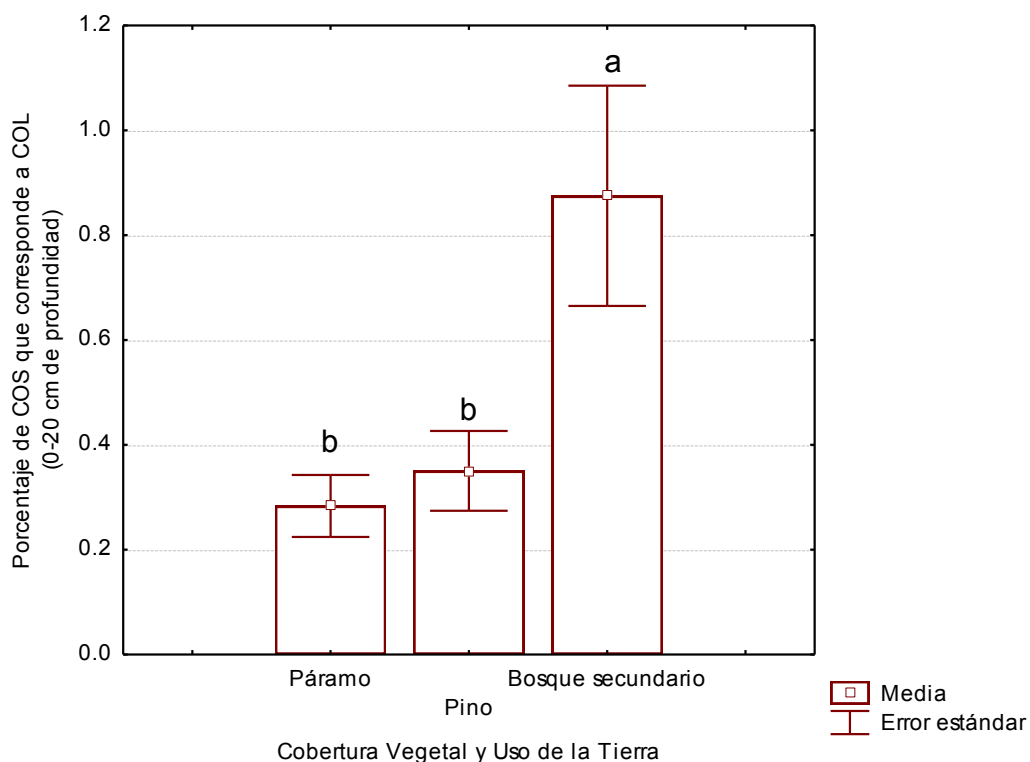


Fig. 4.2.13.7. Porcentaje de COS que corresponde a COL bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

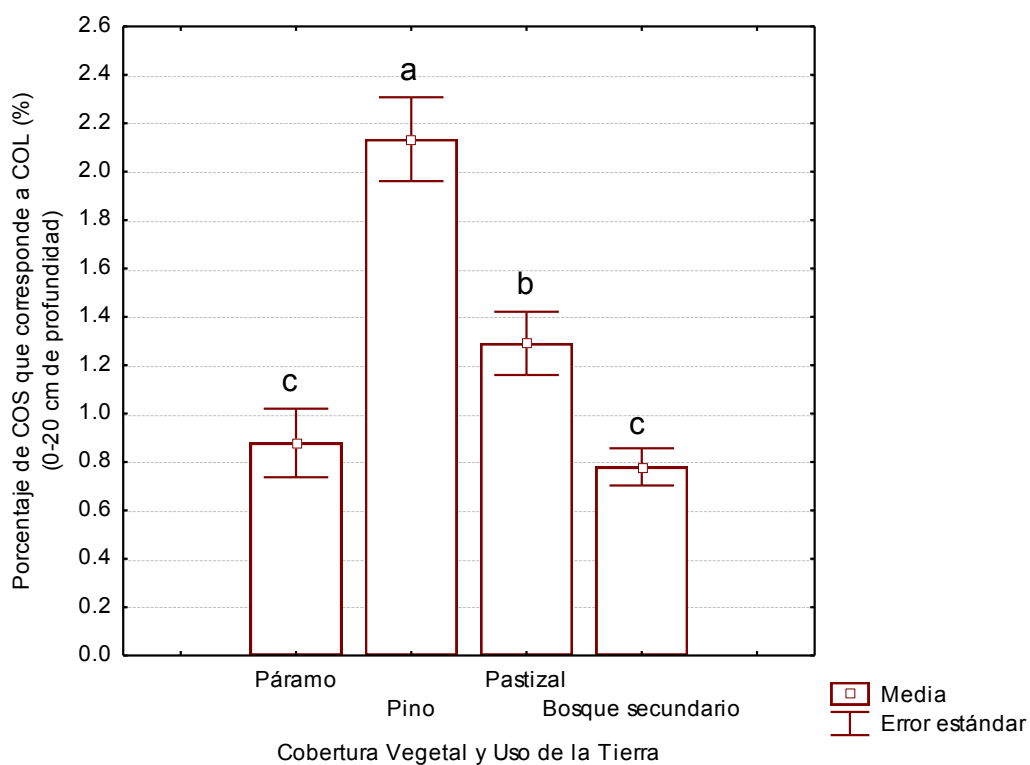


Figura 4.2.13.8. Porcentaje de COS que corresponde a COL, bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

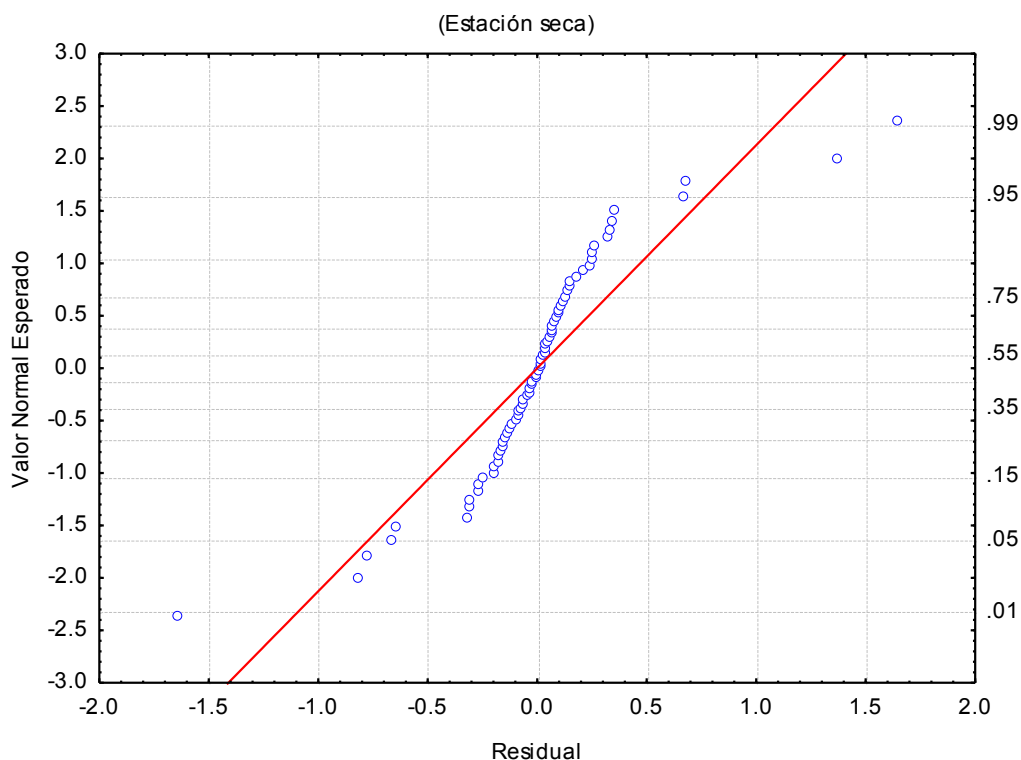


Fig. 4.2.13.9. Probabilidad de distribución Normal de los valores residuales del % de COS que corresponde a COL del suelo para los datos de la estación seca.

*-Efecto del factor CVUT sobre las variables del Nitrógeno del suelo-*

**4.2.14. Efecto del factor CVUT sobre la variable Nitrógeno total del suelo (NTS) en la región Alto-Andina de Ecuador**

El rango promedio de contenido de NTS (0 - 20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 2,58 y 22,34 Mg N ha<sup>-1</sup> para la temporada seca y entre 2,72 y 22,36 Mg N ha<sup>-1</sup> para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.14.1.; Fig. 4.2.14.2).

Los resultados del *Anova de medidas repetidas con dos factores* indicaron que no hubo efectos significativos de la estacionalidad sobre el contenido global de NTS, sin embargo, también indicaron que la estacionalidad tuvo efectos en combinación con los factores Zona de estudio y CVUT (Tabla 4.2.14.2).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT en las zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre el NTS específicamente en los sitios bajo

Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ) en la zona del Ángel (Fig. 4.2.14.3); y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ) en la zona de Oña-Yacuambi (Fig. 4.2.14.7.).

Por su parte, los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron efectos significativos sobre el contenido de NTS (Tabla 4.2.14.3.).

Los resultados de la prueba *LSD*. aplicada para evaluar las diferencias entre Zonas de estudio (Fig. 4.2.14.1.), indicaron que en la estación seca los sitios de la zona del Cajas tuvieron significativamente mayor NTS que los sitios de las demás zonas: Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ), y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ); lo mismo ocurrió en la temporada de lluvias, los sitios de la zona del Cajas tuvieron significativamente mayor NTS que los sitios de las demás zonas: Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados también indicaron que después del Cajas, los sitios de la zona del Ángel son los que tuvieron mayor NTS; en la temporada seca tuvieron mayor contenido que los sitios de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,005^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,05^*$ ); mientras que en la temporada lluviosa tuvieron mayor contenido que los sitios de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,005^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar los efectos del factor anidado CVUT, indicaron que este tuvo efectos significativos sobre el contenido de NTS específicamente en las zonas del Ángel, Chimborazo y el Cajas. Estos resultados y los de las demás zonas se describen con detalle a continuación.

#### *NTS bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

La influencia del factor CVUT sobre la variable NTS varió entre las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.14.3.).

En la estación seca no existieron diferencias significativas en el contenido de N del suelo asociadas a la CVUT. Por su parte, en la estación lluviosa, los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente menor contenido de NTS que los sitios bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ), bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); además, los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de NTS que los sitios bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### NTS bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa los efectos de la CVUT sobre el NTS no fueron significativos (Fig. 4.2.14.4.).

#### NTS bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

En las dos estaciones climáticas el contenido de NTS estuvo asociado la CVUT (Fig. 4.2.14.5.). En la estación seca los sitios bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de NTS que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). En la estación lluviosa también los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de N total que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). Además, los sitios bajo Páramo degradado presentaron significativamente menor contenido de NTS que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### NTS bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

En esta zona también, en las dos estaciones climáticas el contenido de NTS estuvo significativamente asociado con el factor CVUT (Fig. 4.2.14.6.).

En la estación seca los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de NTS que los sitios bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

En la estación lluviosa los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de N que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ). Además, los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de N que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

#### NTS bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

El efecto de la CVUT sobre el NTS fue diferente en cada estación climática (Fig. 4.2.14.7.). En la estación seca los sitios bajo pino tuvieron significativamente mayor contenido de NTS que los sitios bajo Bosque secundario. Mientras que en la estación lluviosa no se encontraron diferencias significativas

#### NTS bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la estación seca los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente menor cantidad de NTS que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y Pastizal ( $p < 0,05^*$ ). En la estación húmeda los suelos bajo Bosque secundario tuvieron



significativamente menor contenido de NTS que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ); además, los suelos bajo Pastizal tuvieron mayor contenido de NTS que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) (Fig. 4.2.14.8.).

### Análisis estadísticos previos

La prueba con ecuación de regresión indicó que los datos del NTS tienen linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple*  $R = 0,91$ ;  $F = 12,66$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple*  $R = 0,94$ ;  $F = 15,96$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos estimados del contenido de NTS bajo los diferentes tipos de CVUT en Megagramos por hectárea tienen distribución normal (Fig. 4.2.14.9.) tanto para la temporada seca ( $W = 0,94$ ;  $p = 0,00165^{***}$ ) cómo para la temporada lluviosa ( $W = 0,95143$ ;  $p = 0,00744^{***}$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos estimados de NTS tienen homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca ( $F = 3,68$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como los de la temporada lluviosa ( $F = 2,82$ ;  $p = 0,001460^{***}$ ).

Tabla 4.2.14.1. Contenido de Nitrógeno total del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                       |    | Pino                         |    | Pastizal                     |    | Bosque secundario            |    | Páramo degradado             |    | Promedio general             |    |
|--------------|--------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|
|              |                    |    | media<br>Mg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>Mg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>Mg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>Mg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>Mg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>Mg ha <sup>-1</sup> | EE |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 11 ± 1,6                     | a  | 12 ± 1,6                     | a  | 10 ± 2,3                     | a  | 11 ± 2,3                     | a  | -                            | -  | 11 ± 1,0                     | b  |
|              | Lluviosa           | 12 | 10 ± 1,3                     | C  | 13 ± 1,3                     | B  | *14 ± 1,8                    | B  | **17 ± 1,8                   | A  | -                            | -  | 14 ± 0,8                     | B  |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 3 ± 1,6                      | a  | 3 ± 1,3                      | a  | -                            | -  | -                            | -  | -                            | -  | 3 ± 1,1                      | c  |
|              | Lluviosa           | 10 | 3 ± 1,3                      | A  | 4 ± 1,0                      | A  | -                            | -  | -                            | -  | -                            | -  | 3 ± 0,8                      | D  |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 5 ± 1,6                      | b  | 4 ± 1,6                      | b  | 21 ± 2,3                     | a  | -                            | -  | 4 ± 2,3                      | b  | 9 ± 1,0                      | bc |
|              | Lluviosa           | 12 | 6 ± 1,3                      | B  | 6 ± 1,3                      | B  | 20 ± 1,8                     | A  | -                            | -  | 3 ± 1,8                      | B  | 9 ± 0,8                      | C  |
| Cajas        | Seca               | 18 | 22 ± 1,6                     | a  | 18 ± 1,6                     | b  | 21 ± 1,6                     | a  | 17 ± 1,3                     | b  | -                            | -  | 19 ± 0,8                     | a  |
|              | Lluviosa           | 18 | 22 ± 1,3                     | A  | 19 ± 1,3                     | B  | 20 ± 1,3                     | AB | 16 ± 1                       | B  | -                            | -  | 19 ± 0,6                     | A  |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 11 ± 1,6                     | ab | 12 ± 1,6                     | a  | -                            | -  | 8 ± 1,6                      | b  | -                            | -  | 10 ± 0,9                     | bc |
|              | Lluviosa           | 12 | 8 ± 1,3                      | A  | 10 ± 1,3                     | A  | -                            | -  | *11 ± 1,3                    | A  | -                            | -  | 9 ± 0,7                      | C  |
| Loja         | Seca               | 8  | 9 ± 2,3                      | ab | 9 ± 2,3                      | a  | 9 ± 2,3                      | a  | 6 ± 2,3                      | a  | -                            | -  | 8 ± 1,2                      | bc |
|              | Lluviosa           | 8  | 9 ± 1,8                      | AB | 7 ± 1,8                      | B  | 11 ± 1,8                     | A  | 6 ± 1,8                      | B  | -                            | -  | 8 ± 0,9                      | C  |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.14.2. Efecto de la estación climática sobre el NTS bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>  |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-----------|
| Estacionalidad                       | 4                        | 1                         | 4         | 1,46     | 0,23295   |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 38                       | 5                         | 8         | 2,46     | 0,044963* |
| Estacionalidad*CVUT                  | 21                       | 4                         | 5         | 1,75     | 0,152677  |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 67                       | 11                        | 6         | 2,01     | 0,046289* |
| Error                                | 155                      | 51                        | 3         |          |           |

Tabla 4.2.14.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el contenido de Nitrógeno total del suelo en la región alto-andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Prueba</i> | <i>Valor</i> | <i>F</i> | <i>GL efecto</i> | <i>GL error</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|---------------|--------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Intercepción                    | <i>Wilks</i>  | 0,04         | 587      | 2                | 50              | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | <i>Wilks</i>  | 0,11         | 20       | 10               | 100             | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | <i>Wilks</i>  | 0,23         | 4        | 30               | 100             | 0,000001*** |

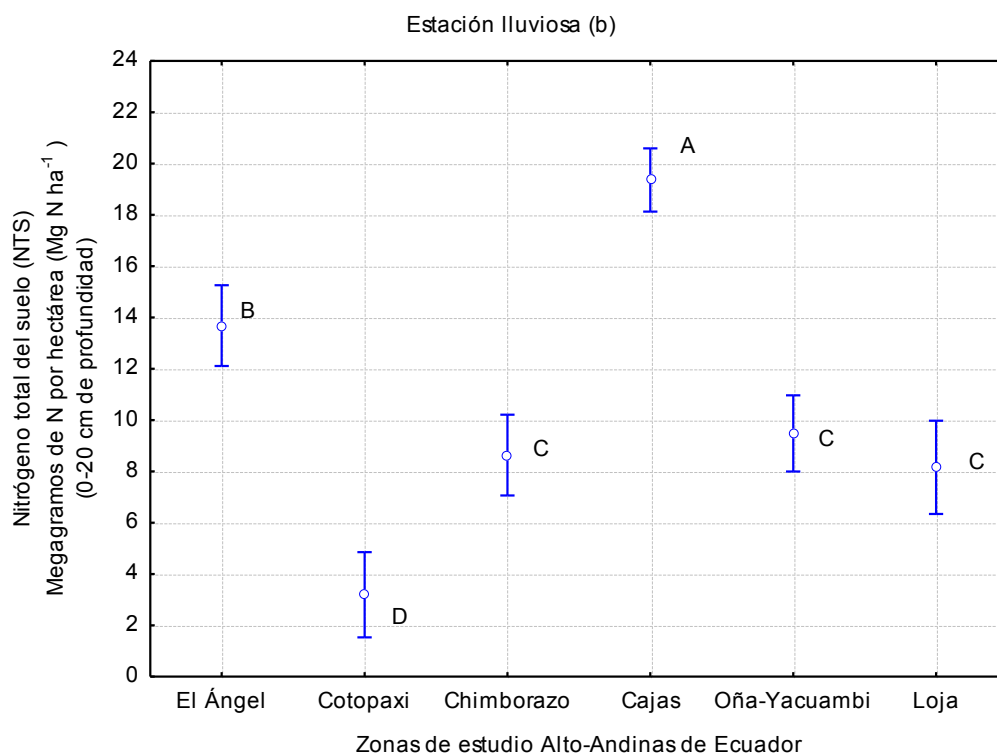
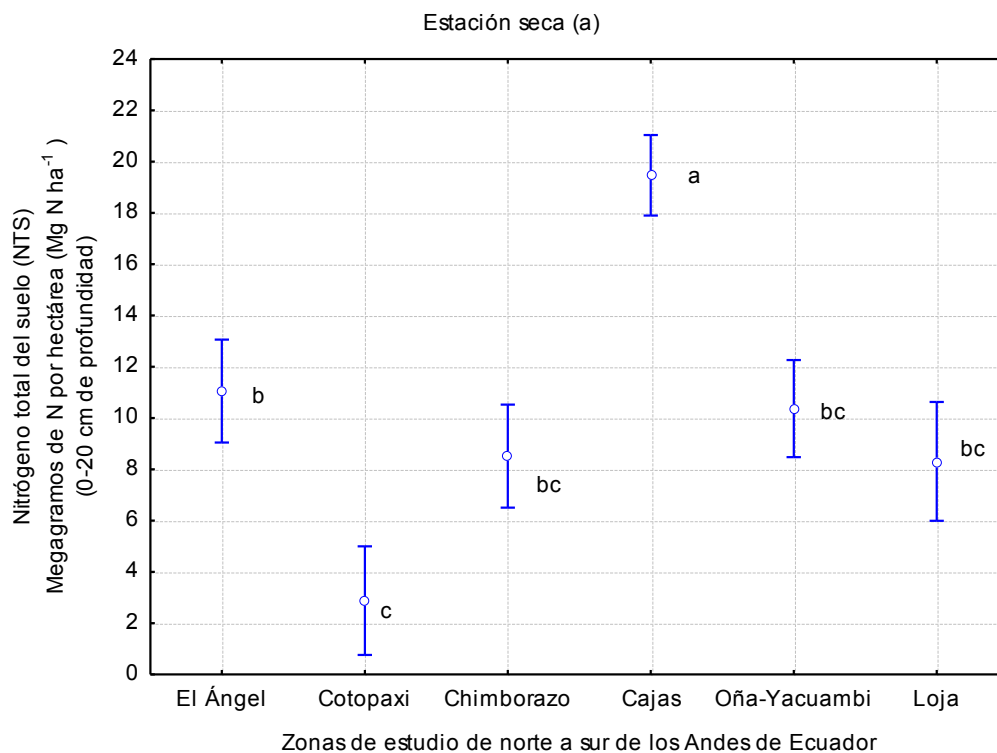


Figura 4.2.14.1. Contenido de NTS de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

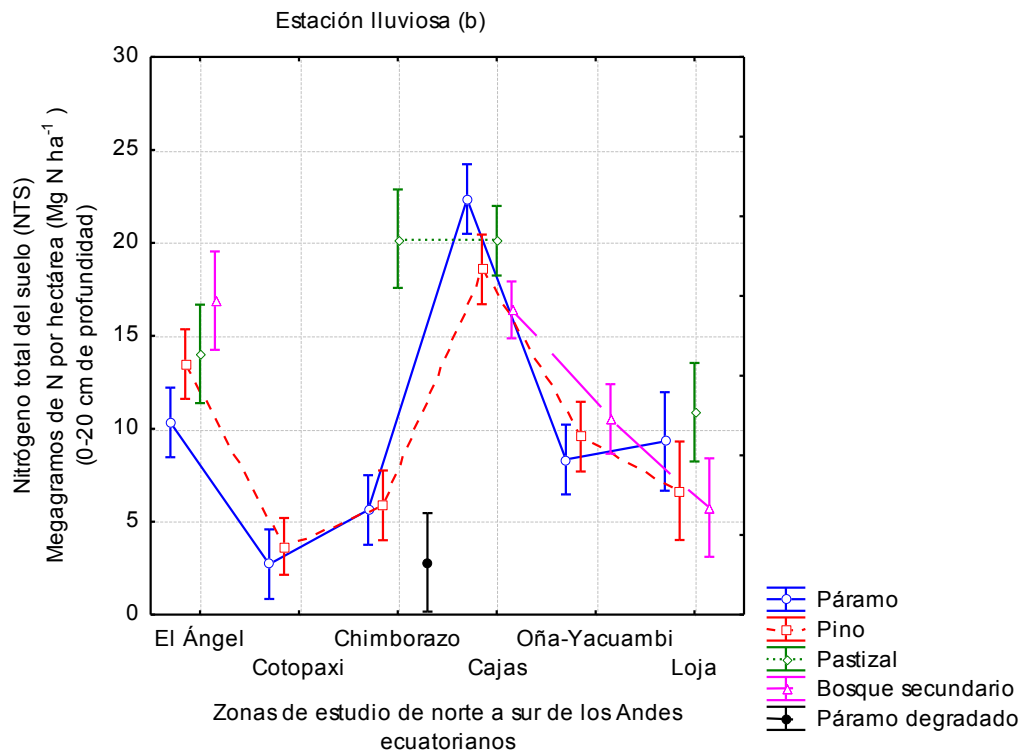
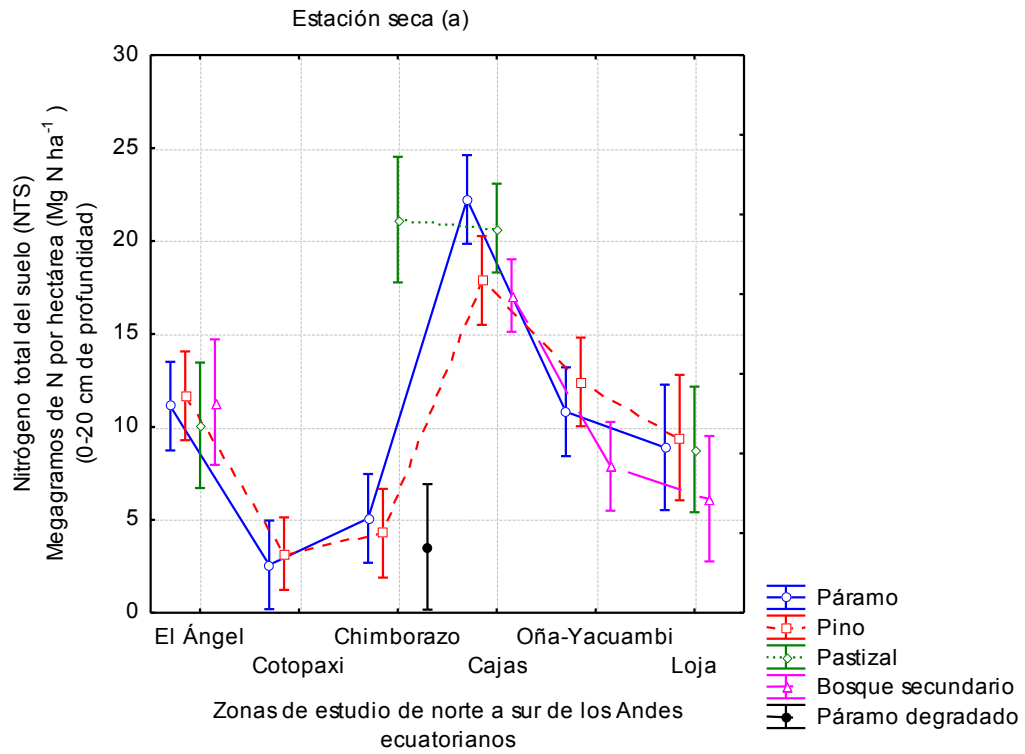


Figura 4.2.14.2. Contenido de NTS bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b). La barra (I) indica los intervalos de confianza al 95%.

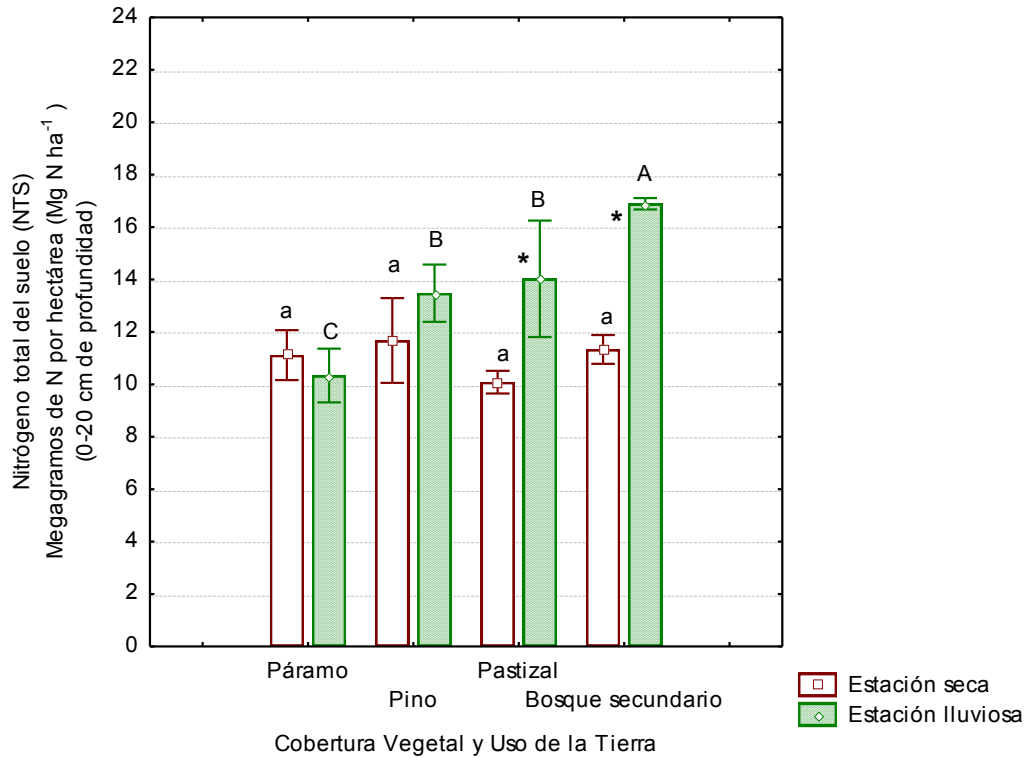


Figura 4.2.14.3. Contenido de NTS bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

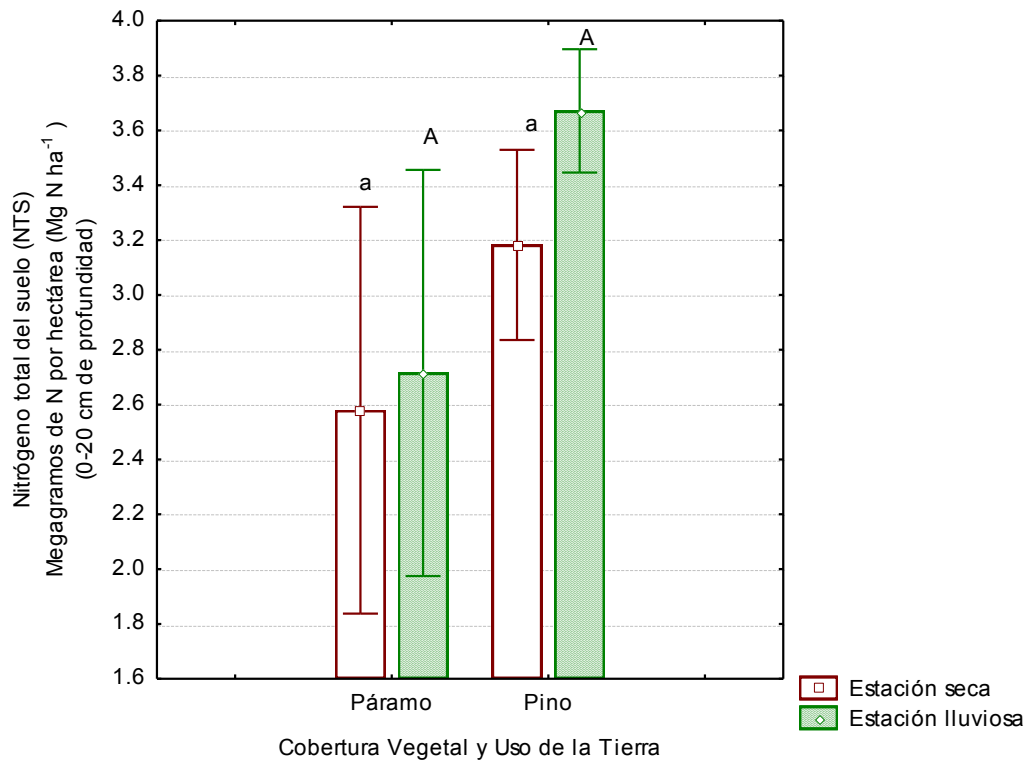


Figura 4.2.14.4. Contenido de NTS bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

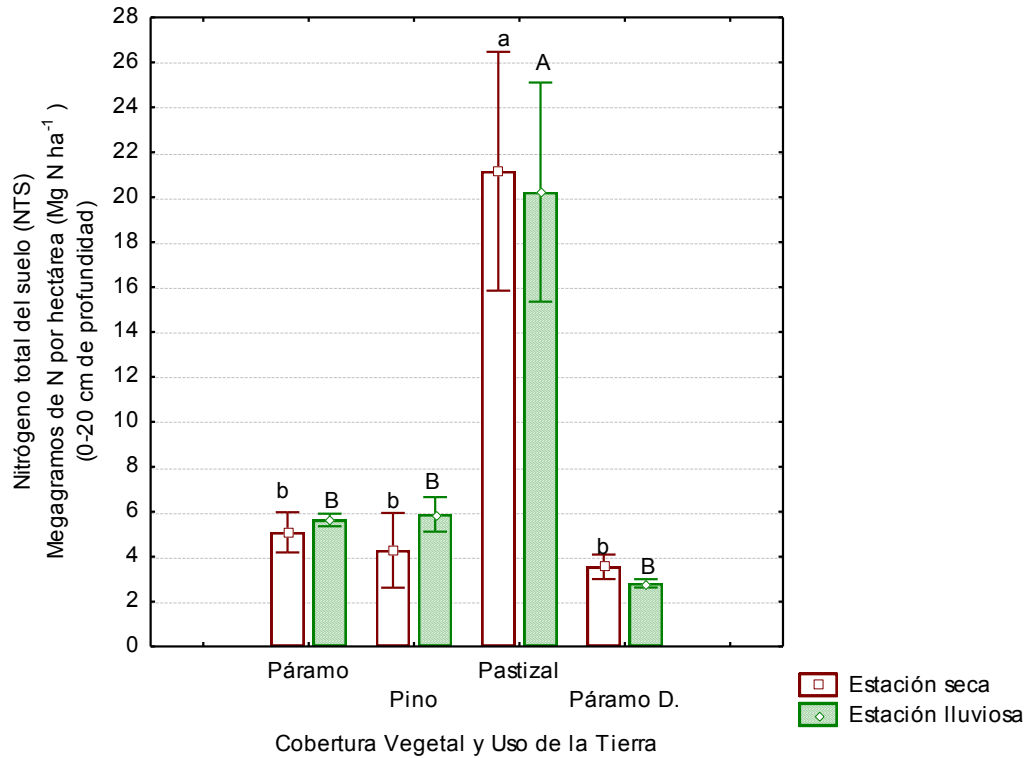


Figura 4.2.14.5. Contenido de NTS bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

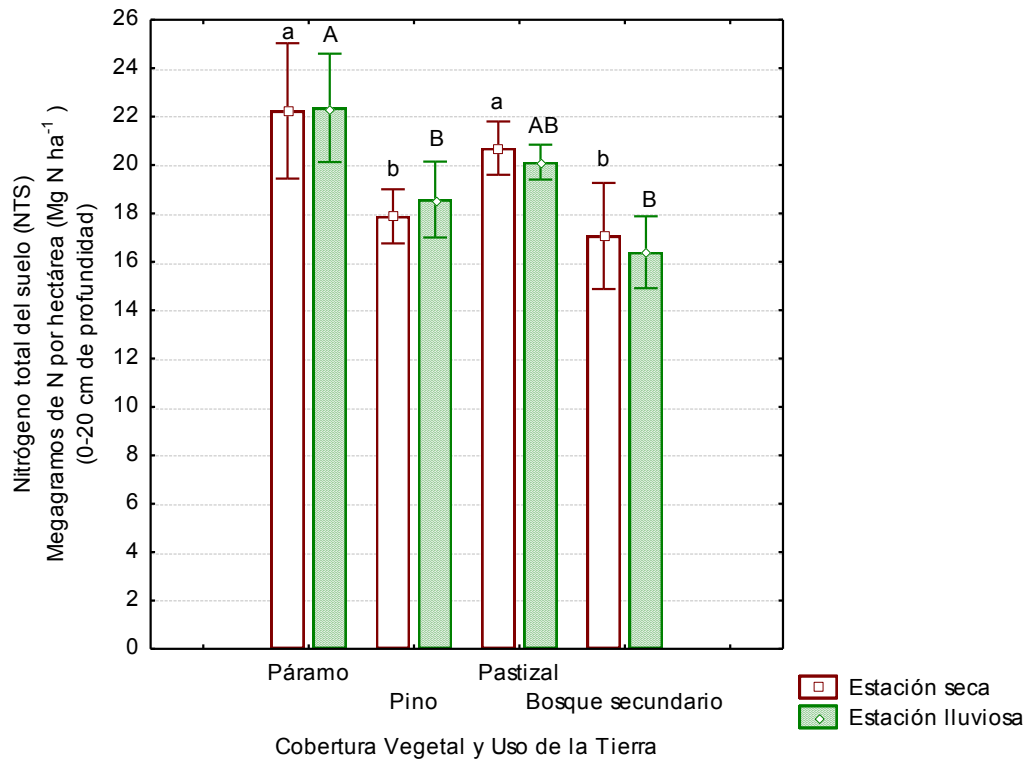


Figura 4.2.14.6. Contenido de NTS bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

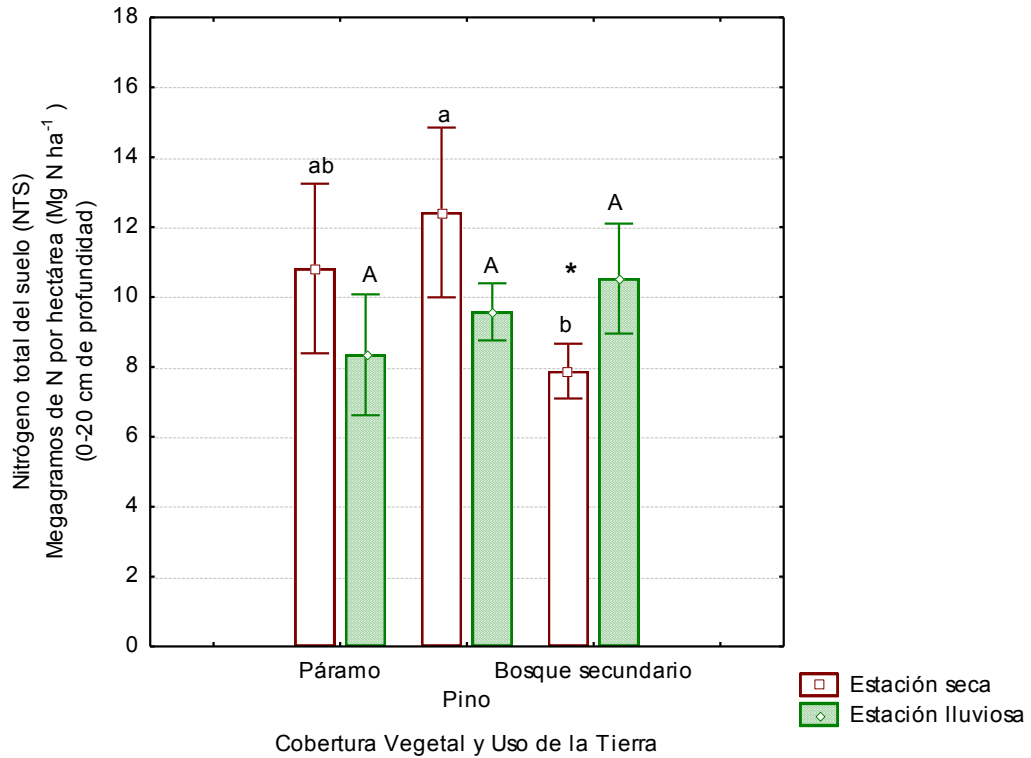


Figura 4.2.14.7. Contenido de NTS bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

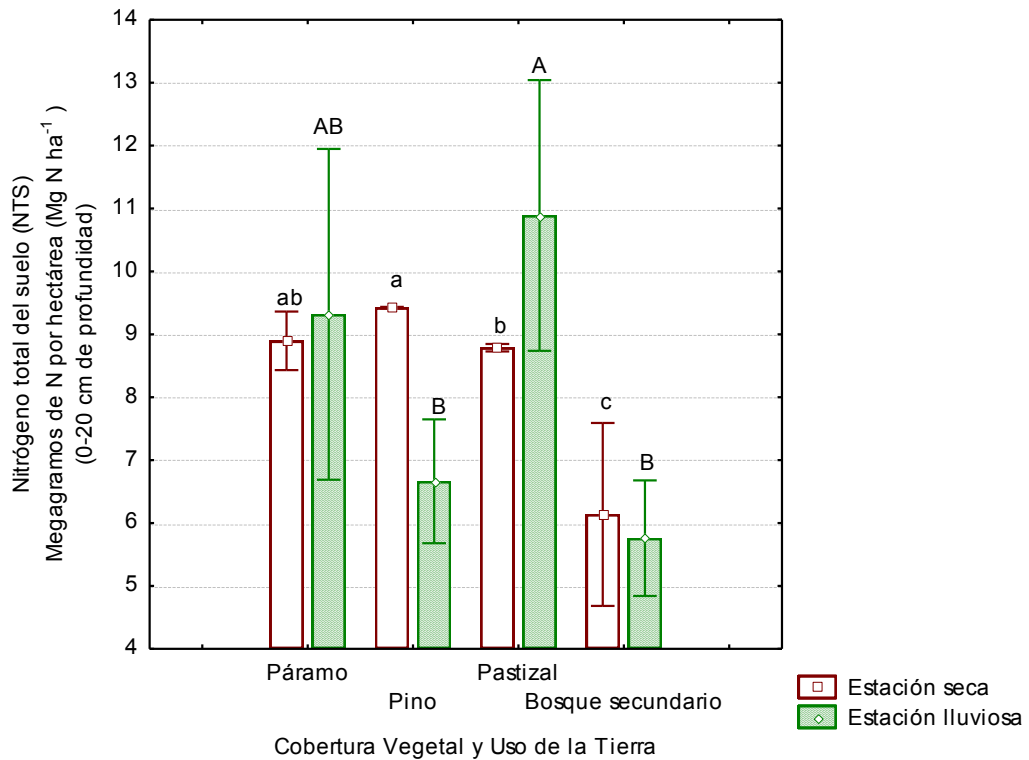


Figura 4.2.14.8. Contenido de NTS bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

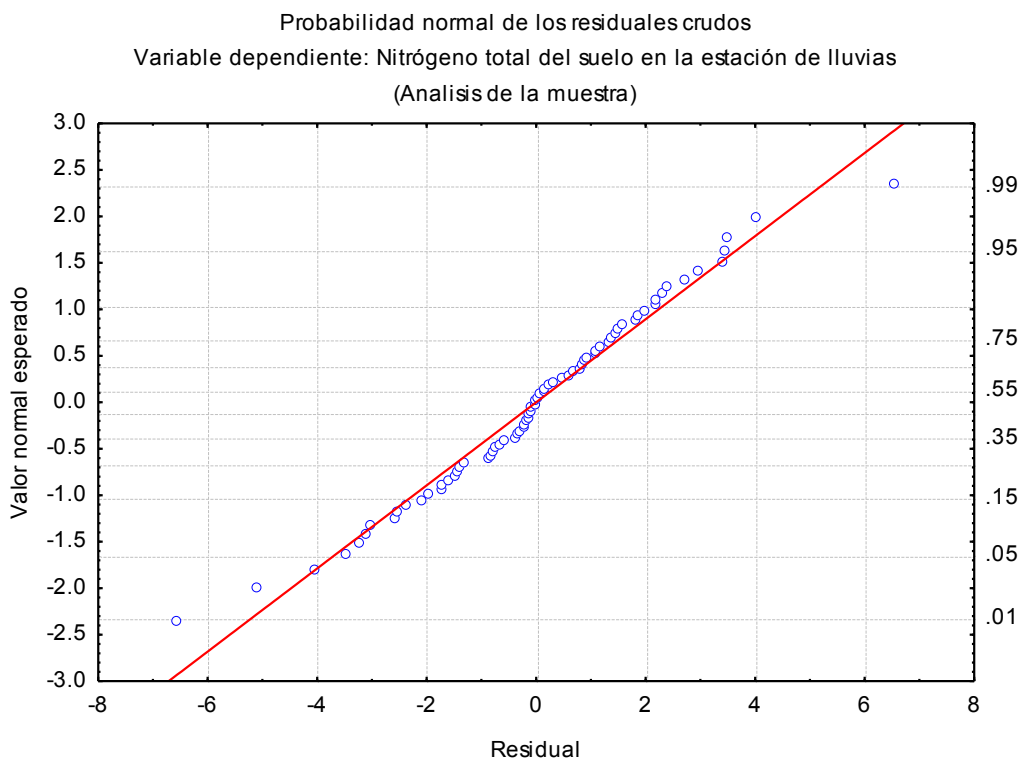
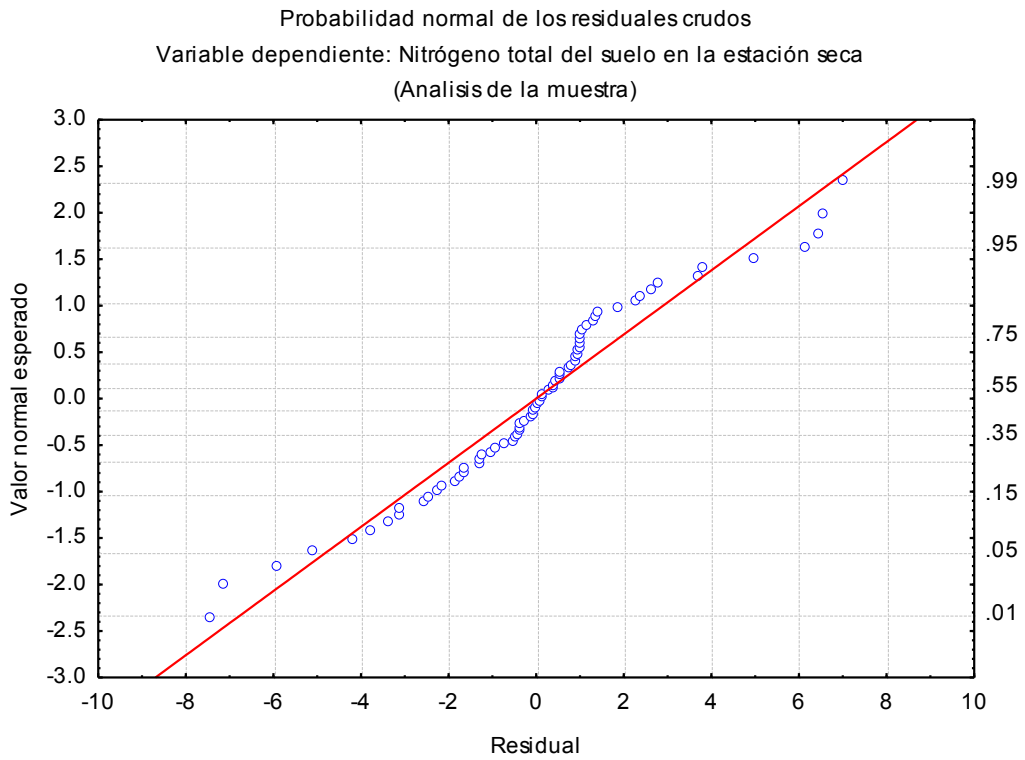


Figura 4.2.14.9. Probabilidad de distribución Normal de los valores residuales de N del suelo para los datos de la estación seca y la lluviosa.



#### 4.2.15. Efecto de los factores estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre la variable Nitratos del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador

El rango promedio del contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 1 y 1150 kg N  $\text{ha}^{-1}$  para la temporada seca y entre 0.4 y 36 kg N  $\text{ha}^{-1}$  para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.15.1; Fig. 4.2.15.2.)

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores* indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo (Tabla 4.2.15.2.), siendo mayor en la estación seca y además, indicaron que la estacionalidad tuvo efectos significativos en interacción con los factores Zona de estudio y CVUT.

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT en las diferentes zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo, específicamente en los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Ángel (Fig. 4.2.15.3.); bajo Paramo ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ) en la zona de Cotopaxi (Fig. 4.2.15.4.); bajo Pastizal del Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ; Fig. 4.2.15.5.); bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ), Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Cajas (Fig. 4.2.15.6.); en los sitios bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona de Oña-Yacuambi (Fig. 4.2.15.7.); y en los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) en Loja (Fig. 4.2.15.8.).

Por su parte, los resultados de la prueba *Anova con factor anidado* indicaron que el factor Zona de estudio y el factor anidado CVUT tuvieron efectos significativos sobre el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo (Tabla 4.2.15.3.).

Los resultados de la prueba *LSD* aplicada para ver las diferencias específicas entre cada zona de estudio (Fig. 4.2.15.1.), indicaron que en la estación seca los sitios de la zona del Ángel tuvieron significativamente mayor contenido de nitratos que los sitios de la zona del Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,005^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,005^{***}$ ). El contenido de nitratos del suelo en la zona del Chimborazo también fue significativamente mayor que en las zonas de Cotopaxi ( $p < 0,005^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,01^{**}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ). También, en la zona del Cajas existió significativamente mayor contenido de nitratos del suelo que en las zonas de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

Por su parte, en la estación lluviosa la zona del Cajas tuvo significativamente mayor contenido de nitratos del suelo que las zonas de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,05^*$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ). Además, la zona del Ángel tuvo

significativamente mayor contenido de nitratos que las zonas de Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ) y Loja ( $p < 0,05^*$ ).

Mientras que los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable nitratos del suelo específicamente en las zonas del Ángel, Chimborazo y Cajas. Todos estos resultados se describen con detalle a continuación.

#### *Nitratos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

El contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo estuvo influenciado por la CVUT tanto en la temporada seca como en la lluviosa (Fig. 4.2.15.3.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ). Por su parte, los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ); y también, los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### *Nitratos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi*

El efecto de la CVUT sobre la variable contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo fue diferente para cada estación climática (Fig. 4.2.15.4.). En la estación seca los sitios bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ). Mientras que en la lluviosa las diferencias no fueron significativas.

#### *Nitratos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo*

En las dos estaciones climáticas el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.15.5.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la estación lluviosa los suelos bajo Pino presentaron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ).

#### Nitratos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

La influencia del factor CVUT sobre la variable N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo fue diferente para temporada climática (Fig. 4.2.15.6.).

En la estación seca no existieron diferencias significativas del contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo asociadas al factor CVUT.

En la estación lluviosa los suelos bajo Pino presentaron significativamente mayor contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Nitratos del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En las dos estaciones climáticas el factor CVUT tuvo un efecto significativo sobre la variable N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo (Figura 4.2.15.7.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y significativamente mayor que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); además los suelos de Pino además tuvieron significativamente mayor contenido de nitratos que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

Mientras que, en la estación lluviosa los sitios bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

#### Nitratos del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

El efecto de la CVUT sobre el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo fue diferente en cada estación climática (Figura 4.2.15.8.).

En la estación seca los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ). Mientras que, en la estación lluviosa las diferencias de contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo por efectos del CVUT no fueron significativas.

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de ecuación de regresión indicó que los datos del contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,87; *F* = 7,62;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,82; *F* = 5,20;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos estimados del contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo los diferentes tipos de CVUT en Megagramos por hectárea tienen distribución normal (Fig. 4.2.15.9.) tanto en la temporada seca (*W* = 0,75;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo para la temporada lluviosa (*W* = 0,75;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos estimados de  $N-NO_3^-$  del suelo tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto los de la temporada seca (*F* = 6,44; ( $p < 0,001^{***}$ )) como en la temporada lluviosa (*F* = 8,18; ( $p < 0,001^{***}$ )).

Tabla 4.2.15.1. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para a estación seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                         |    | Pino                           |    | Pastizal                       |    | Bosque secundario              |    | Páramo degradado               |    | Promedio general               |       |
|--------------|--------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|-------|
|              |                    |    | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> | EE    |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 57 ± 29                        | b  | 127 ± 105                      | b  | 1150 ± 410                     | a  | 655 ± 249                      | a  | -                              | -  | 497 ± 68                       | *** a |
|              | Lluviosa           | 12 | *0,4 ± 0,04                    | B  | *6 ± 3                         | B  | *36 ± 8                        | A  | *30 ± 11                       | A  | -                              | -  | 18 ± 4                         | AB    |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 149 ± 86                       | b  | 309 ± 17                       | a  | -                              | -  | -                              | -  | -                              | -  | 229 ± 72                       | *** b |
|              | Lluviosa           | 10 | *1 ± 3                         | A  | *7 ± 3                         | A  | -                              | -  | -                              | -  | -                              | -  | 4 ± 4                          | C     |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 37 ± 20                        | b  | 11 ± 3                         | b  | 1715 ± 385                     | A  | -                              | -  | 70 ± 3                         | B  | 458 ± 68                       | ** a  |
|              | Lluviosa           | 12 | *4 ± 1                         | B  | 35 ± 18                        | A  | *1 ± 15                        | B  | -                              | -  | *9 ± 15                        | B  | 12 ± 4                         | BC    |
| Cajas        | Seca               | 18 | 576 ± 147                      | a  | 521 ± 52                       | a  | 660 ± 246                      | a  | 521 ± 133                      | a  | -                              | -  | 569 ± 53                       | *** a |
|              | Lluviosa           | 18 | *10 ± 7                        | B  | *62 ± 13                       | A  | *20 ± 7                        | B  | *12 ± 3                        | B  | -                              | -  | 26 ± 3                         | A     |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 62 ± 11                        | b  | 101 ± 12                       | a  | -                              | -  | 18 ± 7                         | c  | -                              | -  | 60 ± 64                        | ** c  |
|              | Lluviosa           | 12 | *6 ± 2                         | B  | *20 ± 4                        | A  | -                              | -  | 7 ± 5                          | B  | -                              | -  | 11 ± 4                         | BC    |
| Loja         | Seca               | 8  | 10 ± 8                         | b  | 1 ± 0,05                       | b  | 68 ± 1                         | a  | 3 ± 2                          | b  | -                              | -  | 20 ± 78                        | * c   |
|              | Lluviosa           | 8  | 1.3 ± 1,1                      | B  | 3 ± 2                          | B  | *24 ± 22                       | A  | 2 ± 1,9                        | B  | -                              | -  | 8 ± 5                          | C     |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.15.2. Efecto de la estación climática sobre el contenido de Nitratos del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
| Estacionalidad                       | 3003555                  | 1                         | 3003555   | 124      | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 1559936                  | 5                         | 311987    | 13       | 0,000000*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 1809314                  | 4                         | 452329    | 19       | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 1806541                  | 11                        | 164231    | 7        | 0,000001*** |
| Error                                | 1237433                  | 51                        | 24263     |          |             |

Tabla 4.2.15.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la variable contenido de Nitratos del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Prueba</i> | <i>Valor</i> | <i>F</i> | <i>GL efecto</i> | <i>GL error</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|---------------|--------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Intercepción                    | <i>Wilks</i>  | 0,22         | 87,66    | 2                | 50              | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | <i>Wilks</i>  | 0,36         | 6,7      | 10               | 100             | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | <i>Wilks</i>  | 0,11         | 6,72     | 30               | 100             | 0,000000*** |

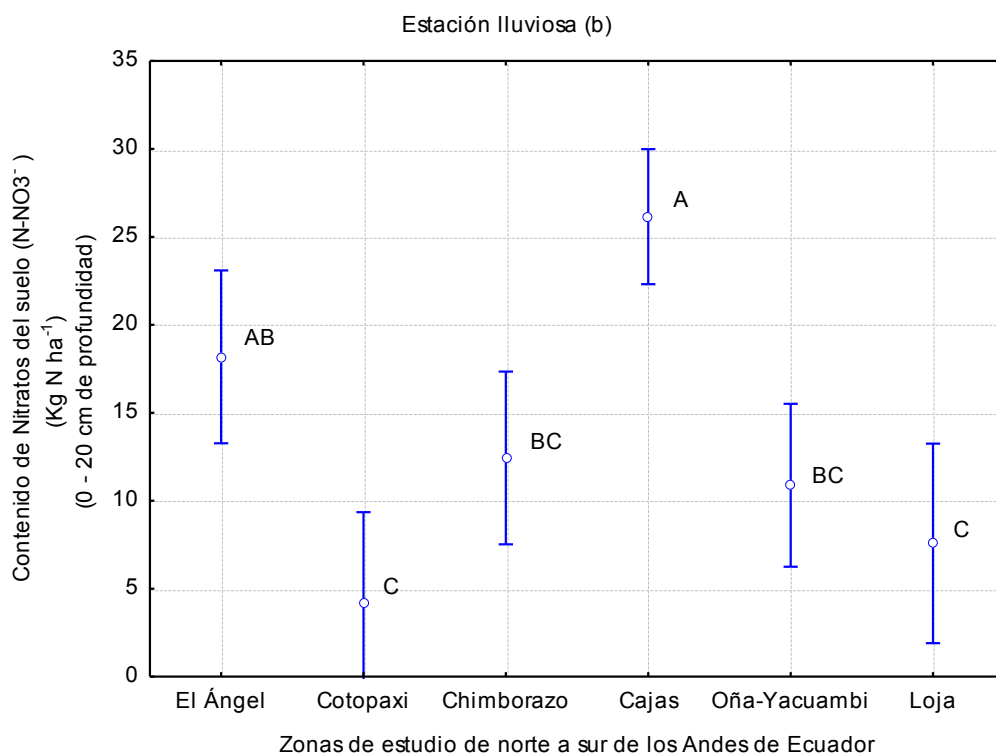
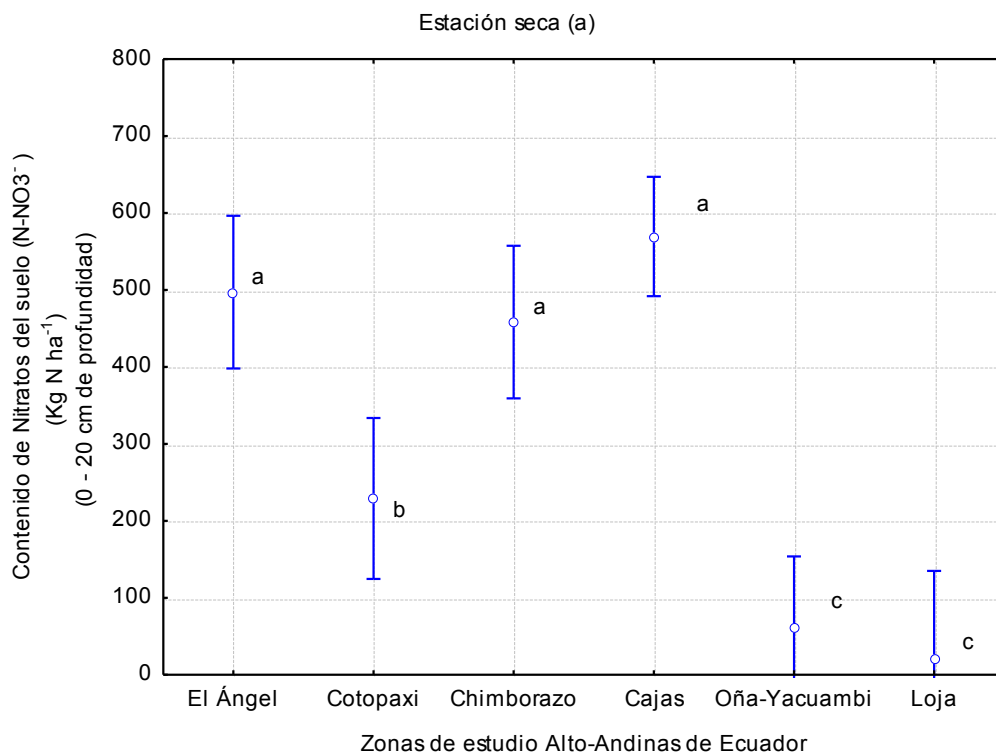


Figura 4.2.15.1. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

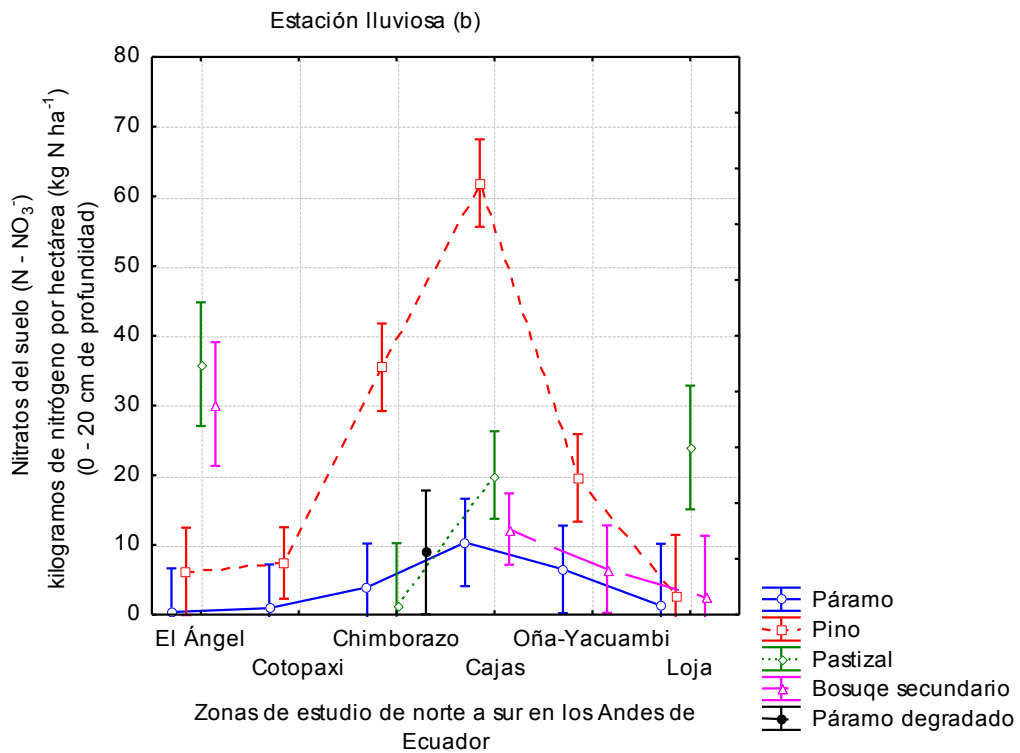
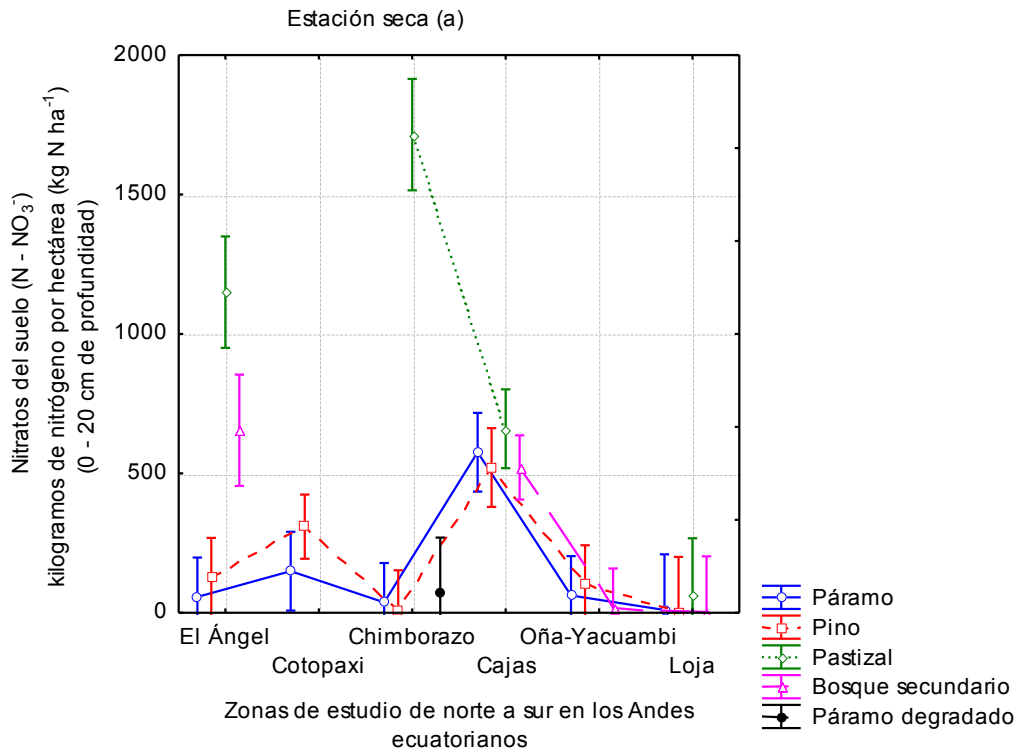


Figura 4.2.15.2. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b). La barra (I) indica los intervalos de confianza al 95%.

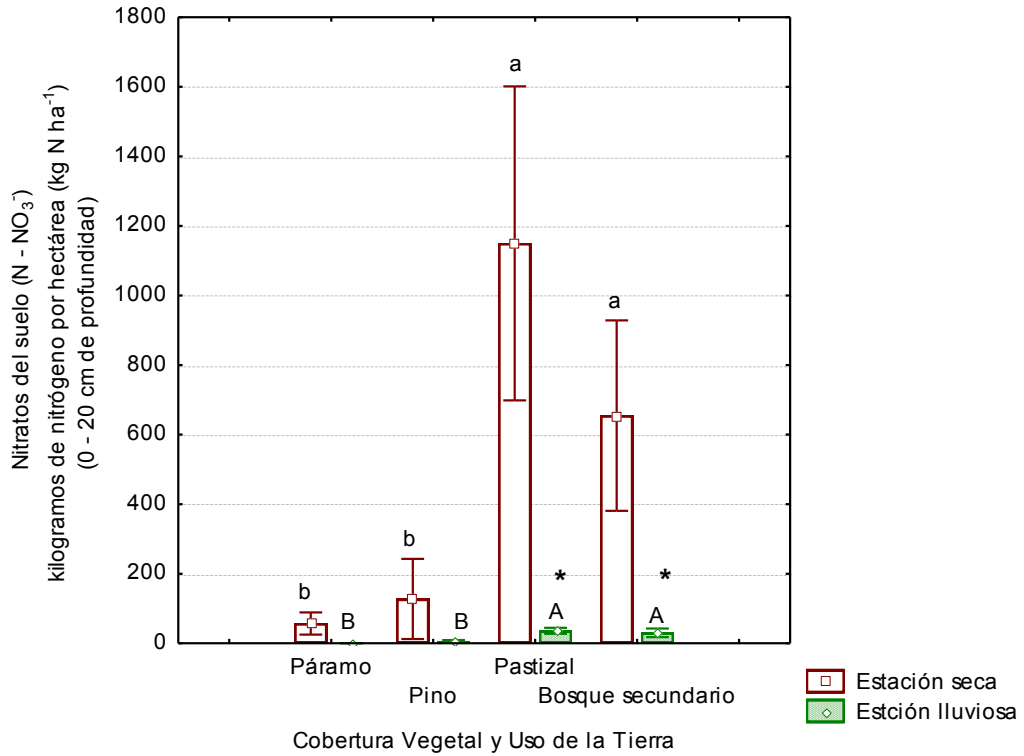


Figura 4.2.15.3. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

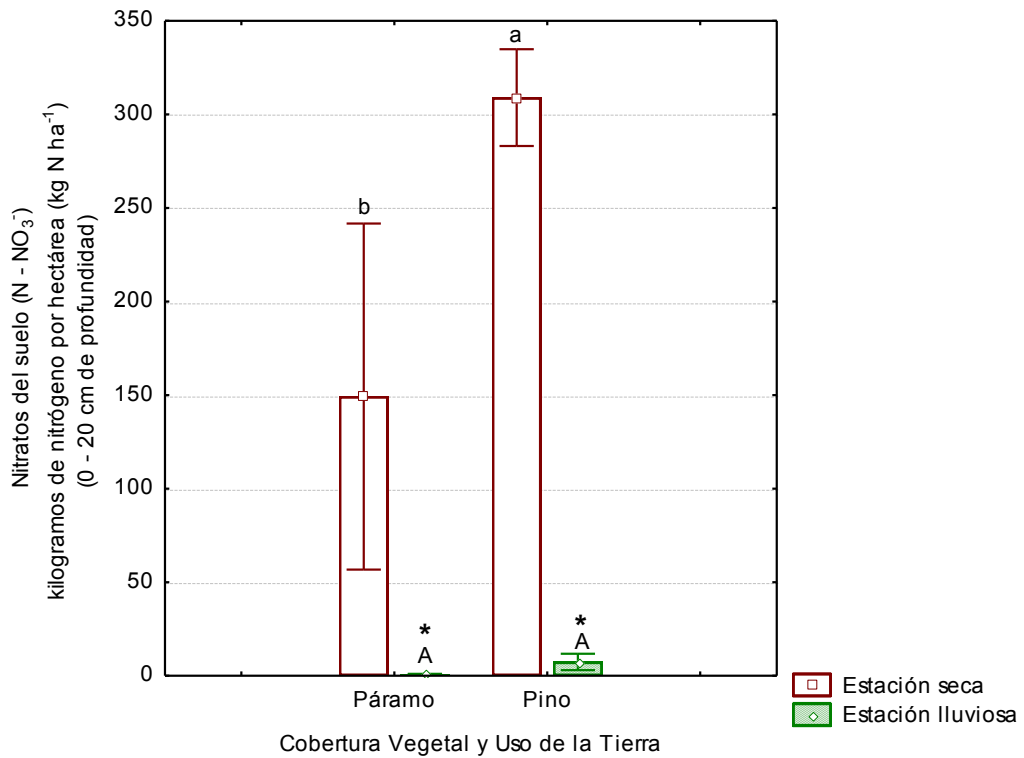


Figura 4.2.15.4. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.



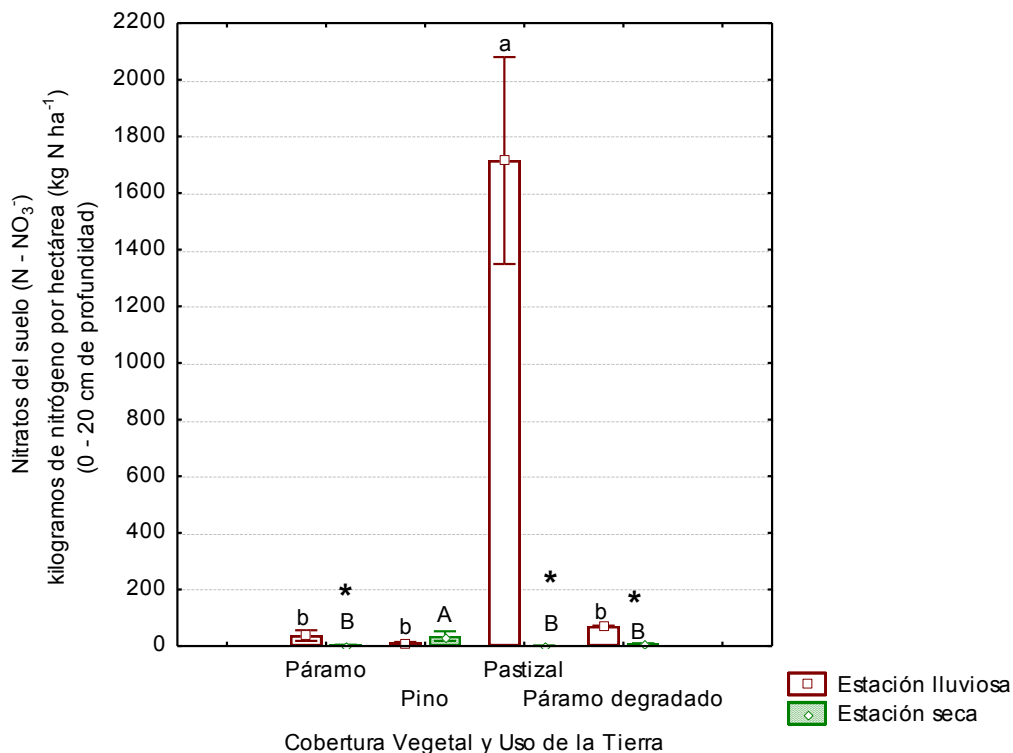


Figura 4.2.15.5. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

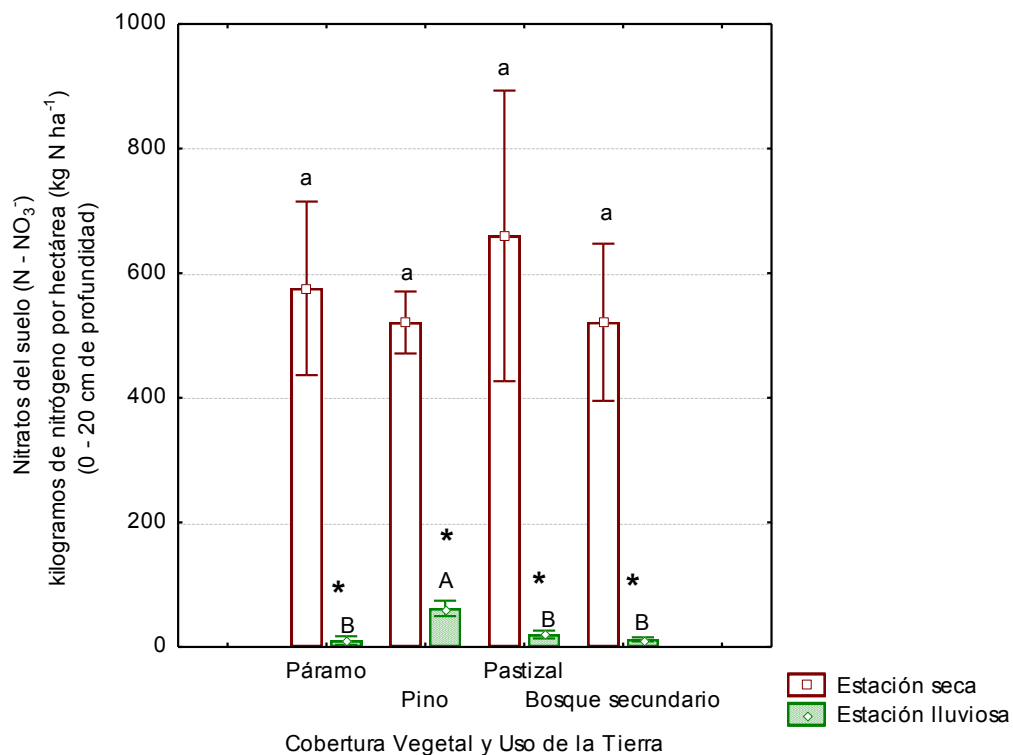


Figura 4.2.15.6. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

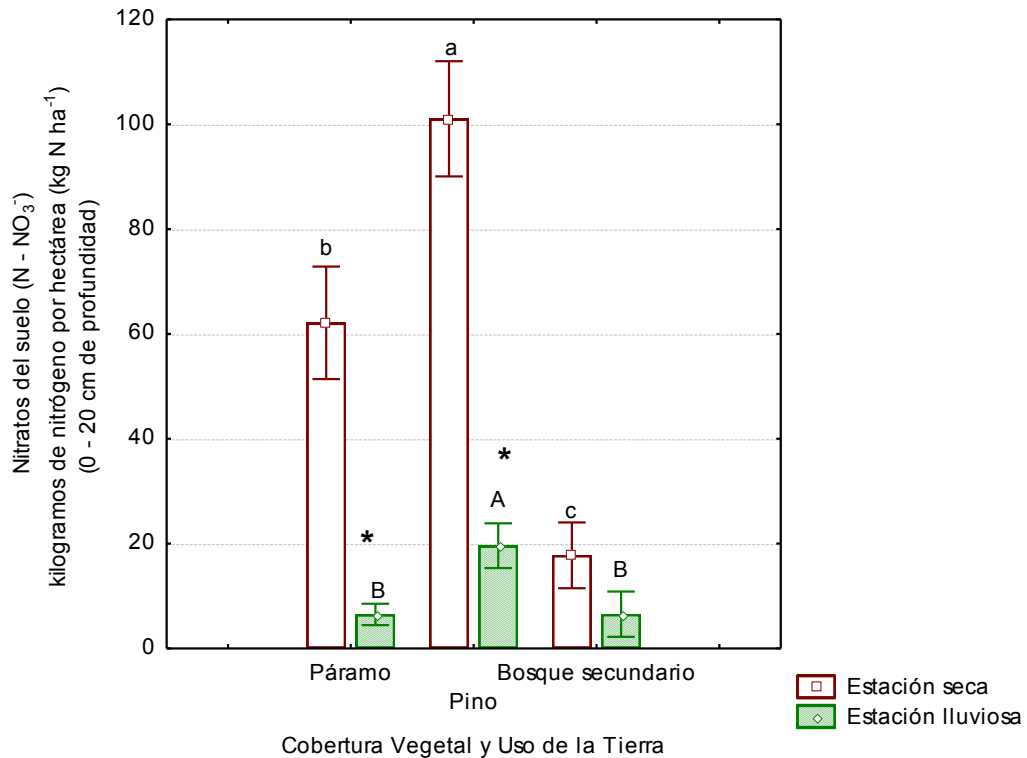


Figura 4.2.15.7. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

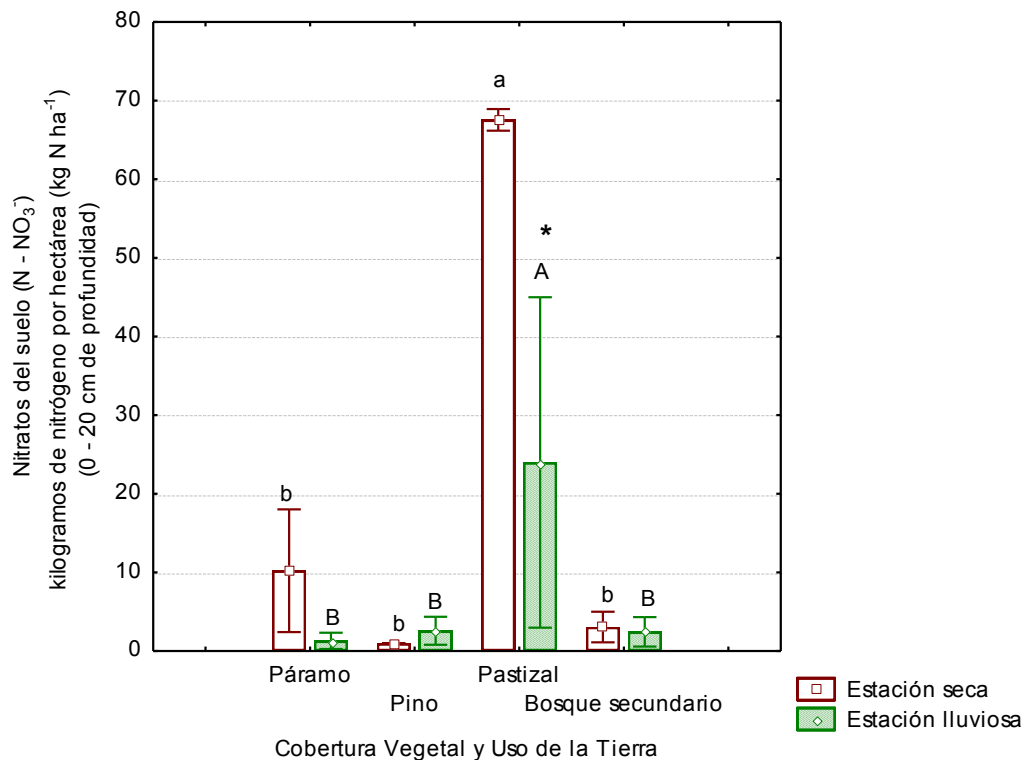


Figura 4.2.15.8. Contenido de  $N-NO_3^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

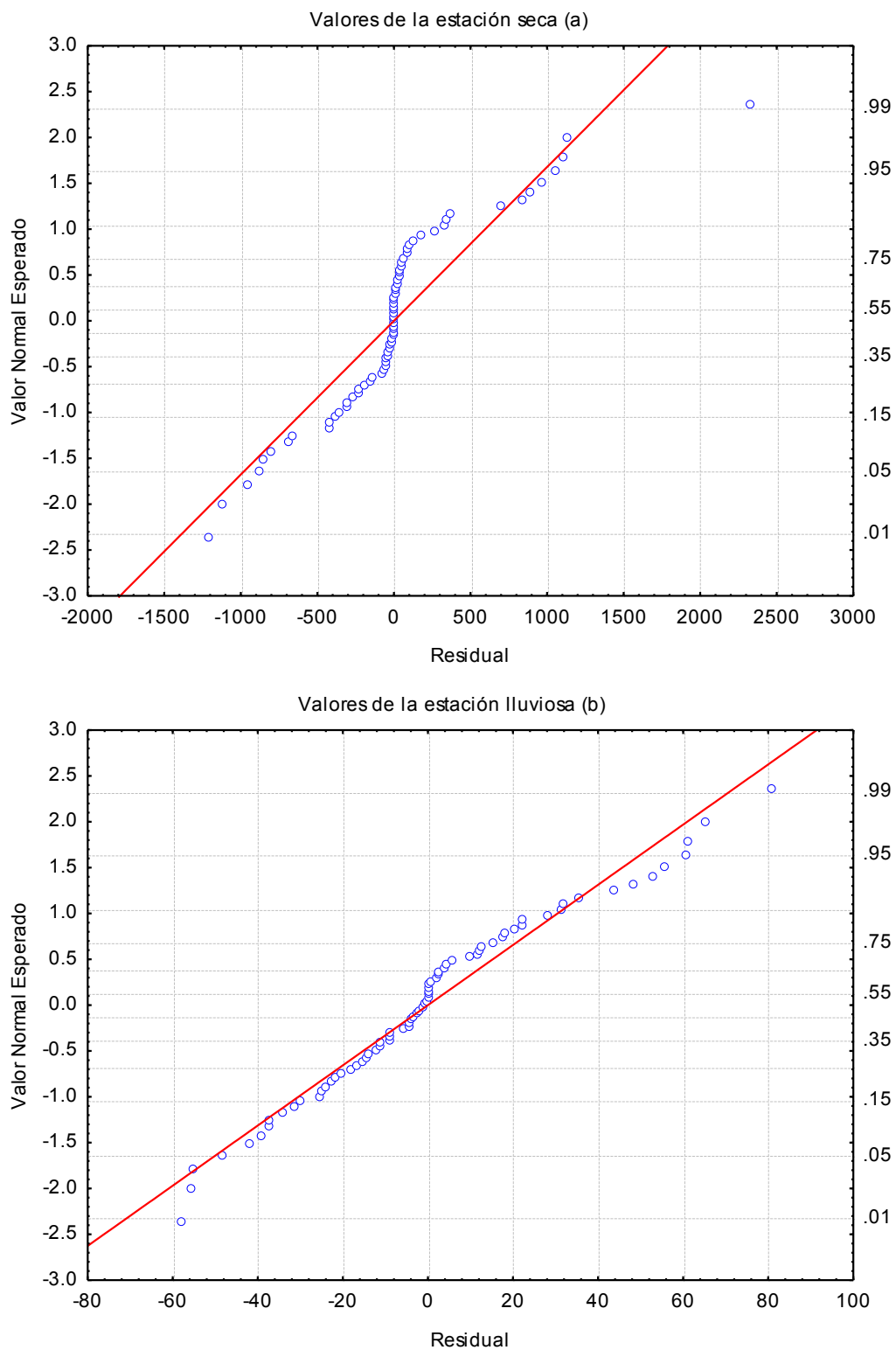


Fig. 4.2.15.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo para los datos de las estaciones seca (a) y la lluviosa (b).

#### 4.2.16. Efecto de los factores estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre la variable Nitritos del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador

El rango promedio del contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 0,10 y 0,93  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$  para la temporada seca y entre 0 y 0,001  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$  para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.16.1.; Fig. 4.2.16.2.), sin embargo, cabe indicar que en la estación lluviosa hubo solo un dato que mostró un valor  $>0$ .

Los resultados del *Anova de medidas con dos factores* indicaron que existió un efecto significativo de la estación climática sobre la concentración de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo, y además, también indicaron que la estacionalidad tuvo un efecto significativo en interacción con los factores Zona de estudio y CVUT (Tabla 4.2.16.2.).

Todos los sitios bajo diferentes tipos de CVUT en las 6 zonas de estudio tuvieron un efecto significativo de la estación climática sobre la concentración de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo; no fue necesario hacer las pruebas posteriores *LSD* para confirmarlo, debido a que en la temporada lluviosa, solo uno de los sitios tuvo un valor diferente a 0.

Debido a que los valores de nitritos del suelo en la estación lluviosa fueron igual a 0 se realizó el *Anova con factor anidado* considerando solo los datos de la temporada seca. Los resultados de esa prueba indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $\text{NO}_2^-$  del suelo (Tabla 4.2.16.3.).

Los resultados de la prueba *LSD* aplicada para evaluar las diferencias entre zonas de estudio, indicaron que los sitios de las zonas de Loja y Oña-Yacuambi presentaron los mayores contenidos de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo (Fig. 4.2.16.1.). Específicamente los suelos de Loja tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  que los suelos de Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ); también, los suelos de Oña-Yacuambi tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  que los suelos del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ). Por su parte, la zona de Cajas tuvo significativamente mayor contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo que las zonas de Cotopaxi ( $p < 0,01^{**}$ ) y Chimborazo ( $p < 0,005^{***}$ ).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT sobre el contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo, indicaron que este factor tuvo influencia significativa en las zonas de Ángel, Cajas y Loja. Todos los resultados de esta prueba se describen con detalle a continuación.

#### Nitritos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

El efecto del factor CVUT sobre la variable N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> del suelo fue diferente en cada estación climática (Fig. 4.2.16.3).

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de nitritos que los suelos bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ), bajo Pino ( $p<0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ). En la estación lluviosa no existieron diferencias significativas.

#### Nitritos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa no existieron diferencias significativas del contenido de nitritos del suelo asociadas la CVUT (Fig. 4.2.16.4).

#### Nitritos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa no existieron diferencias significativas del contenido de Nitritos del suelo asociadas la CVUT (Fig. 4.2.16.5).

#### Nitritos del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

La CVUT tuvo una influencia sobre la variable N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> del suelo diferente para cada estación climática (Fig. 4.2.16.6.).

En la estación seca los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido del N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> que los suelos bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ). También, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido del N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> que los suelos bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ).

Mientras que, en la estación lluviosa no hubo diferencias significativas en el contenido de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> del suelo asociadas la CVUT.

#### Nitritos del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En la estación seca como también en la estación lluviosa no se encontraron diferencias significativas en el contenido de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> del suelo asociadas al factor CVUT (Fig. 4.2.16.7.).

#### Nitritos del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

El efecto de la CVUT sobre la variable N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> del suelo fue diferente en cada estación climática (Fig. 4.2.16.8.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de nitritos que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ). También, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ).

Por su parte, en la estación lluviosa no se encontraron diferencias significativas en el contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo que estén asociadas a la CVUT.

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de ecuación de regresión indicó que los datos del contenido de nitritos del suelo tuvieron linealidad en la temporada seca (*múltiple*  $R = 0,91$ ;  $F = 11,86$ ;  $p < 0,001^{***}$ ); sin embargo, para la temporada lluviosa debido a que solo uno de los datos tuvo un valor diferente a 0, no fue posible ajustar la recta con un  $R$  mayor al 0,5 (*múltiple*  $R = 0,5$ ;  $F = 0,8$ ;  $p = 0,69$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos estimados en  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$  tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.16.9.) tanto en la temporada seca ( $W = 0,88713$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la temporada lluviosa ( $W = 0,9614$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos estimados de  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$  tuvieron homogeneidad de las varianzas, tanto en la temporada seca ( $F = 5,61$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como en la temporada lluviosa ( $F = 7,23$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.16.1. Contenido de Nitritos del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores de las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                |     | Pino                  |     | Pastizal              |     | Bosque secundario     |     | Páramo degradado      |     | Promedio general      |     |
|--------------|--------------------|----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|
|              |                    |    | media                 | EE. | media                 | EE. | media                 | EE. | media                 | EE. | media                 | EE. | media                 | EE. |
|              |                    |    | kg N ha <sup>-1</sup> |     | kg N ha <sup>-1</sup> |     | kg N ha <sup>-1</sup> |     | kg N ha <sup>-1</sup> |     | kg N ha <sup>-1</sup> |     | kg N ha <sup>-1</sup> |     |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 0,18 ± 0,08           | b   | 0,13 ± 0,08           | b   | 0,11 ± 0,11           | b   | 0,42 ± 0,11           | a   | -                     | -   | 0,21 ± 0,05           | bc  |
|              | Lluviosa           | 12 | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | -                     | -   | 0,00 ± 0,00           | A   |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 0,15 ± 0,08           | a   | 0,20 ± 0,06           | a   | -                     | -   | -                     | -   | -                     | -   | 0,18 ± 0,05           | bc  |
|              | Lluviosa           | 10 | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | -                     | -   | -                     | -   | -                     | -   | 0,00 ± 0,00           | B   |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 0,10 ± 0,08           | a   | 0,11 ± 0,08           | a   | 0,19 ± 0,11           | a   | -                     | -   | 0,11 ± 0,11           | a   | 0,13 ± 0,05           | c   |
|              | Lluviosa           | 12 | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | -                     | -   | *0,00 ± 0,00          | A   | 0,00 ± 0,00           | B   |
| Cajas        | Seca               | 18 | 0,21 ± 0,08           | b   | 0,50 ± 0,08           | a   | 0,41 ± 0,08           | ab  | 0,18 ± 0,06           | b   | -                     | -   | 0,32 ± 0,04           | b   |
|              | Lluviosa           | 18 | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | -                     | -   | 0,00 ± 0,00           | B   |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 0,60 ± 0,08           | a   | 0,58 ± 0,08           | a   | -                     | -   | 0,70 ± 0,08           | a   | -                     | -   | 0,62 ± 0,05           | a   |
|              | Lluviosa           | 12 | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | -                     | -   | *0,00 ± 0,00          | A   | -                     | -   | 0,00 ± 0,00           | B   |
| Loja         | Seca               | 8  | 0,90 ± 0,11           | b   | 0,92 ± 0,11           | a   | 0,65 ± 0,11           | bc  | 0,56 ± 0,11           | c   | -                     | -   | 0,75 ± 0,06           | a   |
|              | Lluviosa           | 8  | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | *0,00 ± 0,00          | A   | -                     | -   | 0,00 ± 0,00           | B   |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.16.2. Efecto de la estación climática sobre el contenido de Nitritos del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Media Suma cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|-------------|
| Estacionalidad                       | 1,83                     | 1                         | 1,83                        | 482      | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 0,46                     | 5                         | 0,09                        | 24       | 0,000000*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 0,03                     | 4                         | 0,01                        | 2        | 0,135080    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 0,11                     | 11                        | 0,01                        | 3        | 0,007261*** |
| Error                                | 0,19                     | 51                        | 0,00                        |          |             |

Tabla 4.2.16.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el contenido de Nitritos del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

|                              | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>media suma cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|-------------|
| Intercepción                 | 8,7                      | 1                         | 8,73                        | 353      | 0,000000*** |
| Zona de Estudio              | 3,2                      | 5                         | 0,65                        | 26       | 0,000000*** |
| CVUT anidado Zona de estudio | 0,7                      | 15                        | 0,05                        | 2        | 0,047243*   |
| Error                        | 1,3                      | 51                        | 0,02                        |          |             |

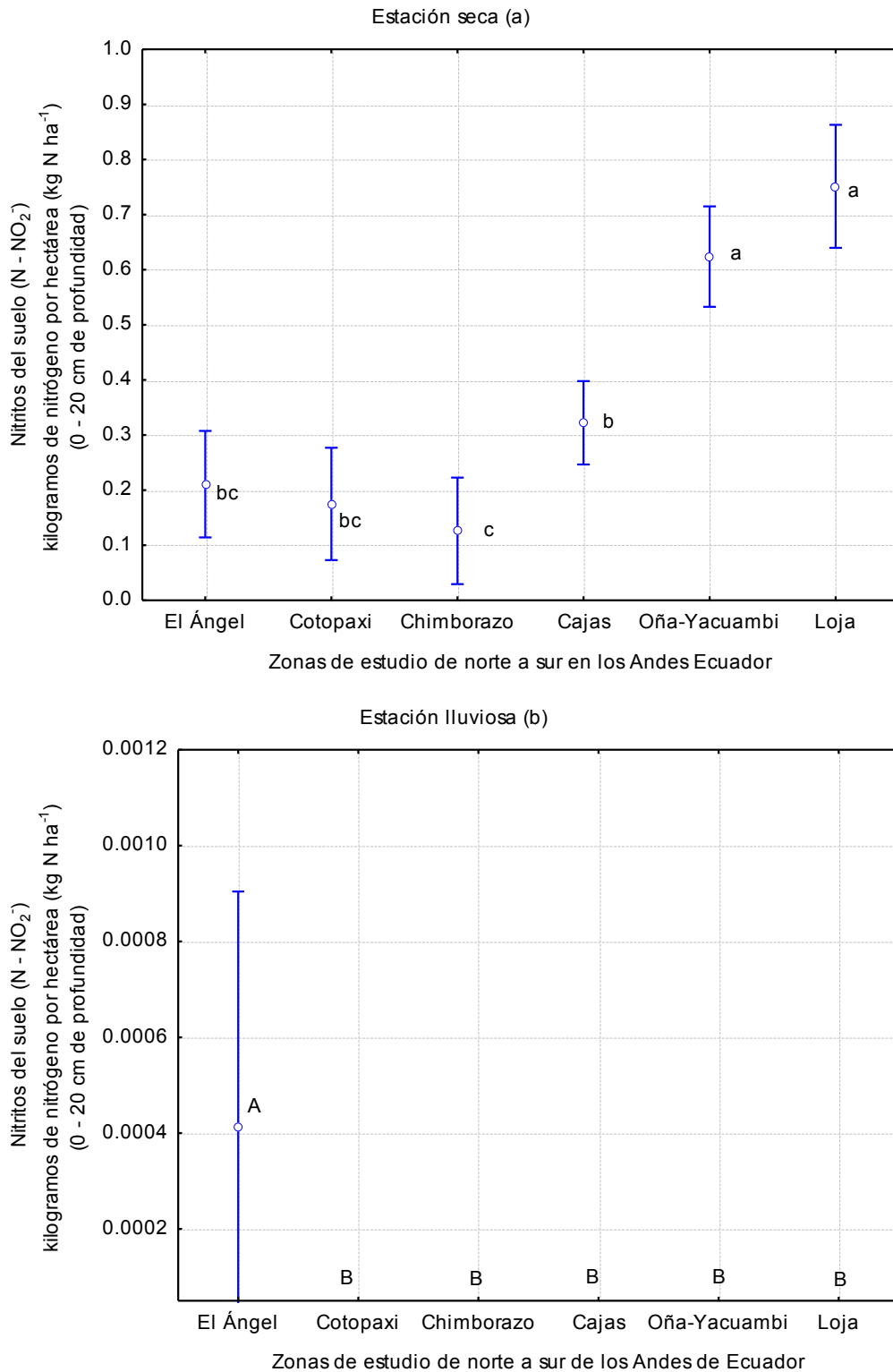


Figura 4.2.16.1. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores de las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar



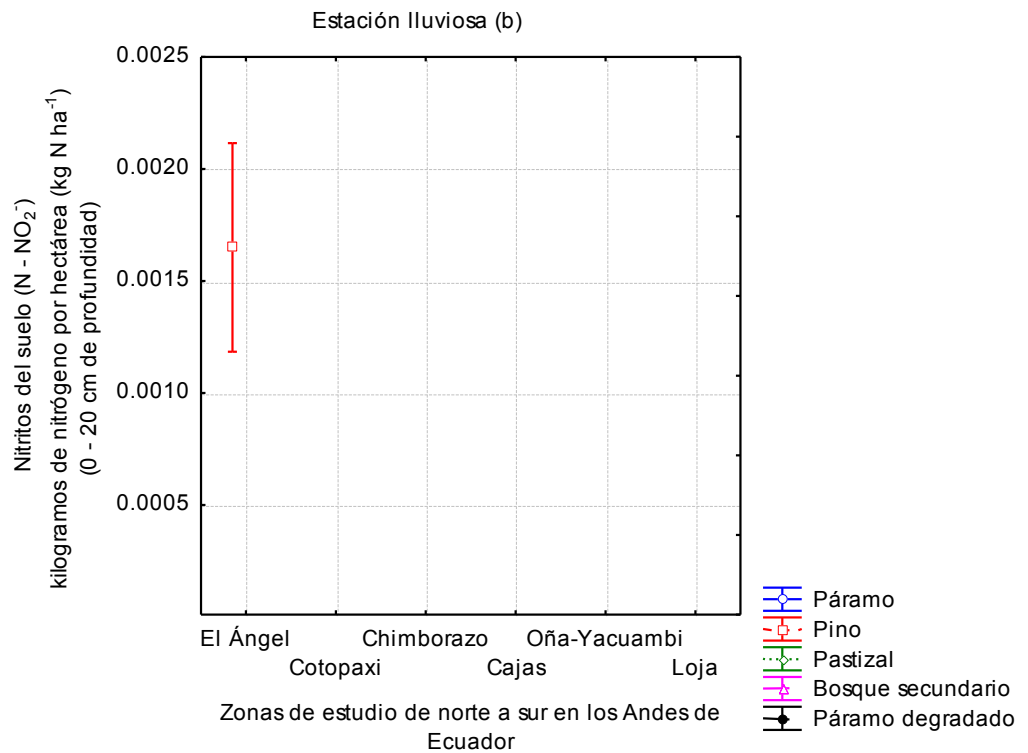
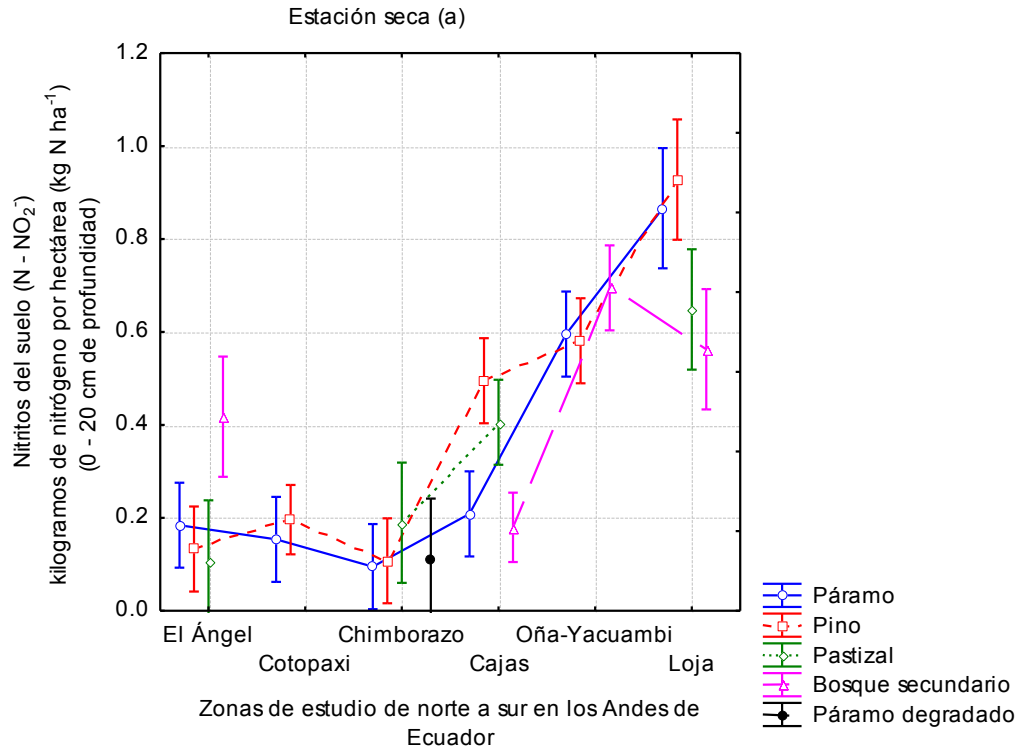


Figura 4.2.16.2. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores de las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

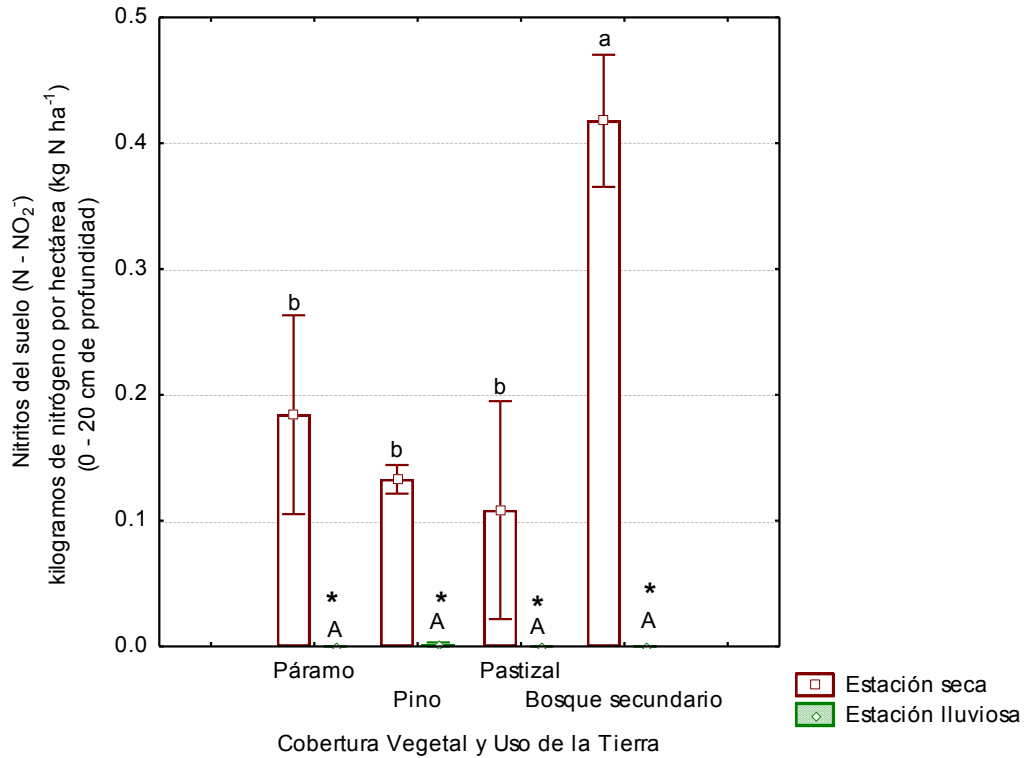


Figura 4.2.16.3. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

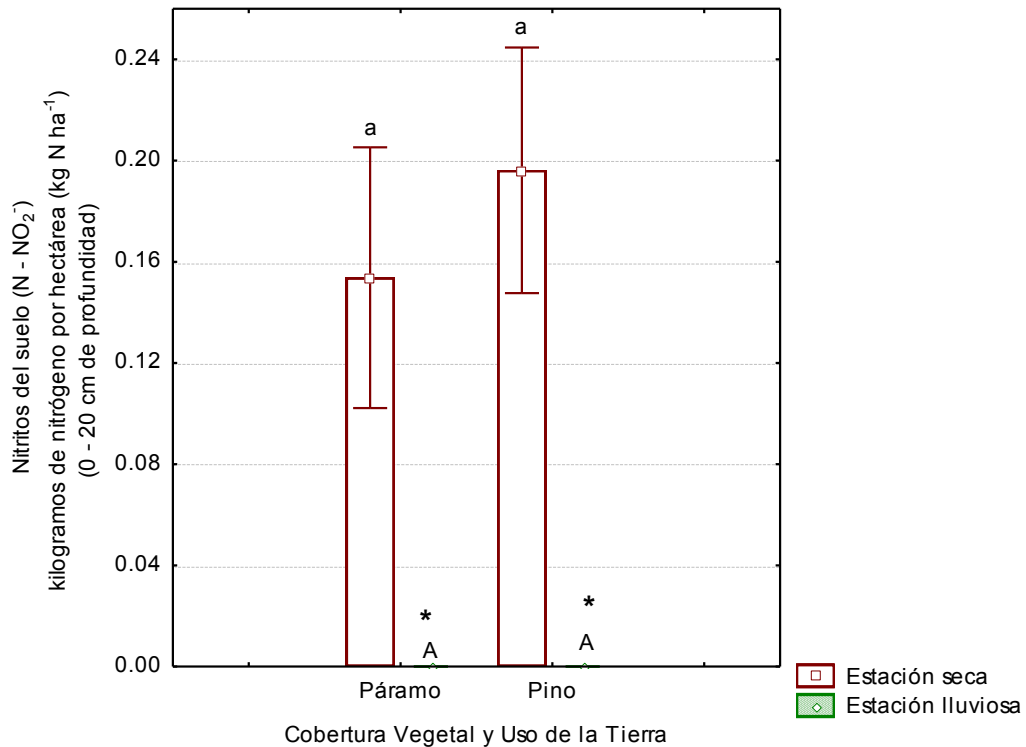


Figura 4.2.16.4. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

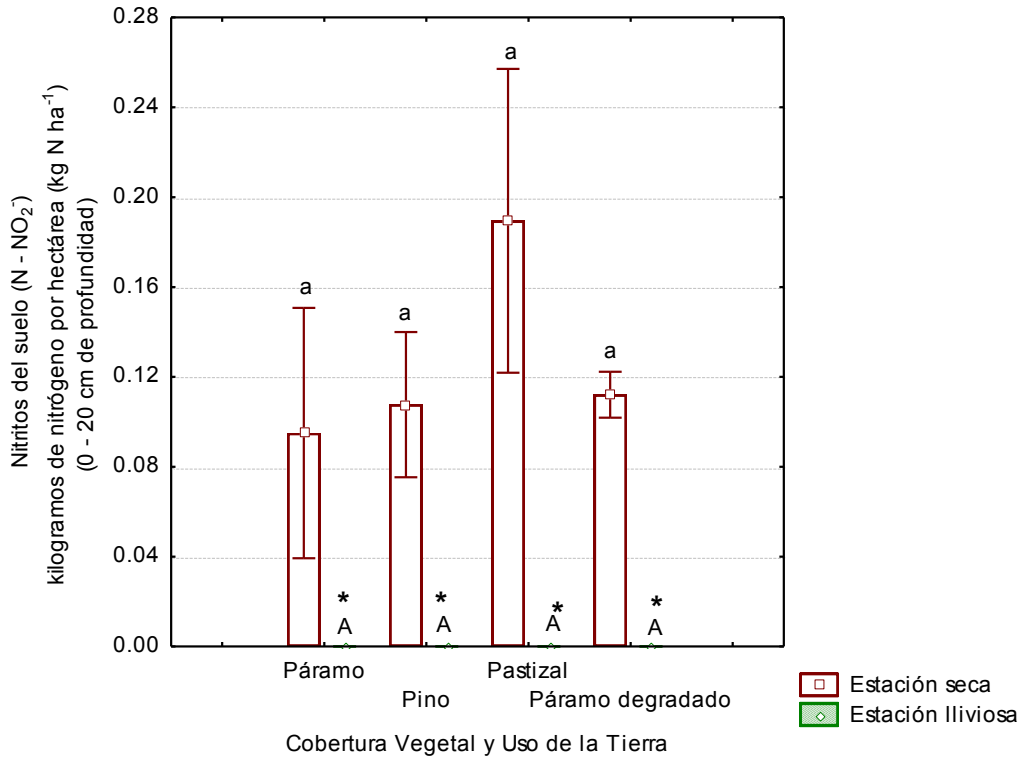


Figura 4.2.16.5. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

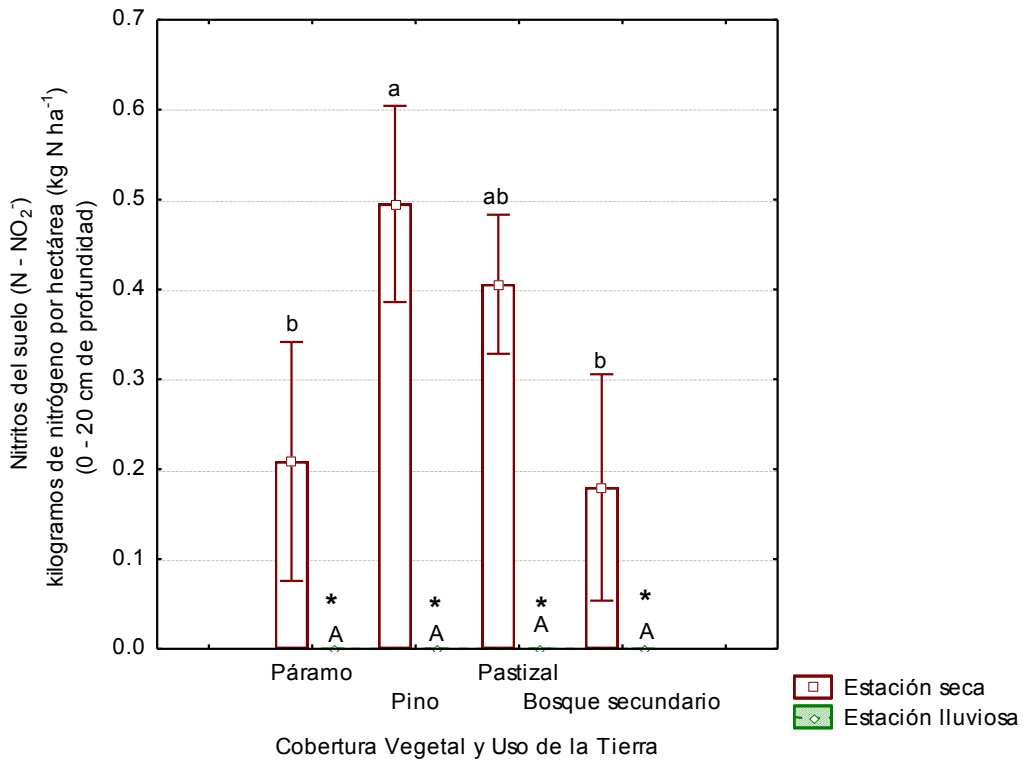


Figura 4.2.16.6. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

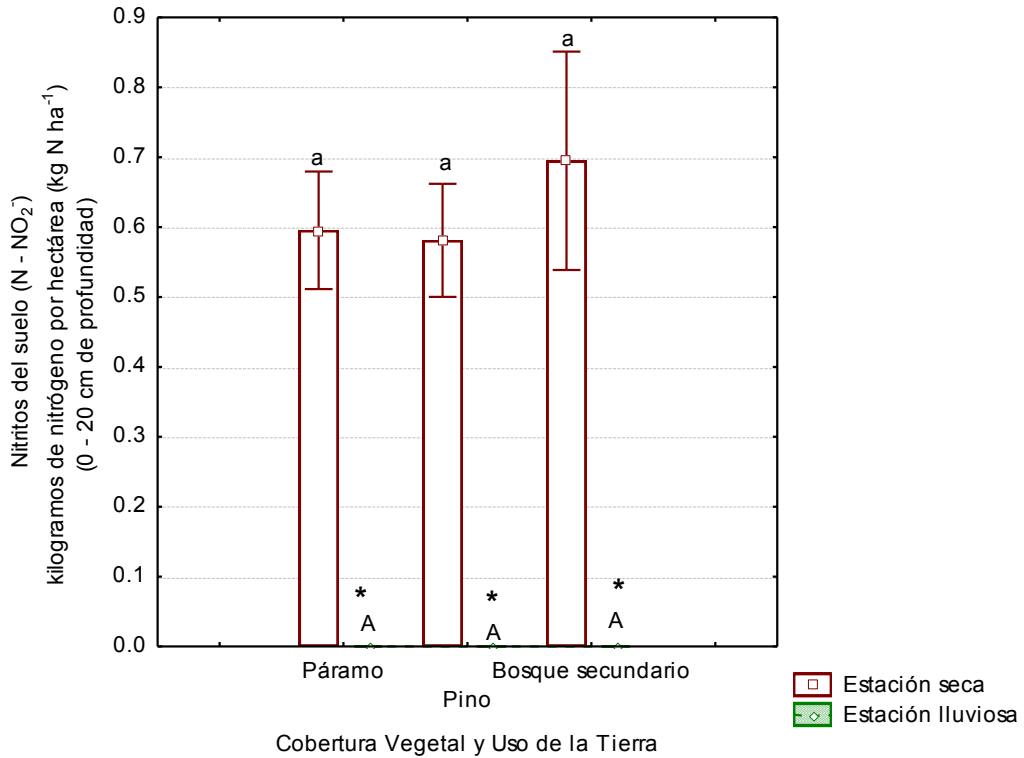


Figura 4.2.16.7. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

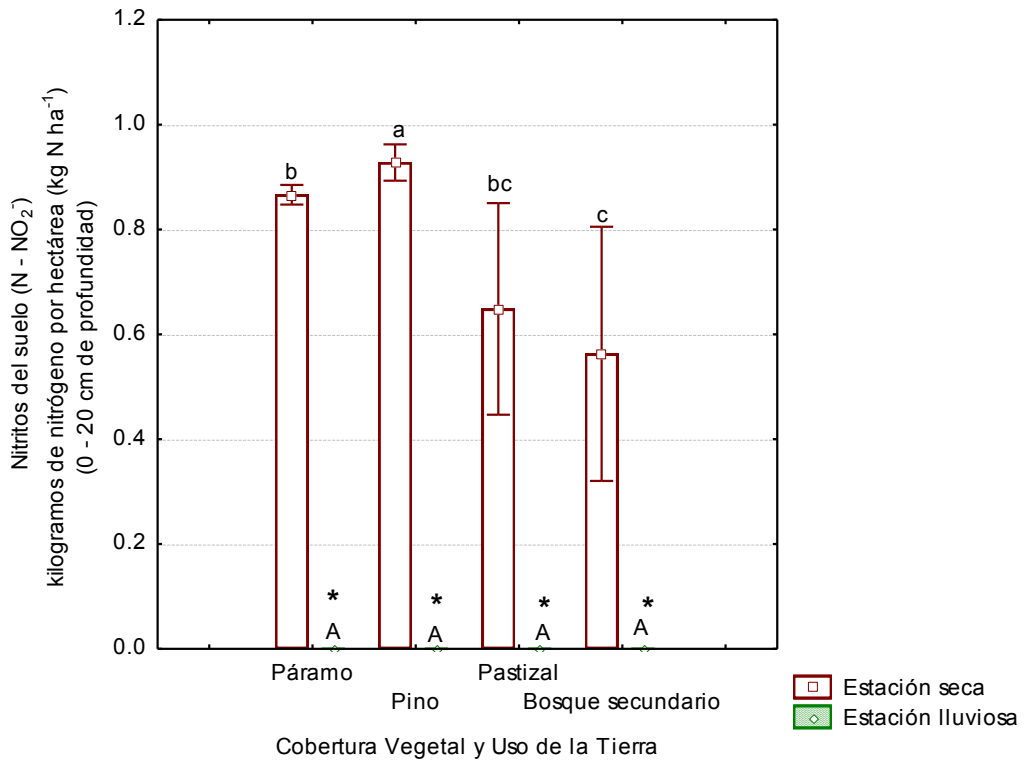


Figura 4.2.16.8. Contenido de  $N-NO_2^-$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

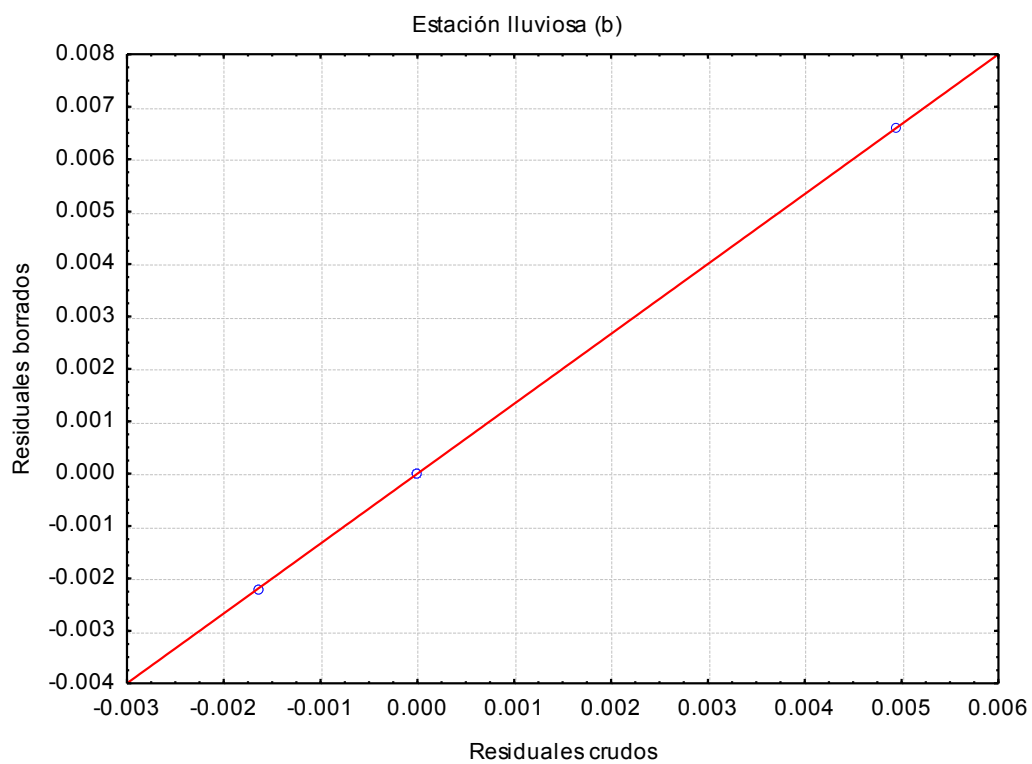
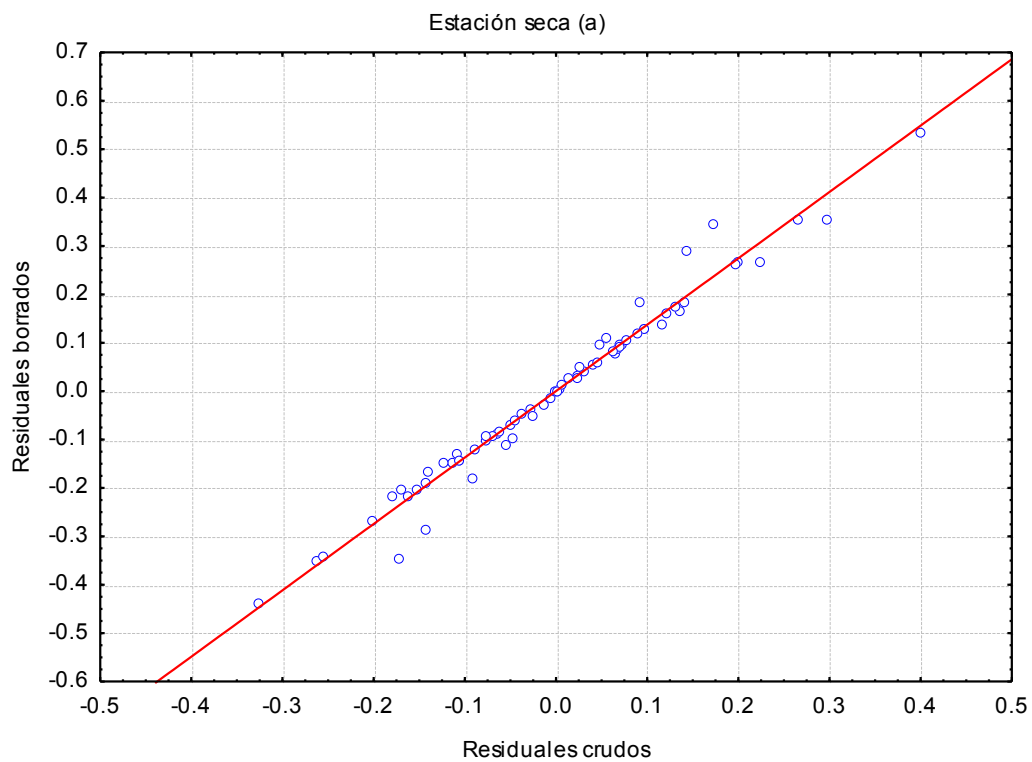


Figura 4.2.16.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$  para los datos de las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

#### 4.2.17. Efecto de los factores estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre la variable Amonio del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador

El rango promedio del contenido de  $\text{NH}_4^+$  de suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 36 y 334  $\text{kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$  para la temporada seca y entre 12 y 84  $\text{kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$  para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.17.1. Fig. 4.2.17.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores*, indicaron que la estación climática tuvo un efecto significativo sobre el contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  en el suelo, y además, indicaron que la estacionalidad tuvo un efecto significativo en interacción con los factores Zona de estudio y CVUT (Tabla 4.2.17.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT de todas las zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo efectos significativos sobre el contenido de  $\text{N-NH}_4^+$ , específicamente en los suelos bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ) en la zona del Ángel; bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Chimborazo; bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), Pino y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) en la zona del Cajas; bajo Paramo ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) en la zona Oña-Yacuambi; y bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), Pino ( $p < 0,05^*$ ), Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ) en la zona Loja.

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $\text{N-NH}_4^+$  (Tabla 4.2.17.3.)

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.17.1.), indicaron que en la estación seca la zona del Ángel tuvo significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo que la zona de Cotopaxi ( $p < 0,01^{**}$ ); y que la zona de Oña-Yacuambi tuvo significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo que las zonas de Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,05^*$ ), Cajas ( $p < 0,01^{**}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ). En la estación húmeda indicaron que los suelos de la zona de Oña-Yacuambi tuvieron mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos de todas las zonas: Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,05^*$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ); también indicaron que los suelos de la zona del Cajas tuvieron mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos de las zonas del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Chimborazo ( $p < 0,01^{**}$ ); y además, indicaron que los suelos de la

zona de Loja tuvieron mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos de la zona de Cotopaxi ( $p < 0,01^{**}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar los efectos específicos del factor anidado CVUT indicaron que este factor influyó significativamente sobre el contenido  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo en las zonas del Ángel y Oña-Yacuambi. Todos los resultados de estas pruebas se describen a continuación.

#### Contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

La influencia de la CVUT sobre el contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo no fue igual para las dos temporadas climáticas (Fig 4.2.17.3.).

En la estación seca los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ); mientras los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte, en la estación lluviosa el efecto de la CVUT sobre el contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  no fue significativo.

#### Contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

El factor CVUT afectó la variable contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.17.4.). En la estación seca los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ). En la temporada lluviosa también los suelos bajo Pino presentaron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ).

#### Contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

En la zona del Chimborazo la influencia de la CVUT sobre el contenido  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo fue diferente en cada estación climática (Fig. 4.2.17.5.).

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ); también, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  que los suelos bajo Paramo ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte, en la temporada lluviosa las diferencias en el contenido  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT no fueron significativas.

#### Contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa no existieron diferencias significativas del contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.17.6.).

#### Contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En las dos temporadas climáticas el contenido de amonio del suelo estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.17.7.).

En la estación seca los sitios bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ).

Por su parte, en la estación lluviosa los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

La influencia de la CVUT sobre el contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del suelo vario en función de la estación climática (Fig. 4.2.17.8)

En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte, en la estación lluviosa los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); también, los suelos bajo Pino tuvieron un contenido significativamente mayor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); y además, los suelos bajo Pastizal tuvieron un contenido significativamente mayor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba con ecuación de regresión indicó que los datos del contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del suelo tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,71; *F* = 2,52;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,78; *F* = 3,99;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos estimados de kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> bajo los diferentes tipos de CVUT tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.17.9) tanto en la temporada seca (*W* = 0,77;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la temporada lluviosa (*W* = 0,92;  $p < 0,001^{***}$ ).



Además, la prueba *Levene* indicó que los datos estimados de  $\text{kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$  tuvieron homogeneidad de las varianzas tanto en la temporada seca ( $F = 3,86; p < 0,001^{***}$ ) como en la temporada lluviosa ( $F = 2,54; p < 0,01^{**}$ ).

Tabla 4.2.17.1. Contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                            | Pino                              | Pastizal                          | Bosque secundario                 | Páramo degradado                  | Promedio general   |
|--------------|--------------------|----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
|              |                    |    | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg N ha <sup>-1</sup> EE |                    |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 141 ± 24 <b>b</b>                 | 270 ± 67 <b>a</b>                 | 203 ± 70 <b>ab</b>                | 64 ± 11 <b>c</b>                  | -                                 | 169 ± 29 <b>b</b>  |
|              | Lluviosa           | 12 | *24 ± 3 <b>A</b>                  | *34 ± 7 <b>A</b>                  | *30 ± 1 <b>A</b>                  | *29 ± 1 <b>A</b>                  | -                                 | 29 ± 5 <b>C</b>    |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 36 ± 10 <b>a</b>                  | 53 ± 7 <b>a</b>                   | -                                 | -                                 | -                                 | 45 ± 30 <b>c</b>   |
|              | Lluviosa           | 10 | *12 ± 2 <b>B</b>                  | *27 ± 5 <b>A</b>                  | -                                 | -                                 | -                                 | 19 ± 6 <b>C</b>    |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 55 ± 21 <b>b</b>                  | 151 ± 51 <b>ac</b>                | 259 ± 120 <b>a</b>                | -                                 | 75 ± 38 <b>bc</b>                 | 135 ± 29 <b>b</b>  |
|              | Lluviosa           | 12 | 33 ± 5 <b>A</b>                   | *41 ± 10 <b>A</b>                 | *27 ± 1 <b>A</b>                  | -                                 | 33 ± 14 <b>A</b>                  | 33 ± 5 <b>C</b>    |
| Cajas        | Seca               | 18 | 121 ± 27 <b>a</b>                 | 118 ± 27 <b>a</b>                 | 75 ± 7 <b>a</b>                   | 131 ± 42 <b>a</b>                 | -                                 | 111 ± 22 <b>bc</b> |
|              | Lluviosa           | 18 | *54 ± 6 <b>A</b>                  | *56 ± 13 <b>A</b>                 | 55 ± 11 <b>A</b>                  | *49 ± 2 <b>A</b>                  | -                                 | 53 ± 4 <b>B</b>    |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 194 ± 45 <b>b</b>                 | 334 ± 127 <b>a</b>                | -                                 | 99 ± 28 <b>c</b>                  | -                                 | 209 ± 27 <b>a</b>  |
|              | Lluviosa           | 12 | *46 ± 12 <b>B</b>                 | *71 ± 19 <b>AB</b>                | -                                 | 84 ± 11 <b>A</b>                  | -                                 | 67 ± 5 <b>A</b>    |
| Loja         | Seca               | 8  | 78 ± 9 <b>a</b>                   | 104 ± 24 <b>a</b>                 | 91 ± 46 <b>a</b>                  | 147 ± 49 <b>a</b>                 | -                                 | 105 ± 33 <b>bc</b> |
|              | Lluviosa           | 8  | *63 ± 2 <b>A</b>                  | *60 ± 1 <b>A</b>                  | *39 ± 3 <b>B</b>                  | *17 ± 4 <b>C</b>                  | -                                 | 45 ± 6 <b>BC</b>   |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.17.2. Efecto de la estación climática sobre el contenido de Amonio del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                               | Suma de cuadrados | Gardos de libertad | Media suma cuadrados | F     | p          |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------|------------|
| Estacionalidad                       | 258226            | 1                  | 258226               | 63,03 | < 0,001*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 61862             | 5                  | 12372                | 3,02  | < 0,05*    |
| Estacionalidad*CVUT                  | 41695             | 4                  | 10424                | 2,54  | < 0,05*    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 103062            | 11                 | 9369                 | 2,29  | < 0,05*    |
| Error                                | 208941            | 51                 | 4097                 |       |            |

Tabla 4.2.17.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el contenido de Amonio del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                          | Prueba | Valor | F   | GL efecto | GL error | p          |
|---------------------------------|--------|-------|-----|-----------|----------|------------|
| Intercepción                    | Wilks  | 0,11  | 202 | 2         | 50       | < 0,001*** |
| Zona de estudio                 | Wilks  | 0,37  | 7   | 10        | 100      | < 0,001*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | Wilks  | 0,41  | 2   | 30        | 100      | < 0,05*    |

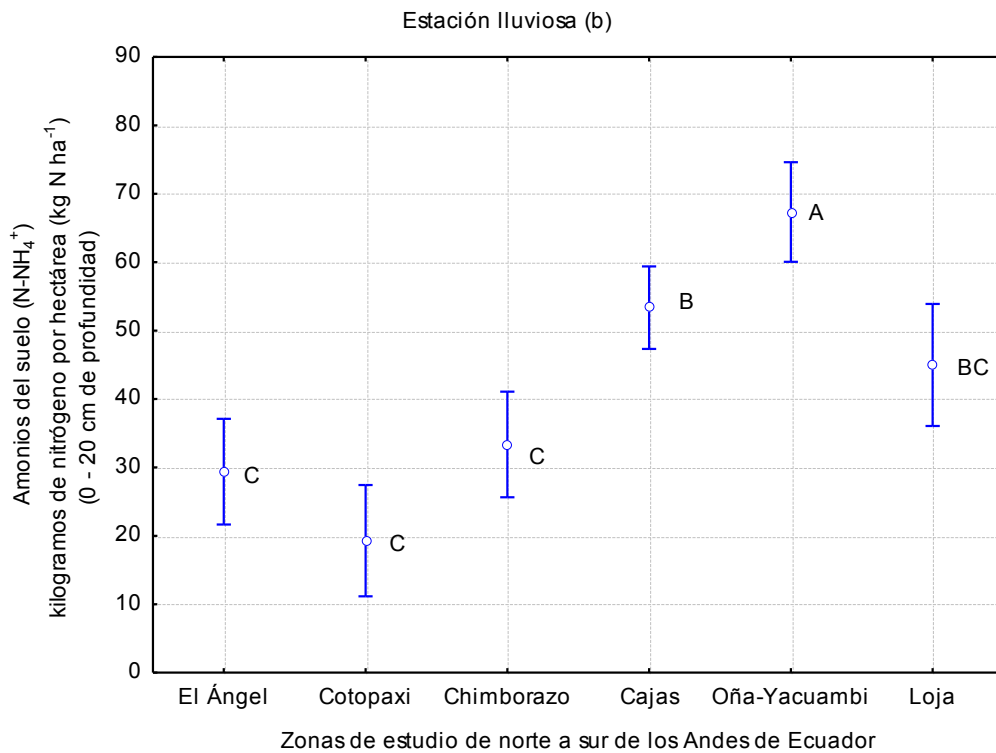
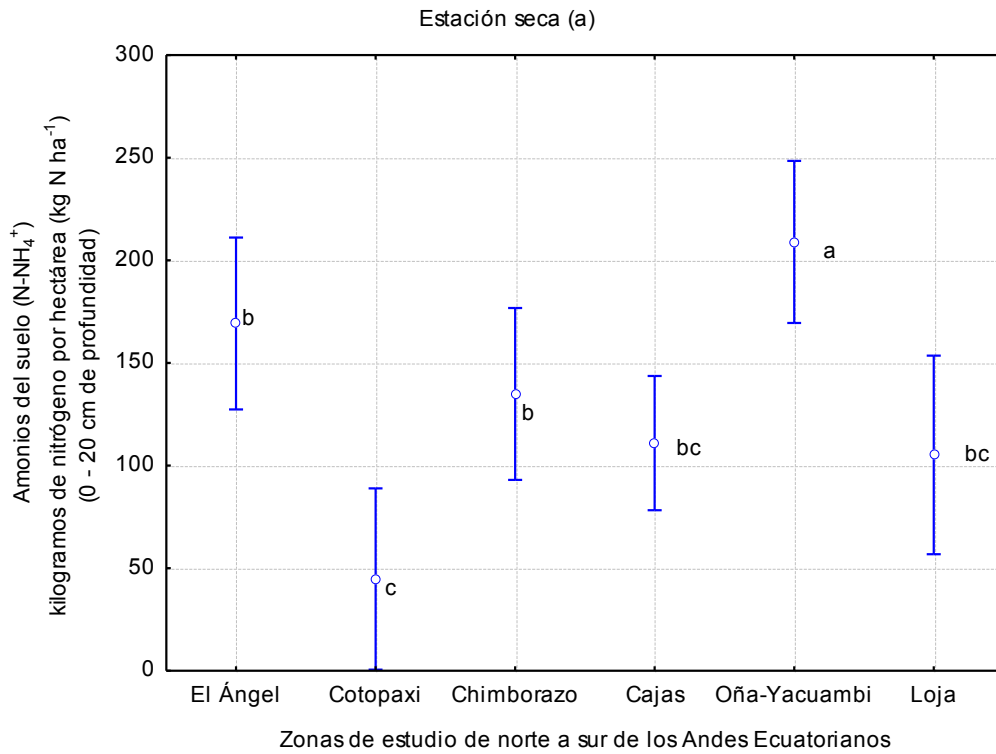


Figura 4.2.17.1. Contenido  $\text{NH}_4^+$  del suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

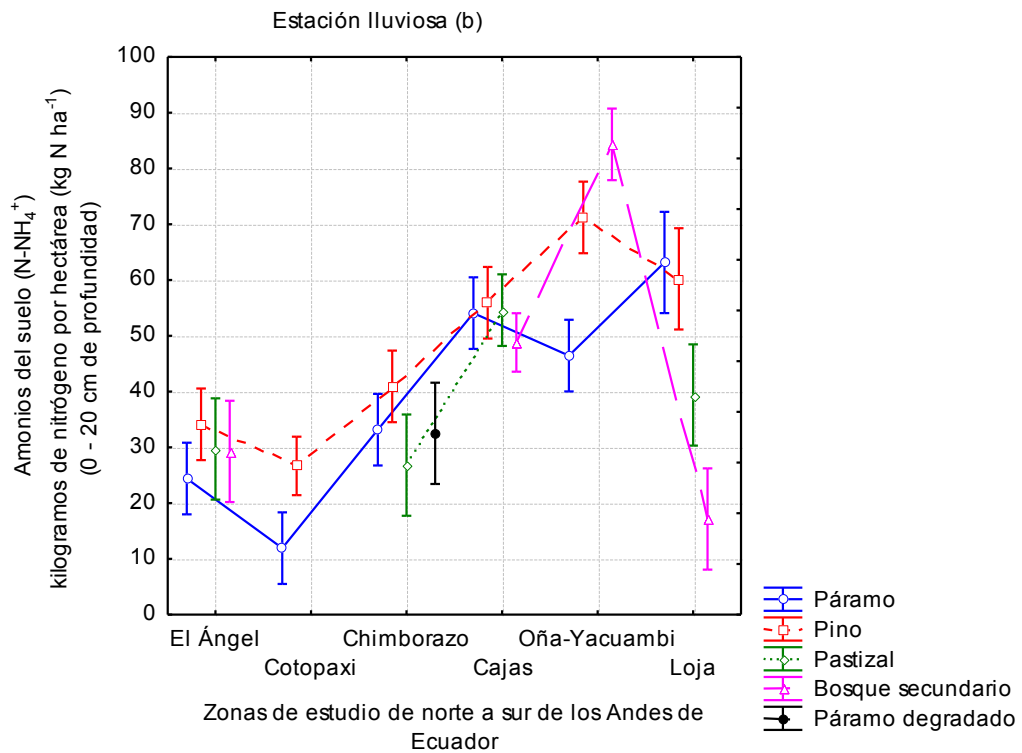
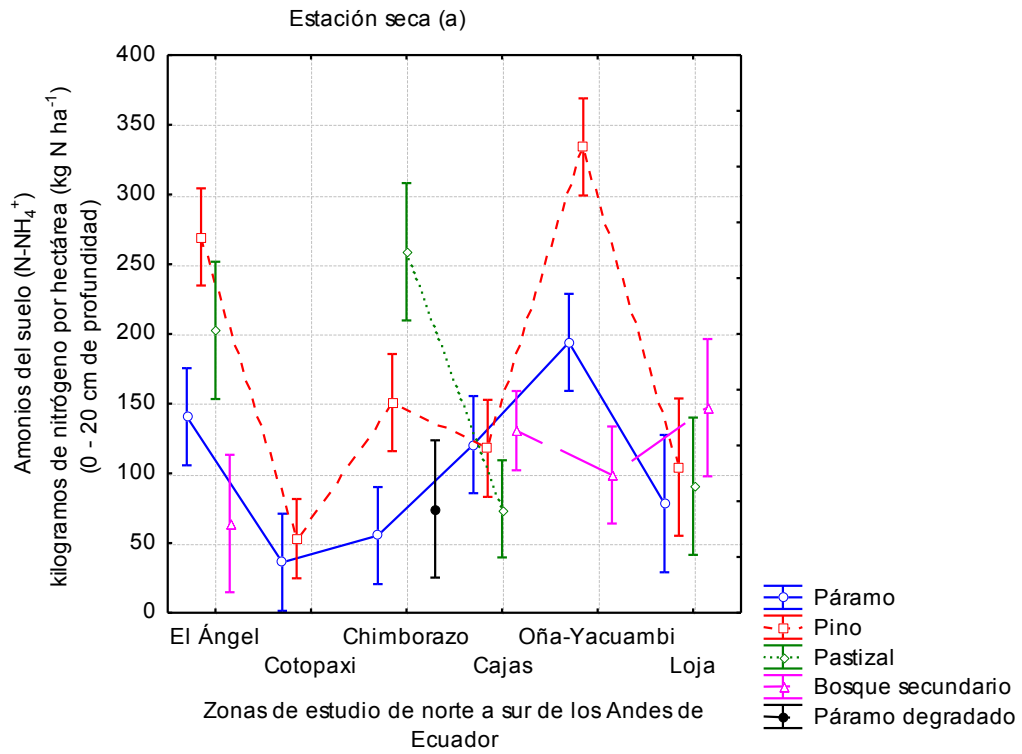


Figura 4.2.17.2. Contenido  $\text{NH}_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

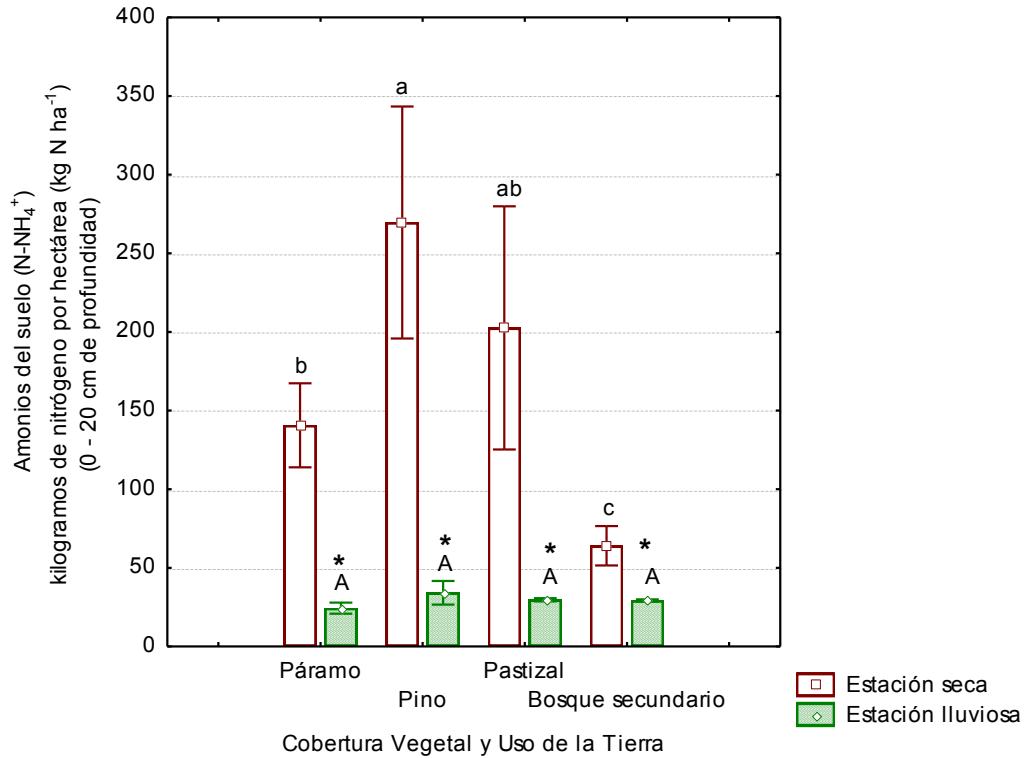


Figura 4.2.17.3. Contenido de  $\text{NH}_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

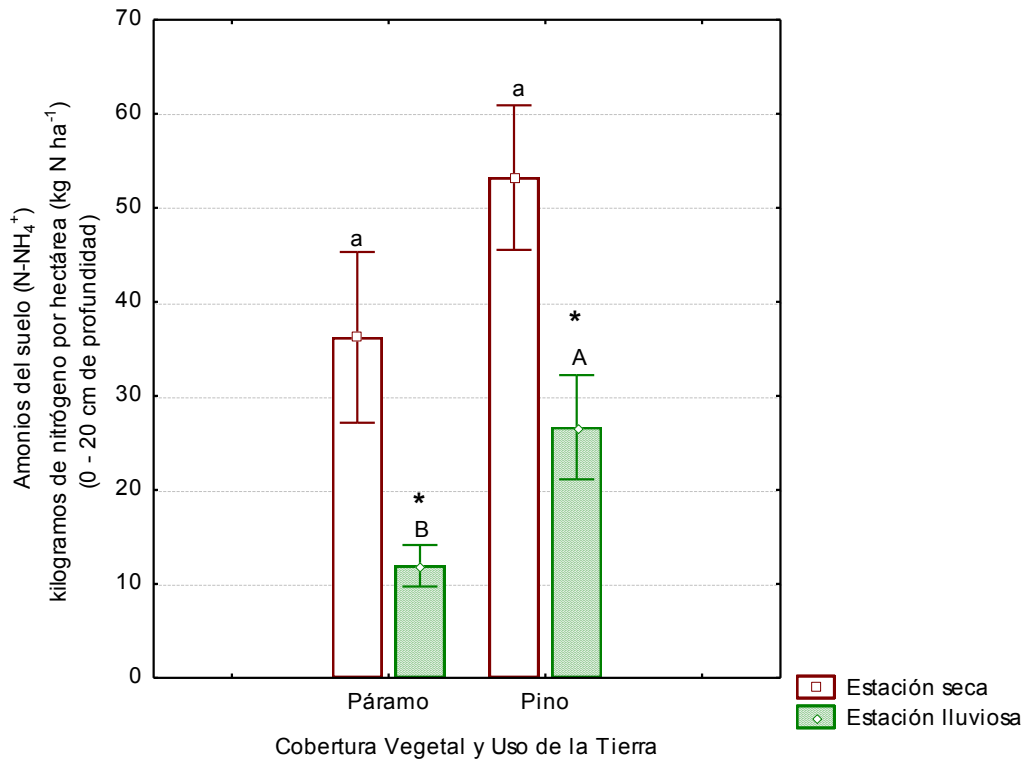


Figura 4.2.17.4. Contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

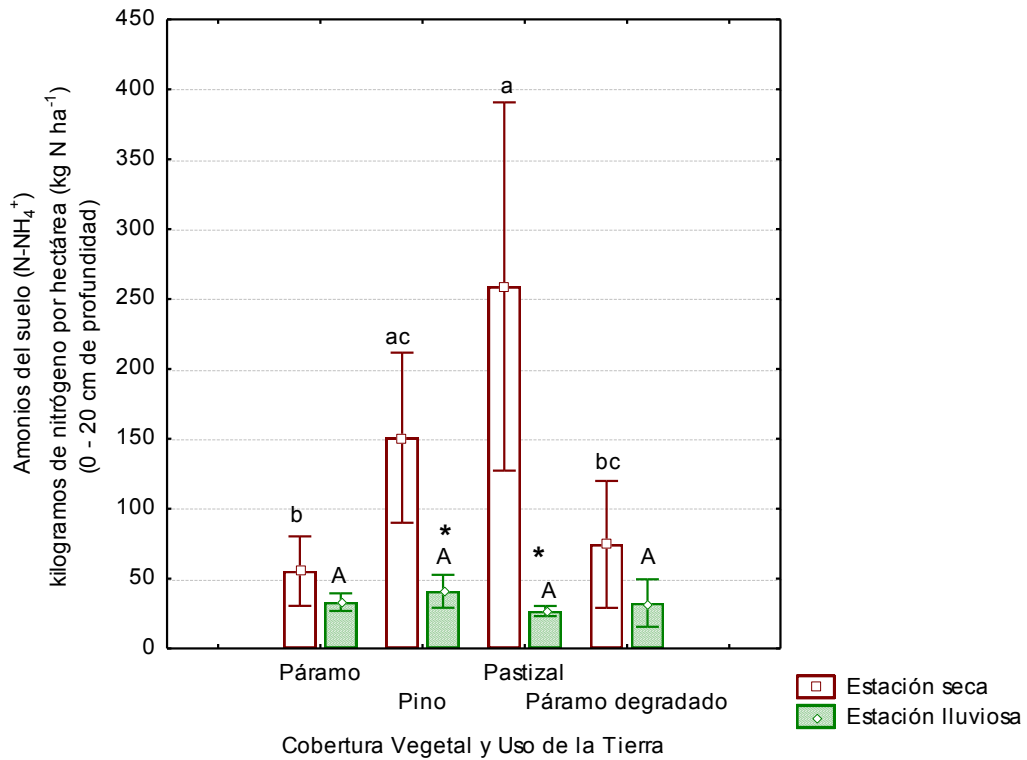


Figura 4.2.17.5. Contenido de  $N-NH_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

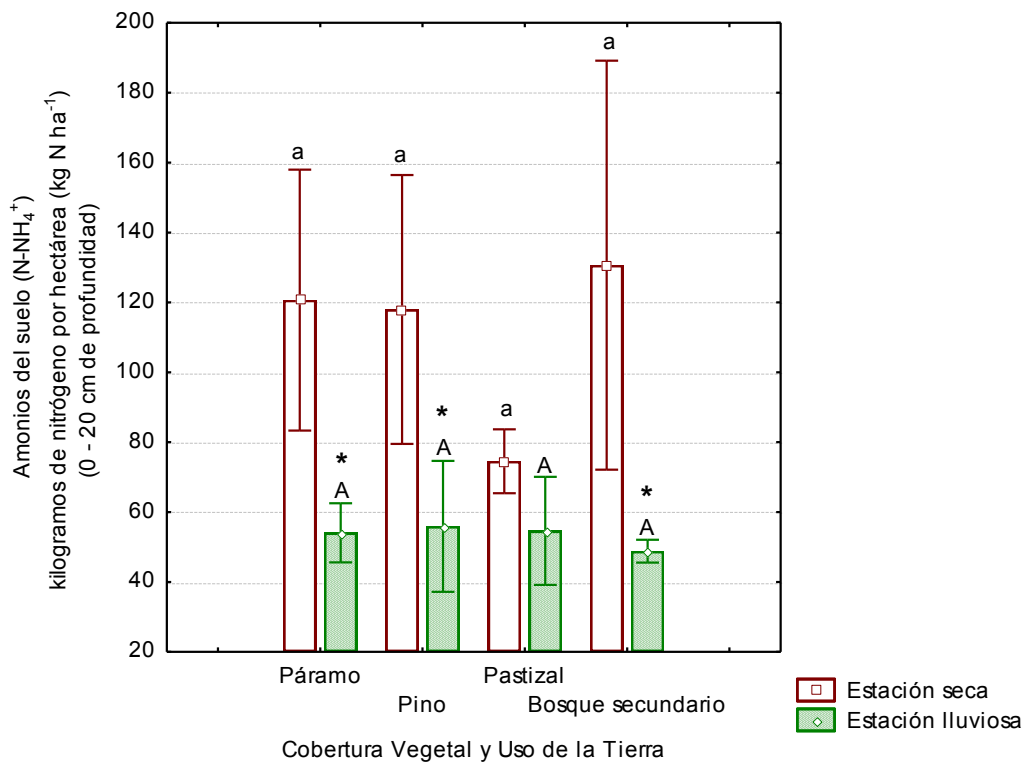


Figura 4.2.17.6. Contenido de  $N-NH_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

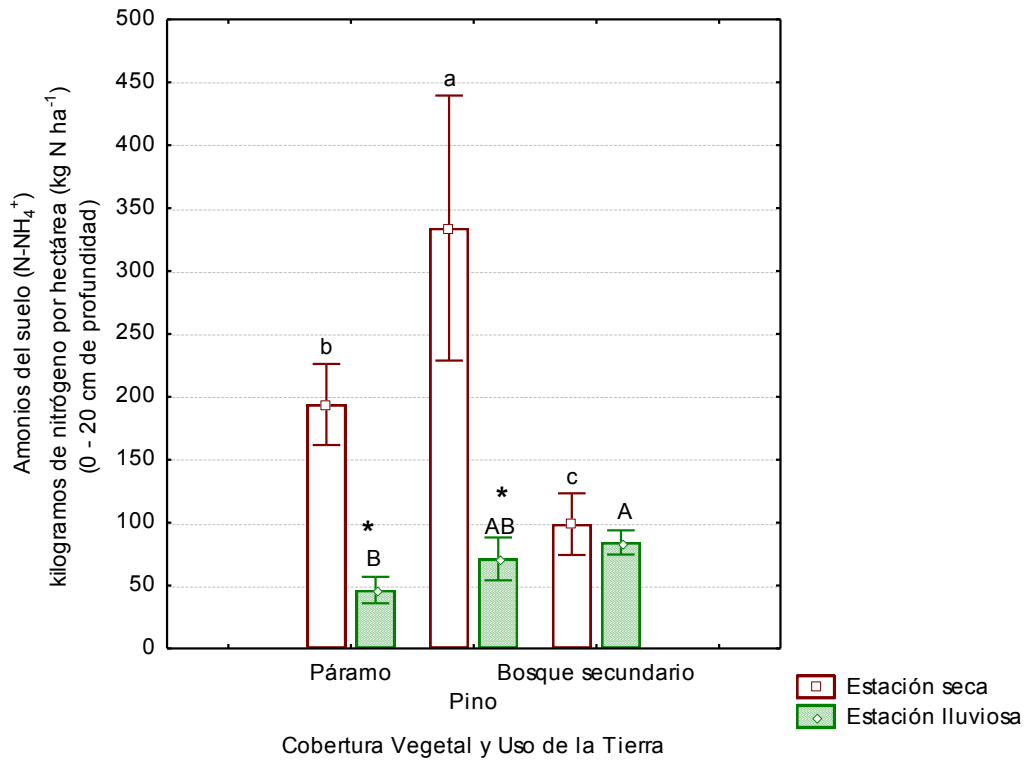


Figura 4.2.17.7. Contenido de  $N-NH_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

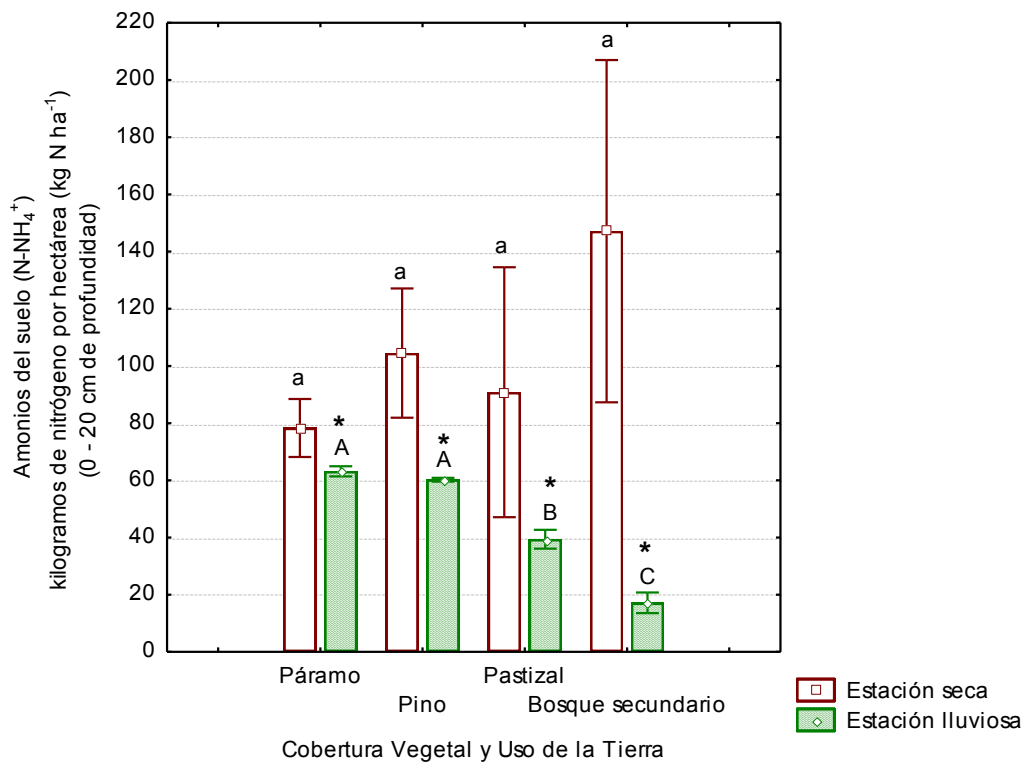


Figura 4.2.17.8. Contenido de  $N-NH_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

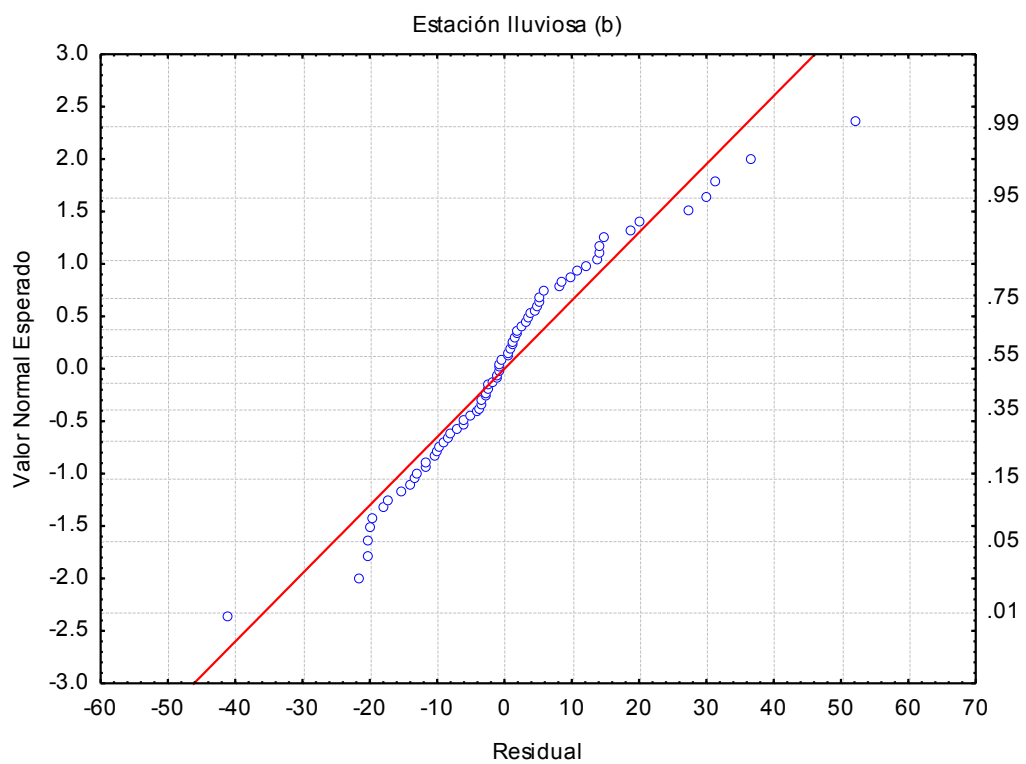
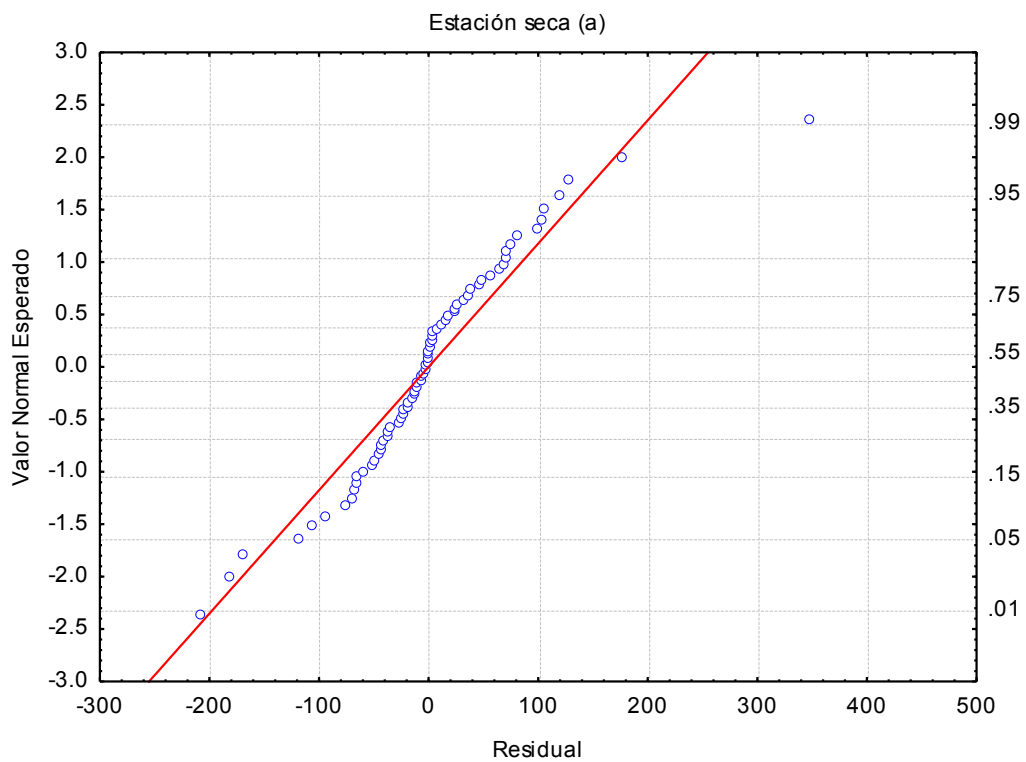


Figura 4.2.17.9 Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de iones de Amonio del suelo para los datos de la estación seca y la lluviosa.

#### 4.2.18. Efecto de los factores estación climática, zona de estudio y CVUT sobre la variable Relación Nitratos/Amonio en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 0,01 y 9,8 para la temporada seca y entre 0,12 y 1,07 para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.18.1.; Fig. 4.2.18.2).

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores*, indicaron que la estación climática tuvo un efecto significativo sobre relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo, y además, indicaron que la estacionalidad tuvo un efecto significativo en interacción con el factor Zona de estudio (Tabla 4.2.18.2).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT, indicaron que la estación climática tuvo un efecto significativo sobre relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo específicamente en los sitios bajo Pastizal ( $p<0,005^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p<0,005^{***}$ ) de la zona del Ángel (Fig. 4.2.18.3.); en los sitios bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ) y Pino ( $p<0,005^{***}$ ) de la zona del Cotopaxi (Fig. 4.2.18.4.); en los sitios bajo Pastizal ( $p<0,005^{***}$ ) de la zona del Chimborazo (Fig. 4.2.18.5.); en los sitios bajo Páramo ( $p<0,01^{**}$ ), Pino ( $p = 0,010907^{**}$ ), Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ) de la zona del Cajas (Fig. 4.2.18.6.); en los sitios bajo Bosque secundario ( $p<0,005^{***}$ ) de la zona de Oña-Yacuambi (Fig. 4.2.18.7.); y en los sitios bajo Páramo ( $p<0,01^{**}$ ), Pino ( $p<0,01^{**}$ ) y Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ) de la zona de Loja (Fig. 4.2.18.8).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo (Tabla 4.2.18.3.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.18.1.), indicaron que en la estación seca los suelos de la zona del Cajas presentaron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que los suelos de las zonas del Ángel ( $p<0,01^{**}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p<0,001^{***}$ ) y Loja ( $p<0,001^{***}$ ); también indicaron que los suelos del Ángel tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que los suelos de Oña-Yacuambi ( $p<0,05^*$ ) y Loja ( $p<0,05^*$ ); y además, indicaron que los suelos de Cotopaxi tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que los suelos de Oña-Yacuambi ( $p<0,005^{***}$ ) y Loja ( $p<0,005^{***}$ ). Mientras que en la temporada lluviosa los suelos de la zona del Ángel tuvieron significativamente



menor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que los suelos de Chimborazo ( $p<0,01^{**}$ ), Cajas ( $p<0,005^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p<0,01^{**}$ ) y Loja ( $p<0,05^*$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo, en las zonas del Ángel, Chimborazo, Oña-Yacuambi y Loja. Todos los resultados de esta prueba se describen a continuación.

#### Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

El factor CVUT afectó significativamente la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.18.3.).

En la estación seca los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo, que los sitios bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p<0,005^{***}$ ); también los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo que los sitios bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p<0,005^{***}$ ).

En la estación lluviosa los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo que los sitios bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ), bajo Pino ( $p<0,01^{**}$ ) y bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ).

#### Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

El efecto del factor CVUT sobre la variable relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo no fue significativo ni en la temporada seca ni en la temporada lluviosa (Fig. 4.2.18.4.).

#### Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

La influencia de la CVUT sobre la variable relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo fue diferente para cada estación climática (Fig. 4.2.18.5.).

En la estación seca los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p<0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p<0,005^{***}$ ).

En la estación lluviosa el efecto de la CVUT sobre  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo no fue significativo.

#### Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

Tanto en la temporada seca como en la temporada lluviosa el efecto de la CVUT sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo no fue significativo (Fig. 4.2.18.6.).

#### Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

La influencia de la CVUT sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo fue diferente en cada estación climática (Fig. 4.2.18.7.).

En la estación seca el efecto de la CVUT sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo no fue significativo.

En la estación lluviosa los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la zona de Loja se vio una influencia significativa de la CVUT sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.18.8.)

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la estación lluviosa los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente menor  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba con ecuación de regresión indicó que los datos de relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple*  $R = 0,71$ ;  $F = 2,52$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como en la estación lluviosa (*múltiple*  $R = 0,78$ ;  $F = 3,99$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.18.9.) tanto en la temporada seca ( $W = 0,77$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como en la temporada lluviosa ( $W = 0,92$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos de la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo tuvieron homogeneidad de las varianzas tanto los de la temporada seca ( $F = 3,86$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como los de la temporada lluviosa ( $F = 2,54$ ;  $p = 0,003509^{***}$ ).

L

Tabla 4.2.18.1. Relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo bajo diferente CVUT y diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo         | Pino           | Pastizal        | Bosque secundario | Páramo degradado | Promedio general |     |
|--------------|--------------------|----|----------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|-----|
|              |                    |    | media EE.      | media EE.      | media EE.       | media EE.         | media EE.        | media            | EE. |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 0,44 ± 0,21 b  | 0,49 ± 0,43 b  | 7,25 ± 4,54 a   | 9,84 ± 2,13 a     | - -              | 3,16 ± 1,33      | ab  |
|              | Lluviosa           | 12 | 0,20 ± 0,06 B  | 0,16 ± 0,05 B  | * 0,16 ± 0,05 B | * 0,47 ± 0,07 A   | - -              | 0,23 ± 0,04      | B   |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 3,94 ± 1,49 a  | 6,02 ± 0,57 a  | - -             | - -               | - -              | 5,19 ± 0,72      | ab  |
|              | Lluviosa           | 10 | *0,33 ± 0,05 A | *0,50 ± 0,08 A | - -             | - -               | - -              | 0,43 ± 0,05      | AB  |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 1,18 ± 0,77 b  | 0,09 ± 0,02 c  | 7,55 ± 2,01 a   | - -               | 1,29 ± 0,69 b    | 1,90 ± 0,85      | bc  |
|              | Lluviosa           | 12 | 0,78 ± 0,16 A  | 0,48 ± 0,22 A  | *0,13 ± 0,07 B  | - -               | 0,72 ± 0,55 AB   | 0,56 ± 0,13      | A   |
| Cajas        | Seca               | 18 | 5,45 ± 2,10 a  | 4,95 ± 0,87 a  | 9,78 ± 4,39 a   | 6,46 ± 2,57 a     | - -              | 6,64 ± 1,34      | a   |
|              | Lluviosa           | 18 | *0,48 ± 0,05 A | *0,48 ± 0,05 A | *0,72 ± 0,12 A  | *0,57 ± 0,13 A    | - -              | 0,56 ± 0,06      | A   |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 0,35 ± 0,06 a  | 0,46 ± 0,18 a  | - -             | 0,18 ± 0,05 a     | - -              | 0,33 ± 0,07      | c   |
|              | Lluviosa           | 12 | 0,27 ± 0,06 B  | 0,30 ± 0,10 B  | - -             | *1,07 ± 0,30 A    | - -              | 0,54 ± 0,15      | A   |
| Loja         | Seca               | 8  | 0,13 ± 0,11 b  | 0,01 ± 0,002 b | 11,01 ± 0,53 a  | 0,02 ± 0,01 b     | - -              | 0,29 ± 0,19      | c   |
|              | Lluviosa           | 8  | *0,81 ± 0,02 A | *0,61 ± 0,13 A | 0,61 ± 0,35 A   | *0,12 ± 0,01 B    | - -              | 0,54 ± 0,12      | A   |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.18.2. Efecto de la estación climática sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Efecto                               | Suma de cuadrados | Gardos de libertad | Media suma cuadrados | F    | p           |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------|-------------|
| Estacionalidad                       | 229               | 1                  | 229                  | 39,8 | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 187               | 5                  | 37                   | 6,5  | 0,000095*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 52                | 4                  | 13                   | 2,3  | 0,074970    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 74                | 11                 | 7                    | 1,2  | 0,333718    |
| Error                                | 293               | 51                 | 6                    |      |             |

Tabla 4.2.18.1. Efecto de la zona de estudio y del factor anidado CVUT sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo en ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador

| Efecto                          | Prueba | Valor | F  | GL efecto | GL error | p           |
|---------------------------------|--------|-------|----|-----------|----------|-------------|
| Intercepción                    | Wilks  | 0,20  | 99 | 2         | 50       | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | Wilks  | 0,48  | 4  | 10        | 100      | 0,000036*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | Wilks  | 0,36  | 2  | 30        | 100      | 0,001698*** |

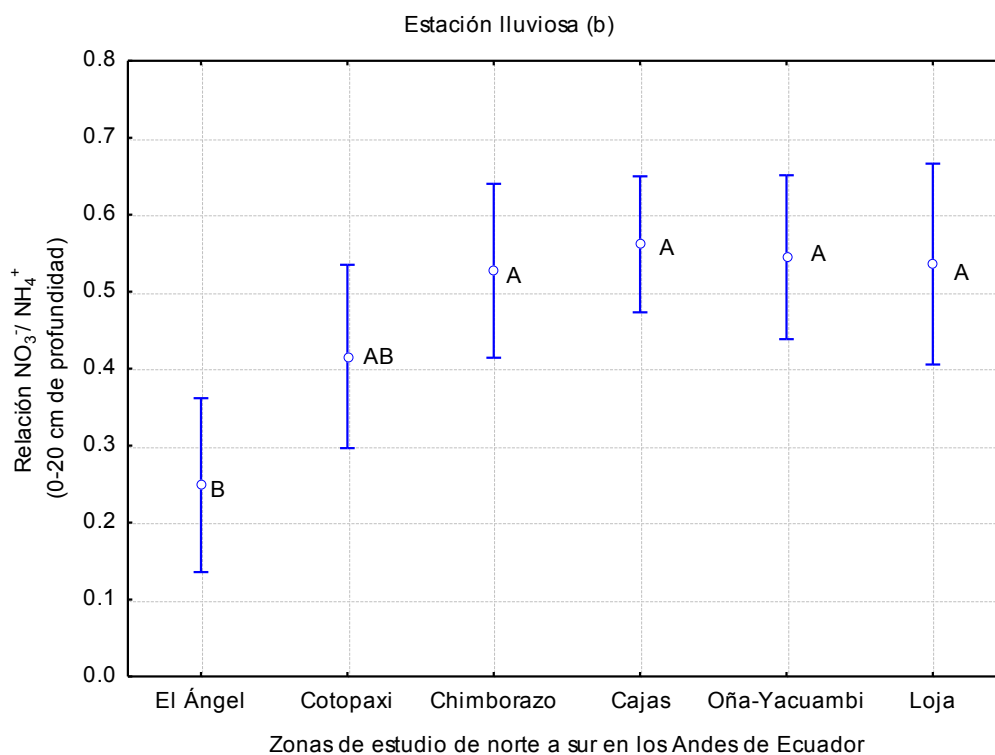
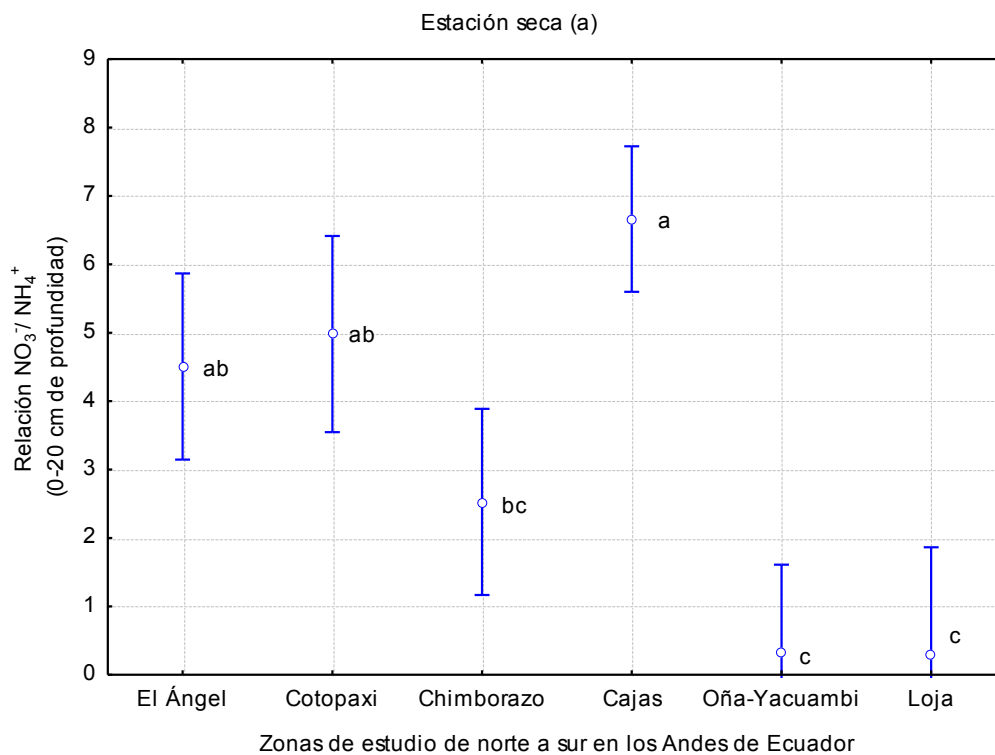


Figura 4.2.18.1. Relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

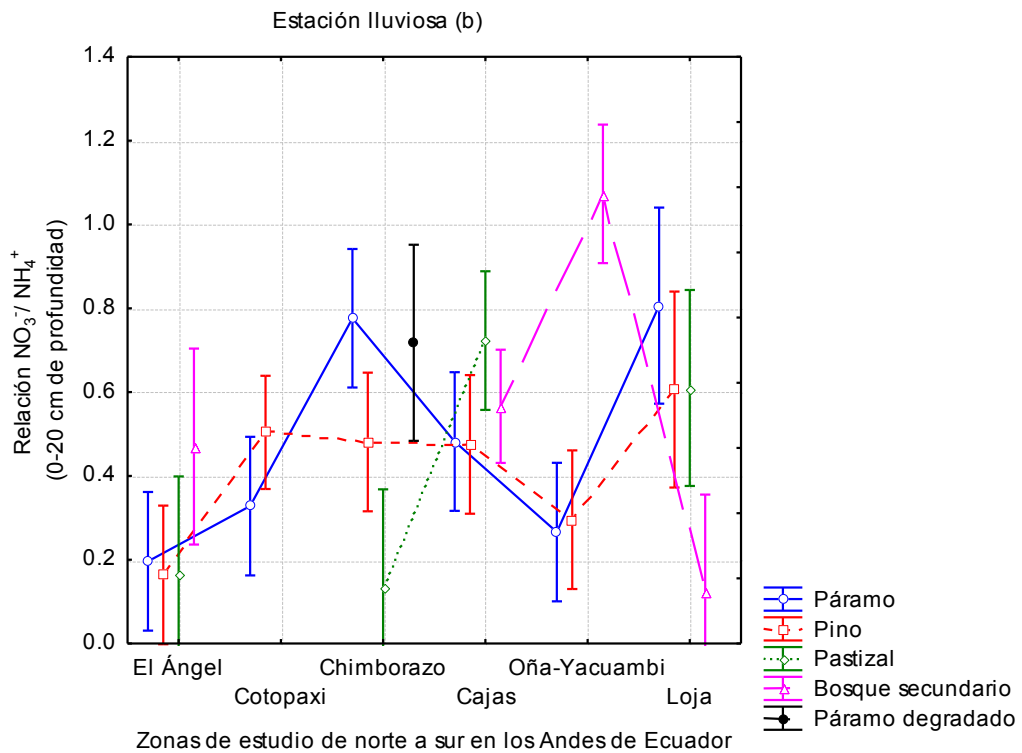
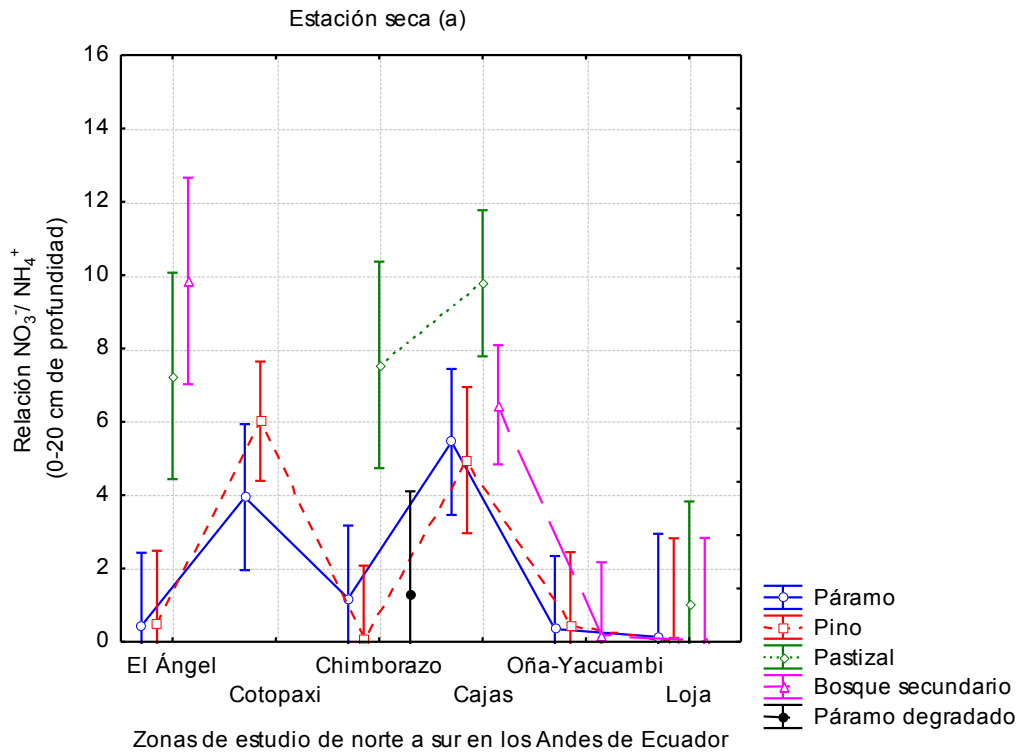


Figura 4.2.18.2. Relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo bajo diferente CVUT y diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

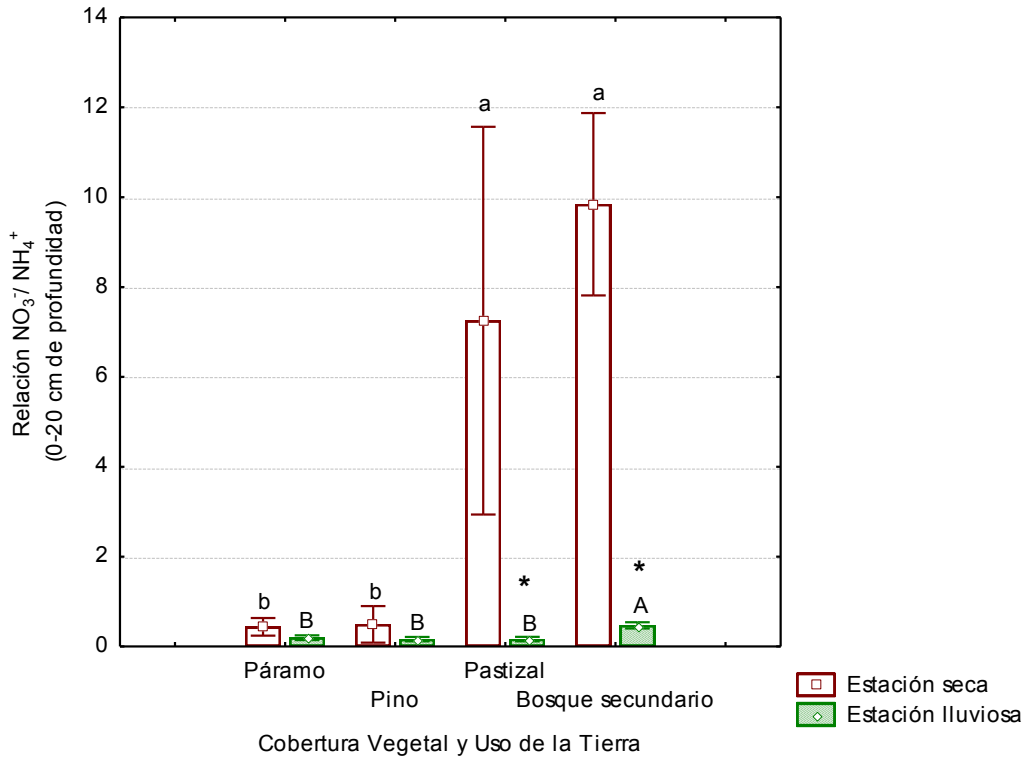


Figura 4.2.18.3. Relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

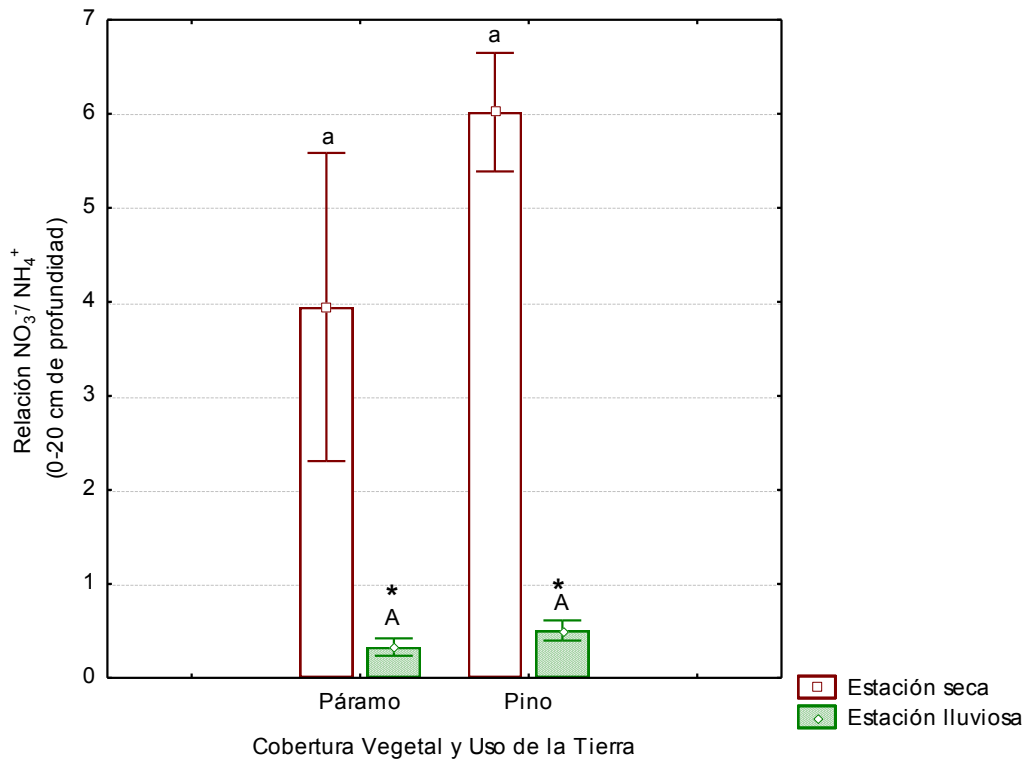


Figura 4.2.18.4. Relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

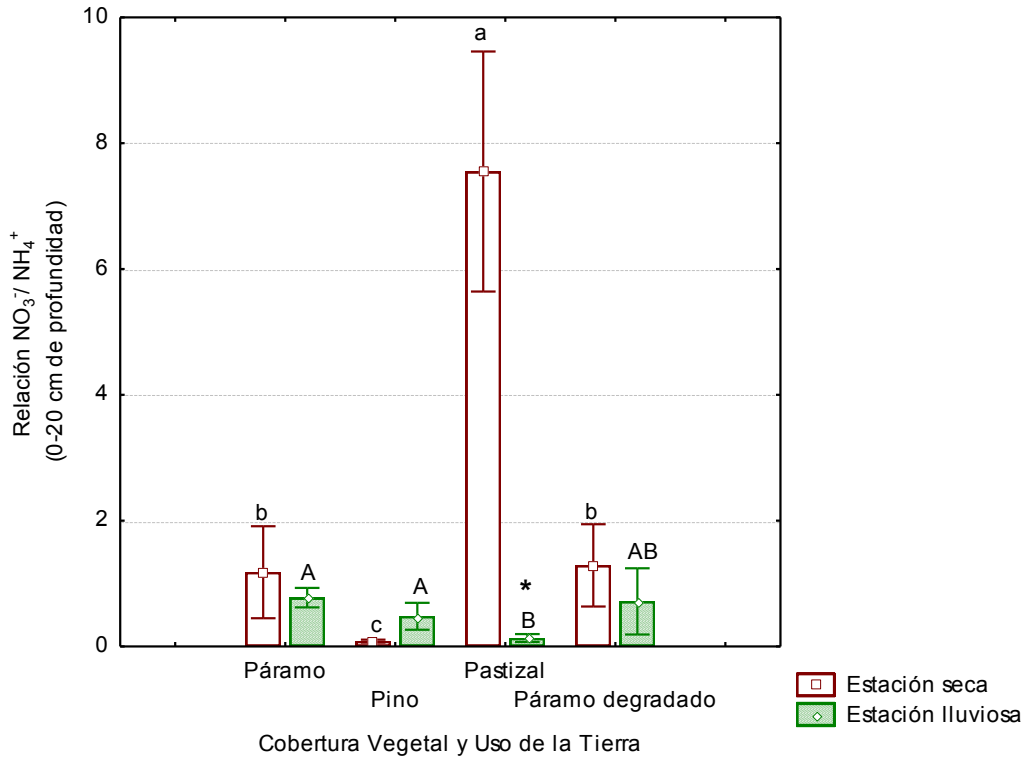


Figura 4.2.18.5. Relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

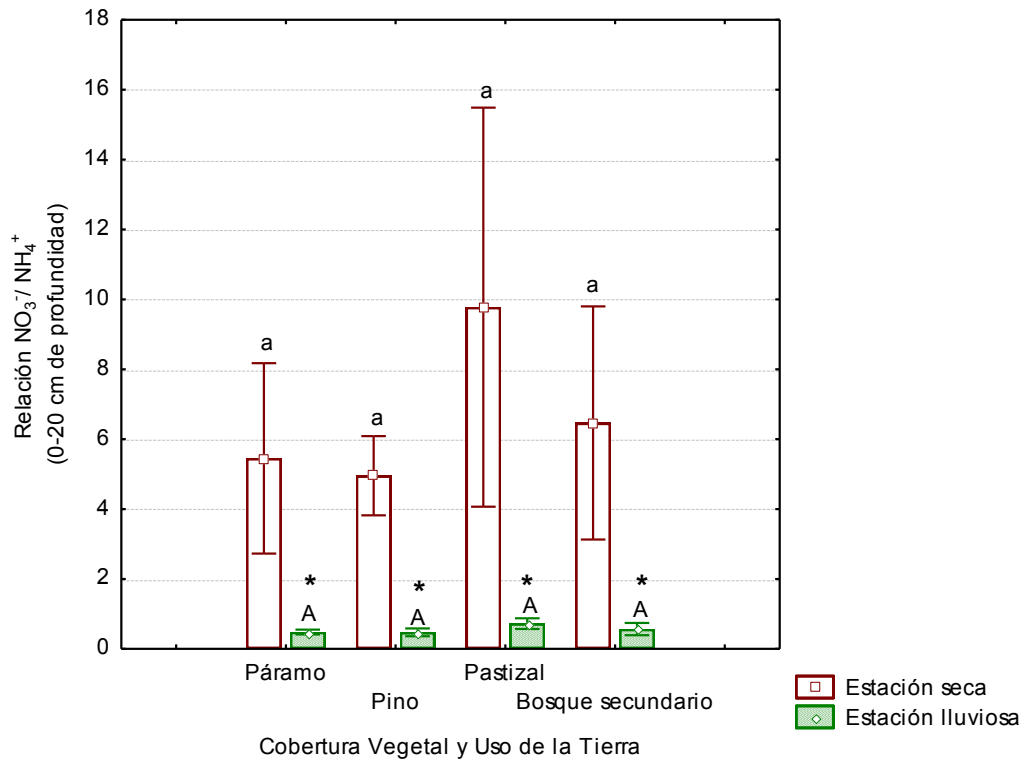


Figura 4.2.18.6. Relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

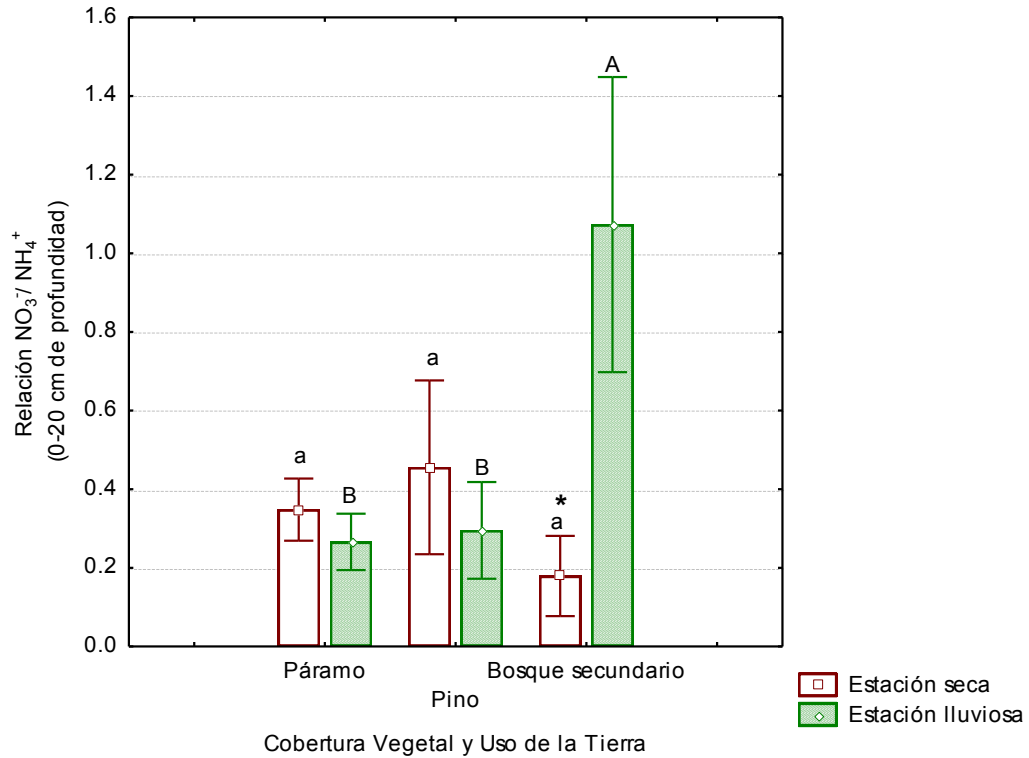


Figura 4.2.18.7. Relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

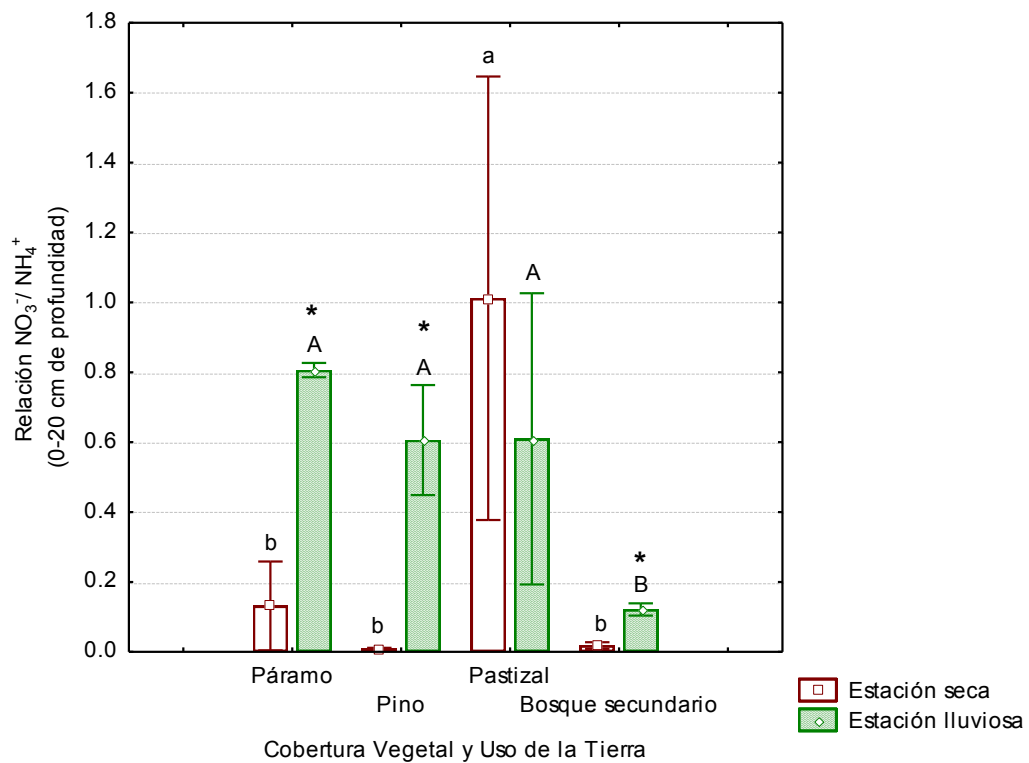


Figura 4.2.18.8. Relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.



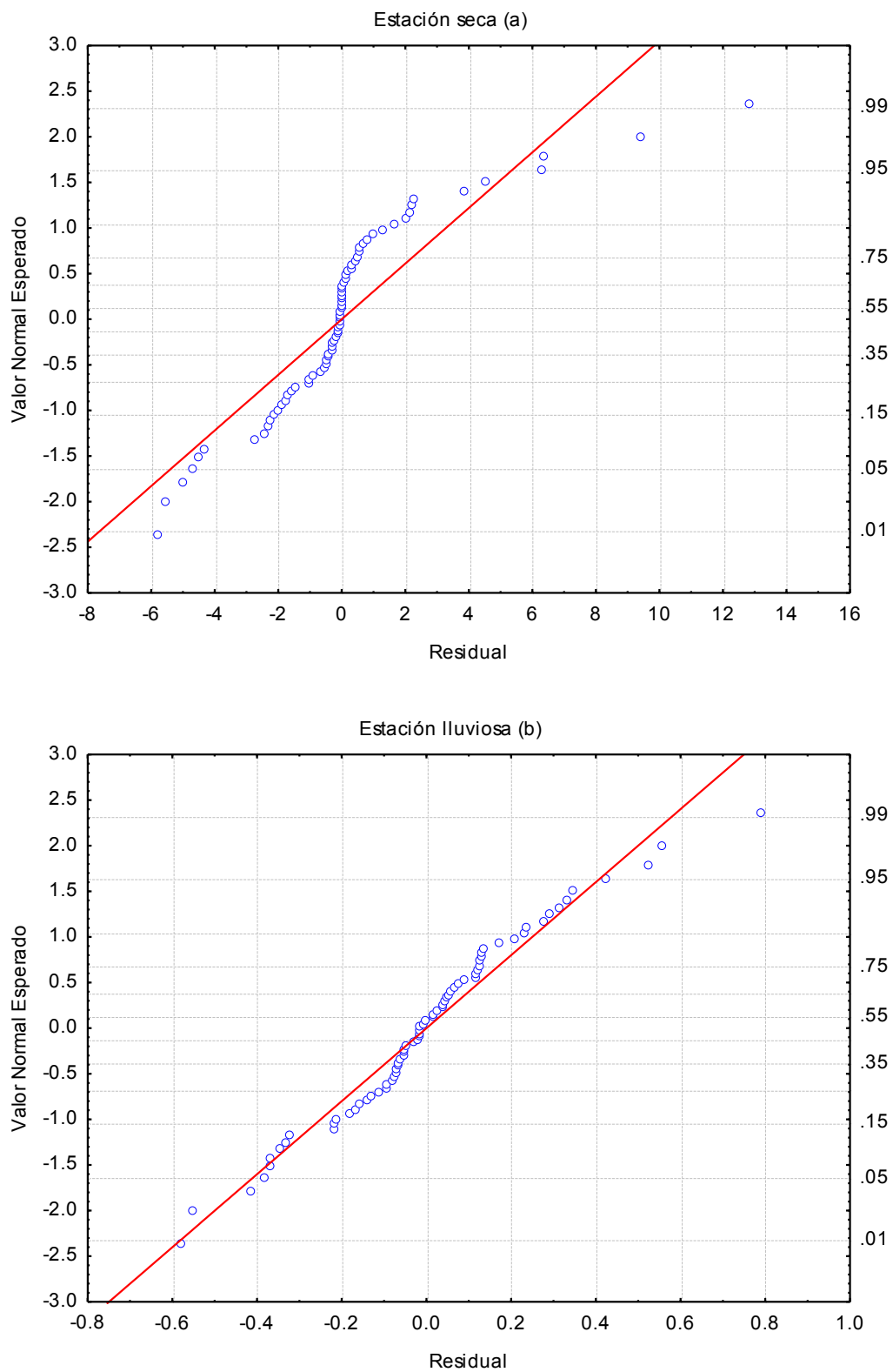


Figura 4.2.18.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales relación  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  de suelo para los datos de las estaciones seca y lluviosa.

#### 4.2.19. Efecto de los factores estación climática, Zona de estudio y CVUT sobre la variable Relación C/N en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de la relación C/N del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 11,98 y 18,66 para la temporada seca y entre 13,06 y 20,99 para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.19.1.; Fig. 4.2.19.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores* indicaron que la estación climática tuvo un efecto significativo sobre relación C/N del suelo, y además indicaron, que la estacionalidad tuvo efecto significativo en interacción con el factor Zona de estudio y el factor CVUT (Tabla 4.2.19.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada CVUT en las diferentes zonas de estudio, indicaron que esta tuvo un efecto significativo sobre relación C/N del suelo específicamente en los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ) de la zona del Ángel (Fig. 4.2.19.3.); en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) de la zona de Cotopaxi (Fig. 4.2.19.4.); en los sitios bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,01^{**}$ ) de la zona del Chimborazo (Fig. 4.2.19.5.); en los sitios bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ) de la zona del Cajas (Fig. 4.2.19.6.); en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ) de la zona de Oña-Yacuambi (Fig. 4.2.19.7.); y en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ) y Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) de la zona de Loja (Fig. 4.2.19.8.).

Por su parte, los resultados de la prueba *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable relación C/N del suelo (Tabla 4.2.19.3.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.19.1.), indicaron que en la estación seca los sitios de la zona de Loja tuvieron significativamente mayor relación C/N del suelo que los sitios de las zonas del Ángel ( $p < 0,05^*$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p < 0,005^{***}$ ); también indicaron que los sitios de la zona de Cotopaxi tuvieron significativamente mayor relación C/N que los sitios de las zonas del Ángel ( $p < 0,05^*$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,005^{***}$ ) y Oña-Yacuambi ( $p < 0,01^{**}$ ). Además, indicaron que los sitios de la zona de Chimborazo tuvieron significativamente menor relación C/N del suelo que los sitios de las zonas del Ángel ( $p < 0,01^{**}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,05^*$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la estación lluviosa los resultados de la prueba *LSD* indicaron que los sitios de la zona de Loja tuvieron significativamente mayor relación C/N que los sitios de las zonas del Ángel ( $p<0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p<0,001^{***}$ ); también indicaron que los sitios de la zona de Oña-Yacuambi tuvieron significativamente mayor relación C/N que los sitios de las zonas del Ángel ( $p<0,05^*$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p<0,001^{***}$ ); y además indicaron que los sitios de la zona de Cotopaxi tuvieron mayor relación C/N que los sitios de las zonas del Ángel ( $p<0,01^{**}$ ), Chimborazo ( $p<0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p<0,001^{***}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar los efectos específicos del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre relación C/N del suelo en las 6 zonas de estudio, es decir, Ángel, Cotopaxi, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos los resultados de esta prueba se describen con detalle a continuación.

#### Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

La CVUT influyó la relación C/N del suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.19.3.)

En la temporada seca los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente menor relación C/N del suelo que los sitios bajo Pino ( $p<0,05^*$ ) y significativamente mayor que los sitios bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ). También los sitios bajo Pino también tuvieron significativamente mayor relación C/N del suelo que los sitios bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ).

En la temporada lluviosa los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor relación C/N del suelo que los sitios bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ); también los sitios bajo Pino tuvieron significativamente mayor relación C/N del suelo que los sitios bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ); además, los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor relación C/N que los sitios bajo Bosque secundario ( $p<0,001^{***}$ ).

#### Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

Se observó un efecto de la CVUT sobre la relación C/N del suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.19.4.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Pino ( $p<0,01^{**}$ ).

Así mismo ocurrió en la estación lluviosa los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

La influencia del factor CVUT sobre la variable relación C/N del suelo ocurrió en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.19.5.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor relación C/N que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ); también, los suelos bajo Pino también tuvieron significativamente mayor relación C/N que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,01^{**}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ).

En la estación lluviosa los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y significativamente mayor que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ); también, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor relación C/N que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

En las dos estaciones climáticas la CVUT tuvo una influencia significativa sobre la variable relación C/N del suelo (Fig. 4.2.19.6.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor relación C/N que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

En la estación lluviosa los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), Pino ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

#### Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

La CVUT tuvo una influencia significativa sobre la relación C/N del suelo en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.19.7.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); también los suelos bajo Pino tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la estación lluviosa los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,001^{***}$ ); también

los suelos bajo Pino tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

El efecto del factor CVUT sobre la variable relación C/N del suelo ocurrió en las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.19.8.)

En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente menor relación C/N que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba con ecuación de regresión indicó que los datos de la relación C/N del suelo tuvieron linealidad tanto en la temporada seca (*múltiple R* = 0,86; *F* = 7,25;  $p < 0,001^{***}$ ) cómo en la lluviosa (*múltiple R* = 0,80; *F* = 10,27;  $p < 0,001^{***}$ ).

Los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de relación C/N de suelo bajo diferente CVUT tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.19.9.) tanto en la temporada seca ( $W = 0,97$ ;  $p = 0,044210^{***}$ ) cómo en la temporada lluviosa ( $W = 0,96$ ;  $p = 0,01207^{**}$ ).

Además la prueba *Levene* indicó que los datos de relación C/N del suelo tuvieron homogeneidad de las varianzas tanto en la estación seca ( $F = 3,47$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) como en la estación lluviosa ( $F = 3,63$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.19.1. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador, valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo       | Pino         | Pastizal     | Bosque secundario | Páramo degradado | Promedio general |              |
|--------------|--------------------|----|--------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|
|              |                    |    | media EE.    | media EE.    | media EE.    | media EE.         | media EE.        | media EE.        | media EE.    |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 17 ± 0,16 b  | 18 ± 0,10 a  | 12 ± 0,37 c  | 13 ± 0,26 c       | -                | -                | 15 ± 0,41 bc |
|              | Lluviosa           | 12 | 18 ± 0,09 A  | 18 ± 0,16 A  | *16 ± 0,20 B | *14 ± 0,38 C      | -                | -                | 16 ± 0,35 B  |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 15 ± 0,73 b  | 18 ± 1,08 a  | -            | -                 | -                | -                | 17 ± 0,44 a  |
|              | Lluviosa           | 10 | *17 ± 0,72 B | 19 ± 0,80 A  | -            | -                 | -                | -                | 18 ± 0,37 A  |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 15 ± 0,23 a  | 16 ± 0,92 a  | 12 ± 0,06 c  | -                 | 13 ± 0,28 b      | 14 ± 0,41 c      |              |
|              | Lluviosa           | 12 | 15 ± 0,22 B  | 16 ± 0,13 A  | *13 ± 0,20 D | -                 | *15 ± 0,14 C     | 15 ± 0,35 C      |              |
| Cajas        | Seca               | 18 | 17 ± 0,46 a  | 15 ± 0,93 ab | 14 ± 0,43 b  | 15 ± 0,60 b       | -                | -                | 15 ± 0,32 b  |
|              | Lluviosa           | 18 | 16 ± 0,51 A  | 16 ± 0,68 A  | 15 ± 0,22 B  | *16 ± 0,36 A      | -                | -                | 16 ± 0,28 BC |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 13 ± 0,39 b  | 14 ± 0,57 b  | -            | 19 ± 0,54 a       | -                | -                | 15 ± 0,39 b  |
|              | Lluviosa           | 12 | *15 ± 0,43 C | *17 ± 0,91 B | -            | *21 ± 0,93 A      | -                | -                | 18 ± 0,33 A  |
| Loja         | Seca               | 8  | 18 ± 0,60 a  | 18 ± 0,24 a  | 14 ± 1,42 b  | 19 ± 0,07 a       | -                | -                | 17 ± 0,48 a  |
|              | Lluviosa           | 8  | *20 ± 0,21 A | *20 ± 0,98 A | 15 ± 0,40 B  | 19 ± 1,18 A       | -                | -                | 19 ± 0,41 A  |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.

Tabla 4.2.19.2. Efecto de la estación climática sobre la relación C/N del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador

| Efecto                               | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media suma cuadrados | F     | p           |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------|-------------|
| Estacionalidad                       | 46,46             | 1                  | 46,46                | 76,65 | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 9,44              | 5                  | 1,89                 | 3,11  | 0,015798*** |
| Estacionalidad*CVUT                  | 0,18              | 4                  | 0,04                 | 0,10  | 0,989890    |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 18,08             | 11                 | 1,64                 | 2,71  | 0,007877*** |
| Error                                | 30,92             | 51                 | 0,61                 |       |             |

Tabla 4.2.19.3. Efecto del factor zona de estudio y el factor anidado CVUT sobre la relación C/N del suelo en ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador

| Efecto                          | Prueba | Valor | F    | GL efecto | GL error | p           |
|---------------------------------|--------|-------|------|-----------|----------|-------------|
| Intercepción                    | Wilks  | 0,004 | 6721 | 2         | 50       | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | Wilks  | 0,295 | 8    | 10        | 100      | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | Wilks  | 0,166 | 5    | 30        | 100      | 0,000000*** |

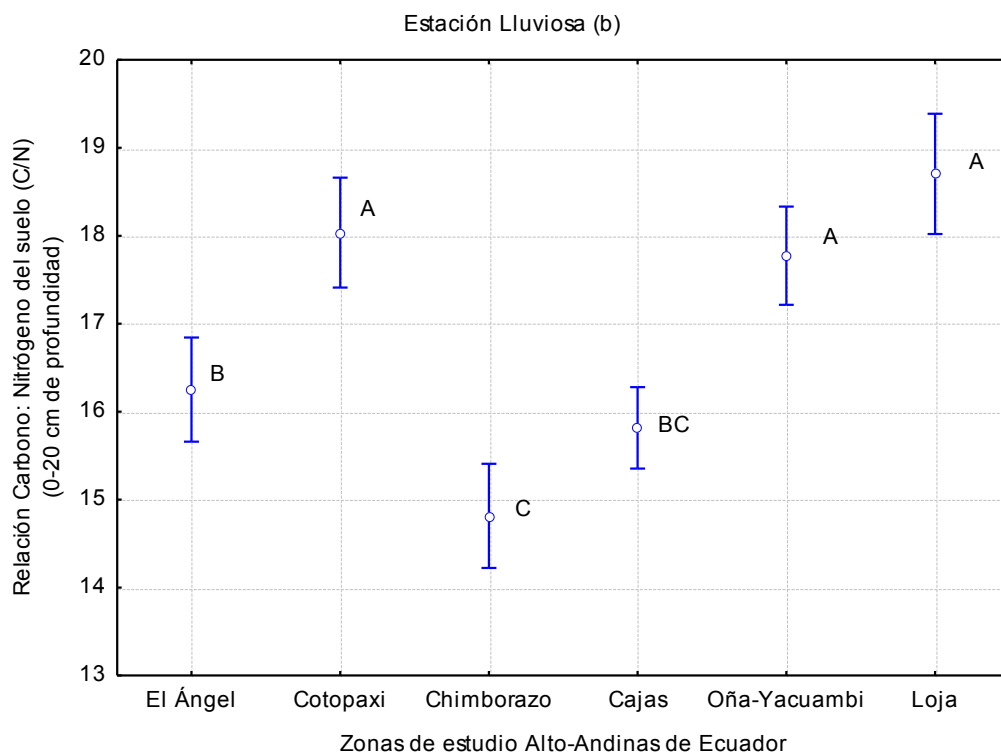
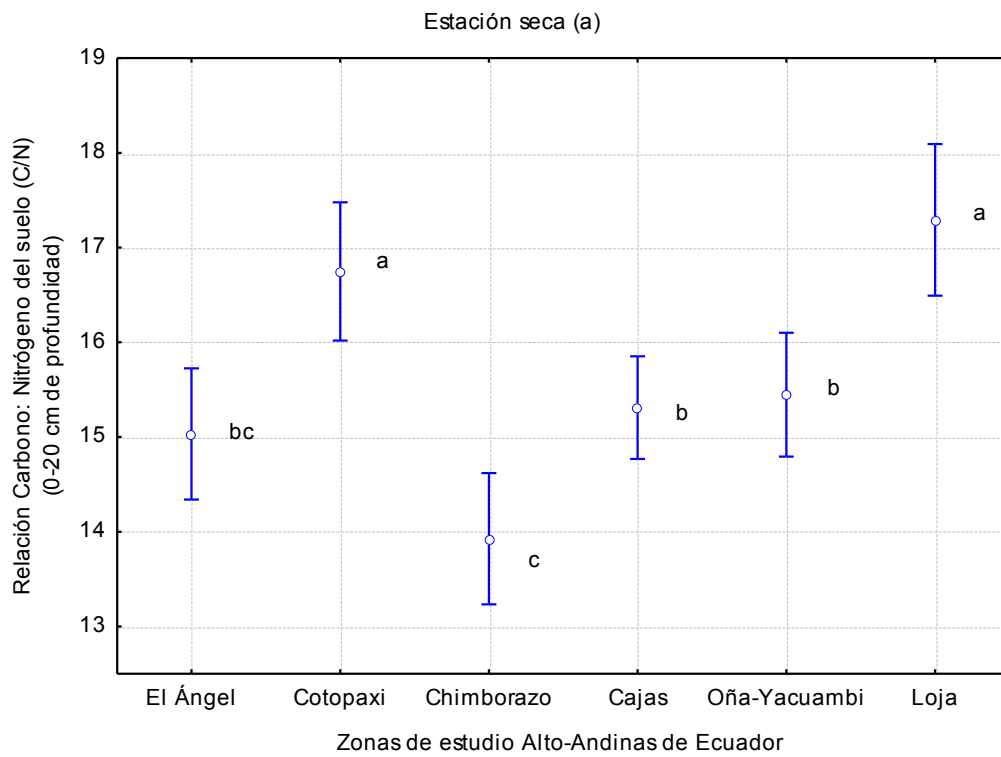


Figura 4.2.19.1. Relación C/N del suelo de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

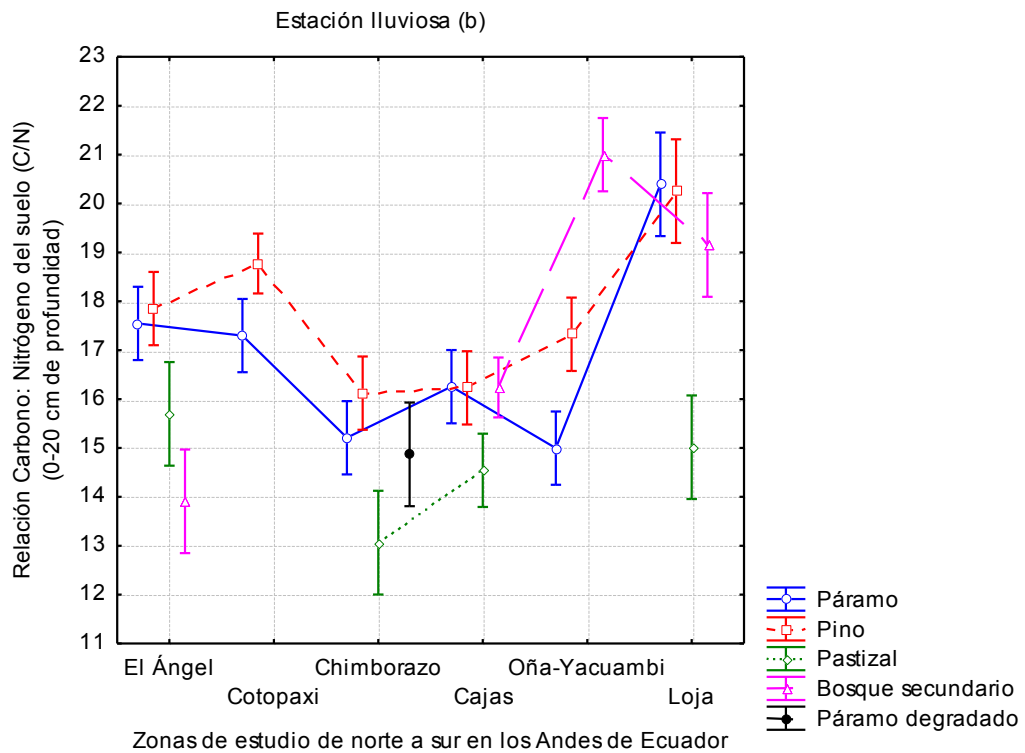
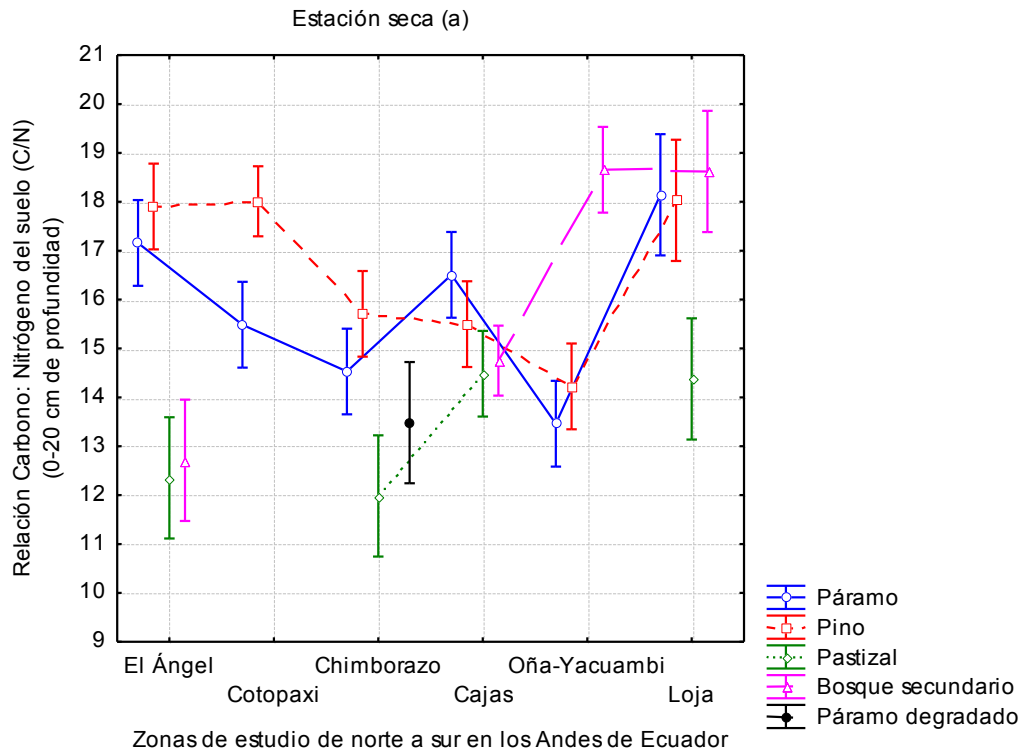


Figura 4.2.19.2. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador



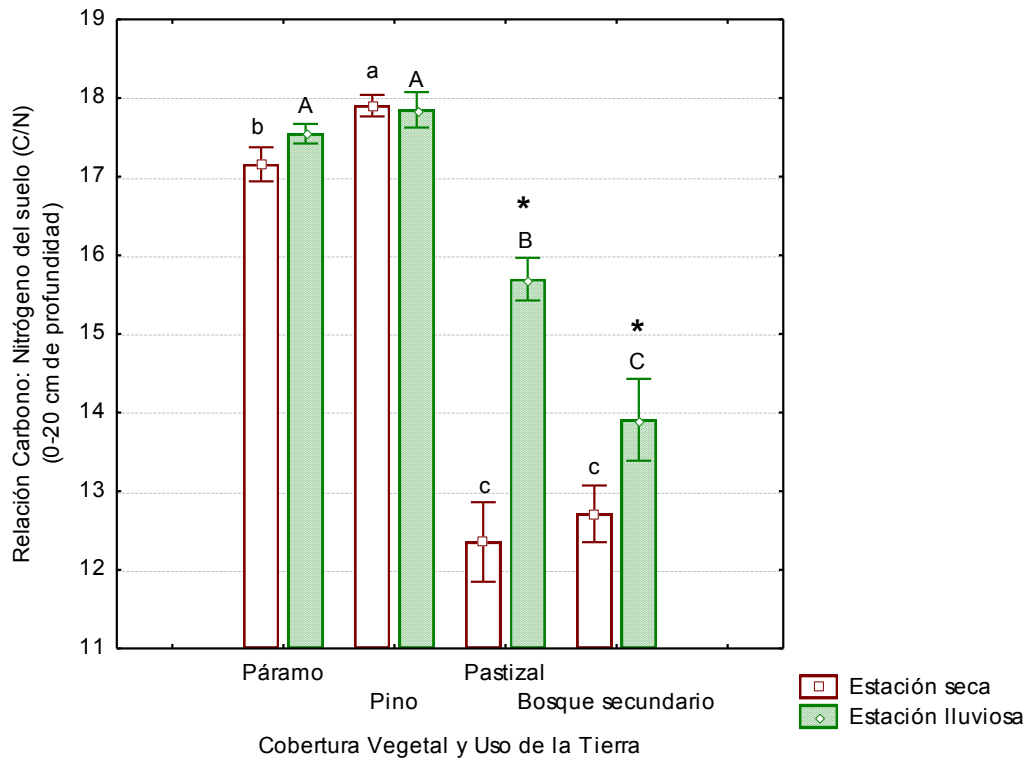


Figura 4.2.19.3. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

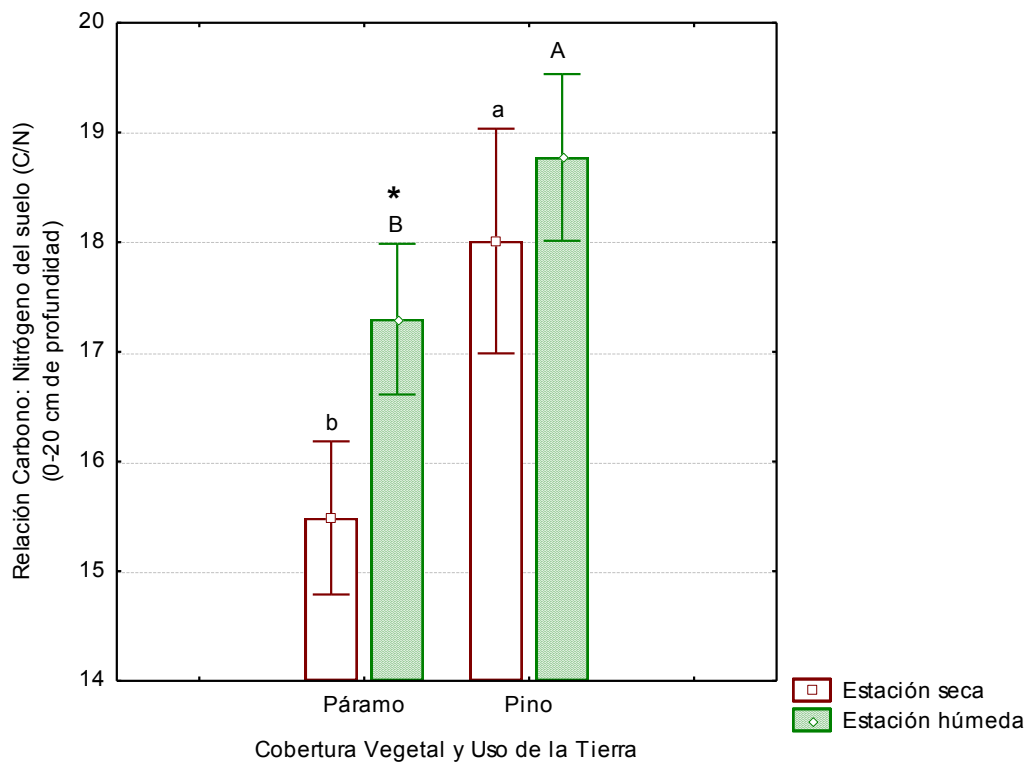


Figura 4.2.19.4. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

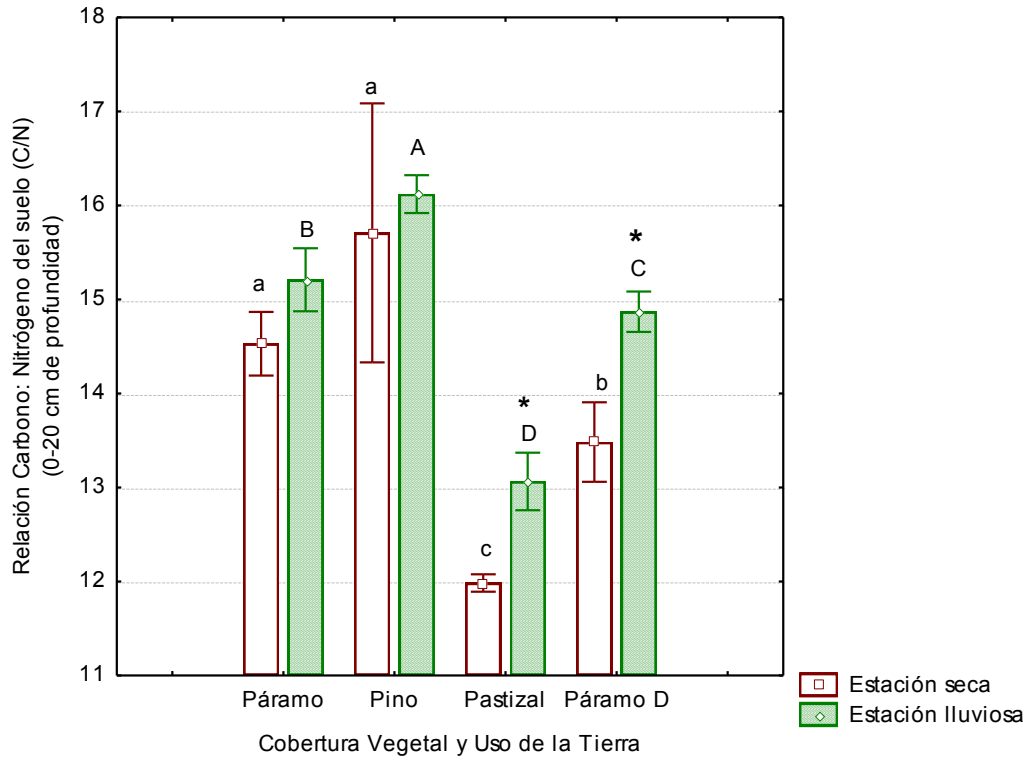


Figura 4.2.19.5. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

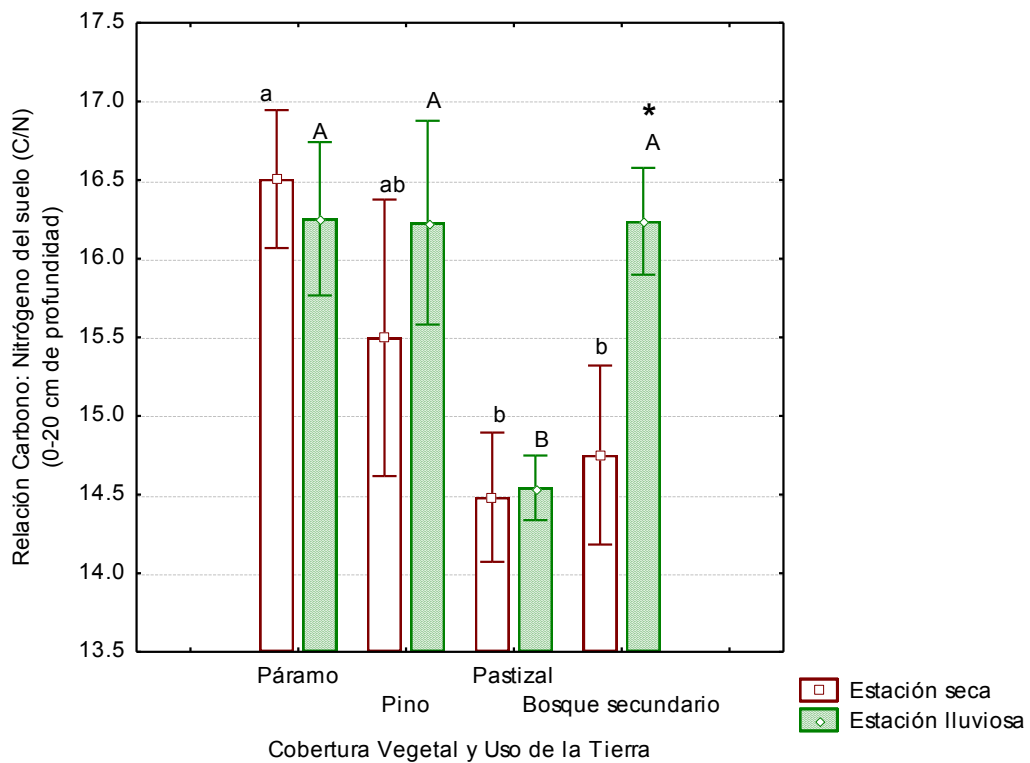


Figura 4.2.19.6. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

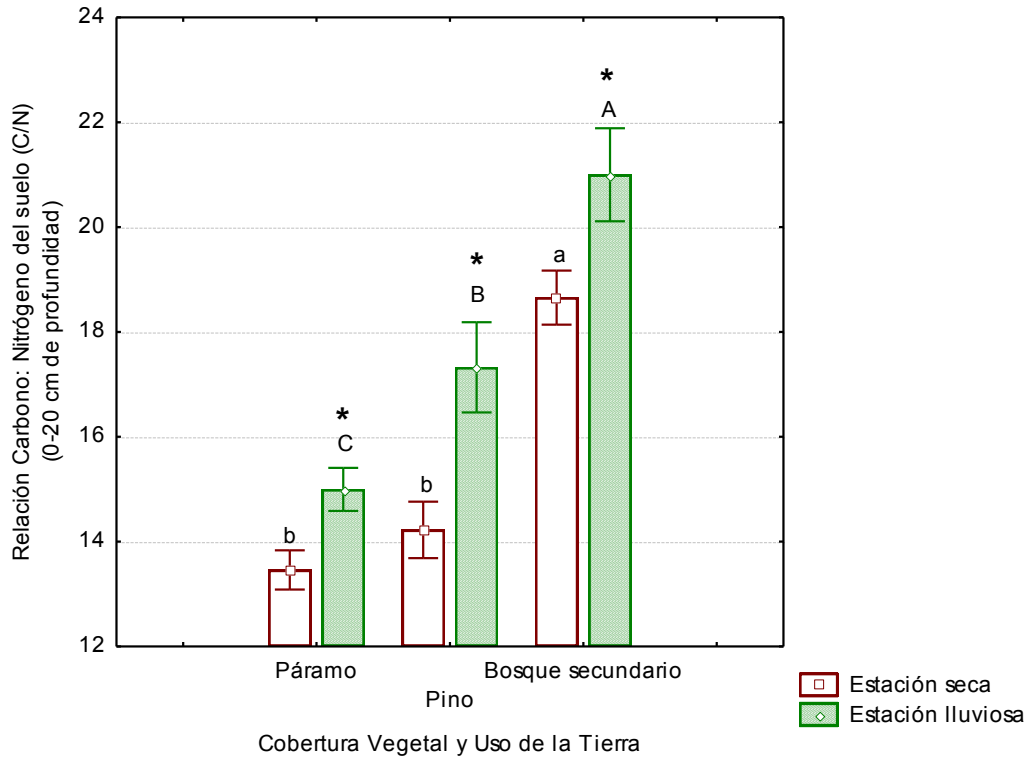


Figura 4.2.19.7. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

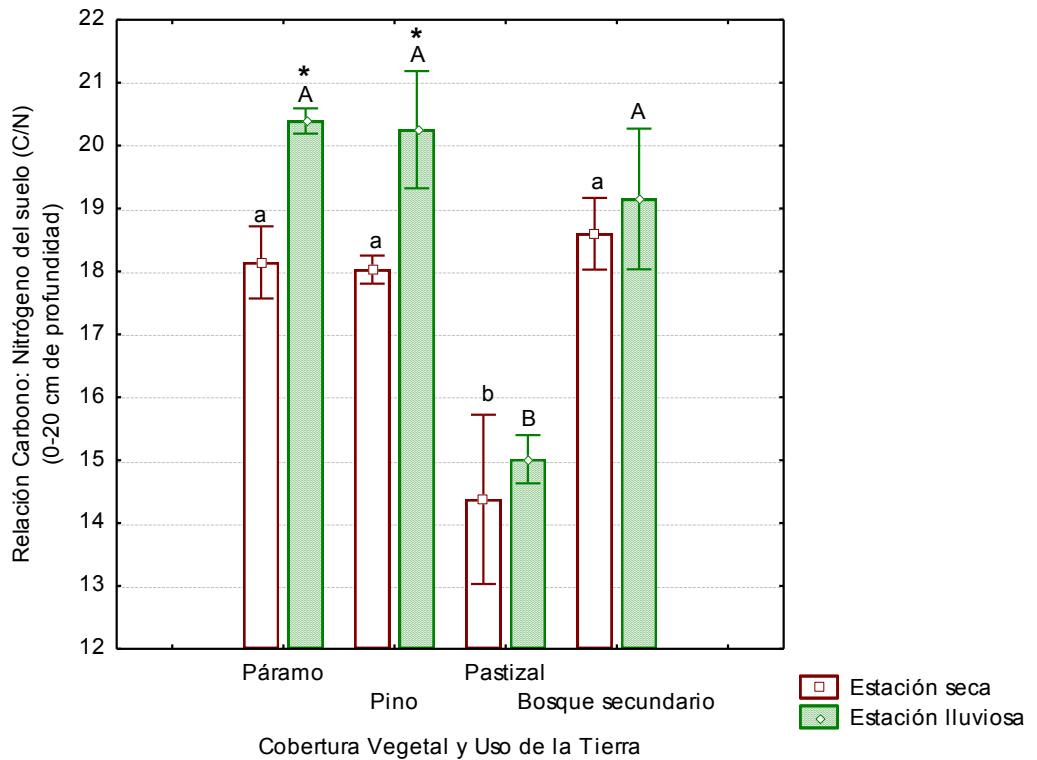


Figura 4.2.19.8. Relación C/N del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

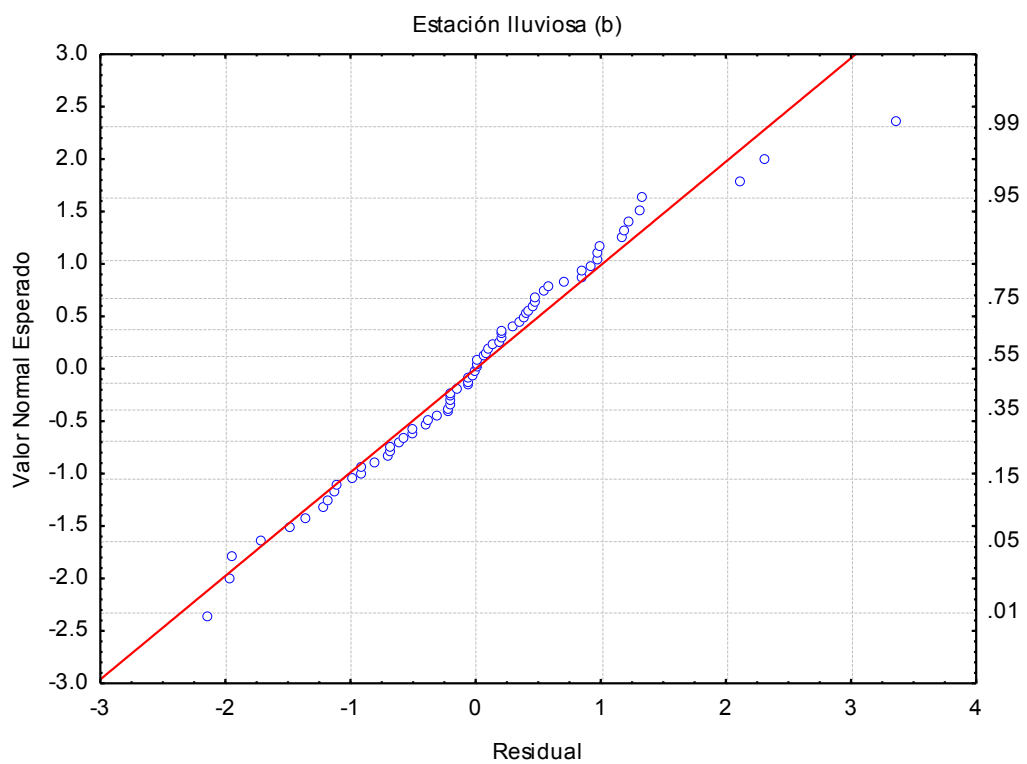
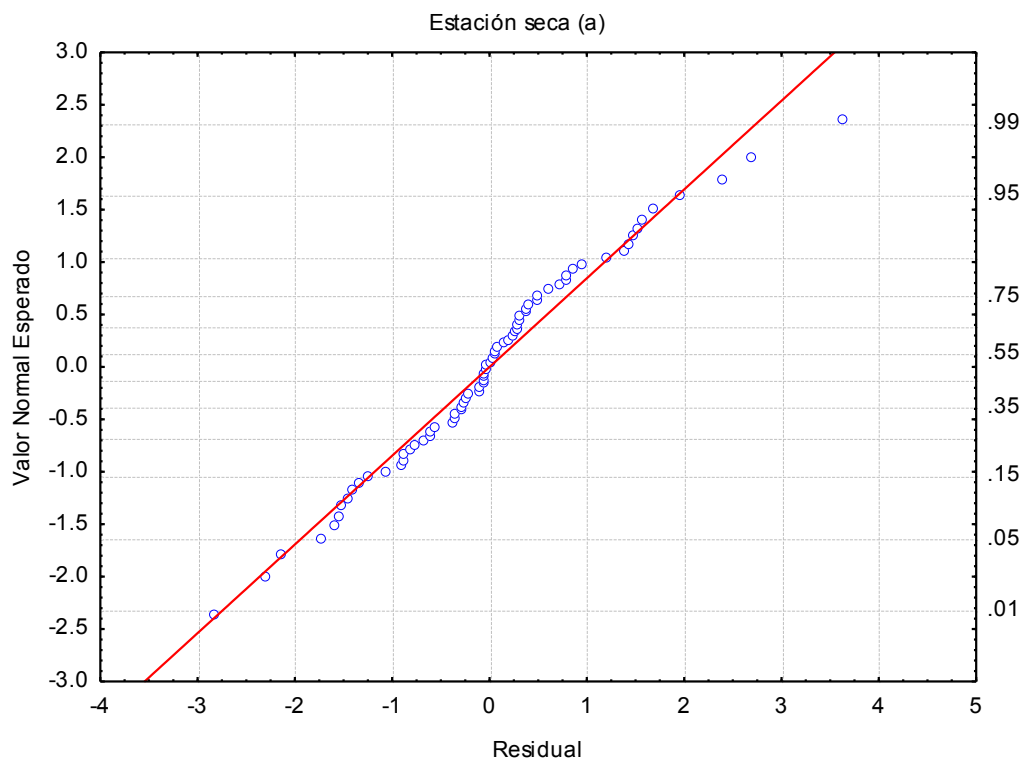


Figura 4.2.19.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales relación C/N de suelo para los datos de las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

## D EFECTO DE LA ESTACIÓN CLIMÁTICA, ZONA DE ESTUDIO Y CVUT SOBRE LAS VARIABLES FERTILIDAD DEL SUELO

### 4.2.20. Efecto de las variables estación climática, zona de estudio y CVUT sobre el Fósforo asimilable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de contenido de P asimilable del suelo (0-20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 16,22 y 65,11 kg ha<sup>-1</sup> para la temporada seca y entre 6,83 y 53.89 kg ha<sup>-1</sup> para la temporada lluviosa (Tabla 4.2.20.1.; Fig. 4.2.20.2.).

Los resultados de la prueba *Anova de medidas repetidas con dos factores*, indicaron que la estación climática tuvo un efecto significativo sobre el contenido de P asimilable del suelo, siendo mayor en la estación seca; además, los resultados también indicaron que la estacionalidad tuvo un efecto significativo sobre el P asimilable en interacción con los factores Zona de estudio y CVUT (Tabla 4.2.20.2).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto de la estacionalidad bajo cada uno de los tipos de CVUT en las diferentes zonas de estudio, indicaron que la estación climática tuvo un efecto significativo sobre el contenido P asimilable específicamente en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) de la zona del Ángel (Fig. 4.2.20.3); en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) de la zona del Cotopaxi (Fig. 4.2.20.4.); en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), Pastizal ( $p < 0,005^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ) de la zona del Chimborazo (Fig. 4.2.20.5.); en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ) de la zona del Cajas (Fig. 4.2.20.6.); en los sitios bajo Paramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) de la zona de Oña-Yacuambi (Fig. 4.2.20.7.); y en los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ) de la zona de Loja (Fig. 4.2.20.8.).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio cómo el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable el P asimilable del suelo (Tabla 4.2.20.3.).

Los resultados de la prueba *LSD*, aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.20.1.), indicaron que en la estación seca la zona de Loja tuvo significativamente mayor P asimilable del suelo que las zonas del Ángel ( $p < 0,05^*$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,05^*$ ) y Cajas ( $p < 0,05^*$ ); también indicaron que la zona de Oña-Yacuambi tuvo significativamente mayor contenido de P asimilable del suelo que las

zonas del Ángel ( $p < 0,005^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ); además, indicaron que la zona de Cotopaxi tuvo significativamente menor contenido de P asimilable del suelo que las zonas del Ángel ( $p < 0,005^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,05^*$ ), Cajas ( $p < 0,005^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ).

En la estación lluviosa los resultados de la prueba LSD indicaron que la zona de Oña-Yacuambi tuvo significativamente mayor contenido de P asimilable del suelo que las zonas del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,005^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,005^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,05^*$ ); también, indicaron que los suelos de la zona del Cotopaxi tuvieron significativamente menor contenido de P asimilable que los suelos de las zonas de Chimborazo ( $p < 0,05^*$ ), Cajas ( $p < 0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable P asimilable del suelo en las zonas del Ángel, Cotopaxi, Chimborazo, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se describen con detalle a continuación.

#### Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

La influencia de la CVUT sobre el P asimilable varió entre las dos temporadas climáticas (Fig. 4.2.20.3.).

En la estación seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de P asimilable que suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ); también, los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de P asimilable que suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ );

Por su parte, en la estación lluviosa los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de P asimilable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi

La influencia de la CVUT sobre la variable P asimilable suelo fue diferente en cada estación climática (Fig. 4.2.20.4.).

En la estación seca las diferencias entre Páramo y Pino sobre el contenido de P asimilable del suelo no fueron significativas.

Mientras que, en la temporada lluviosa los suelos bajo Pino tuvieron significativamente mayor contenido de P asimilable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ).

#### Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa el P asimilable estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.20.5.).

En la estación seca, los suelos bajo Pastizal presentaron mayor contenido de P asimilable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ).

De igual manera ocurrió en la estación lluviosa, los suelos bajo Pastizal presentaron mayor contenido de P asimilable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). También, los suelos bajo Pino tuvieron mayor contenido de P asimilable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ).

#### Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

En la estación seca y también en la estación lluviosa las diferencias en contenido de P asimilable del suelo entre diferentes tipos de CVUT no fueron significativas (Fig. 4.2.20.6.).

#### Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

La influencia de la CVUT sobre el P asimilable del suelo varió entre las dos temporadas climáticas (Fig. 4.2.20.7.).

En la estación seca el efecto de la CVUT sobre el contenido de P asimilable del suelo no fue significativo.

Por su parte, en la estación lluviosa los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de P asimilable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

La CVUT influyó significativamente sobre la variable P asimilable del suelo las dos estaciones climáticas (Fig. 4.2.20.8.).

En la temporada seca los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente mayor contenido de P asimilable que los suelos bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ).

Por su parte, en la temporada lluviosa los suelos bajo Pino tuvieron significativamente menor contenido de P asimilable que los suelos bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,05^*$ ).

### Análisis estadísticos previos

La prueba de ecuación de regresión indicó que los datos de P asimilable del suelo tuvieron linealidad tanto en la estación seca (*múltiple R* = 0,81; *F* = 4,85; *p*<0,001\*\*\*) cómo en la estación lluviosa (*múltiple R* = 0,80; *F* = 4,38; *p*<0,001\*\*\*)).

También, los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de P asimilable del suelo tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.20.9.) tanto en la estación seca (*W* = 0,94902; *p*<0,001\*\*\*) cómo en la lluviosa (*W* = 0,79486; *p*<0,001\*\*\*)).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos de P asimilable del suelo tuvieron significativamente homogeneidad de las varianzas tanto en la estación seca (*F* = 3,68; *p*<0,001\*\*\*) como en la estación lluviosa (*F* = 6,29; *p*<0,001\*\*\*)).

Tabla 4.2.20.1. Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa.

| Zona         | Estación climática | n  | Páramo                         |      | Pino                           |      | Pastizal                       |      | Bosque secundario              |      | Páramo degradado               |      | Promedio general               |      |
|--------------|--------------------|----|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
|              |                    |    | media<br>kg P ha <sup>-1</sup> | E.E. | media<br>kg P ha <sup>-1</sup> | E.E. | media<br>kg P ha <sup>-1</sup> | E.E. | media<br>kg P ha <sup>-1</sup> | E.E. | media<br>kg P ha <sup>-1</sup> | E.E. | media<br>kg P ha <sup>-1</sup> | E.E. |
| El Ángel     | Seca               | 12 | 45 ± 3,4                       | a    | 49 ± 4,8                       | a    | 28 ± 0,1                       | b    | 20 ± 8,6                       | b    | -                              | -    | 36 ± 4                         | b    |
|              | Lluviosa           | 12 | *12 ± 1,6                      | B    | *14 ± 2,0                      | B    | 29 ± 2,0                       | A    | 14 ± 0,4                       | B    | -                              | -    | 17 ± 3                         | BC   |
| Cotopaxi     | Seca               | 10 | 16 ± 5,2                       | a    | 20 ± 2,8                       | a    | -                              | -    | -                              | -    | -                              | -    | 18 ± 5                         | c    |
|              | Lluviosa           | 10 | *7 ± 0,5                       | A    | *14 ± 2,7                      | B    | -                              | -    | -                              | -    | -                              | -    | 10 ± 3                         | C    |
| Chimborazo   | Seca               | 12 | 25 ± 4,0                       | b    | 20 ± 1,9                       | b    | 90 ± 23,0                      | a    | -                              | -    | 27 ± 22,9                      | b    | 40 ± 4                         | b    |
|              | Lluviosa           | 12 | *10 ± 1,5                      | C    | 19 ± 3,8                       | B    | *54 ± 3,5                      | A    | -                              | -    | *16 ± 3,6                      | BC   | 25 ± 3                         | B    |
| Cajas        | Seca               | 18 | 45 ± 9,9                       | a    | 32 ± 7,6                       | a    | 40 ± 3,6                       | a    | 37 ± 22,9                      | a    | -                              | -    | 38 ± 3                         | b    |
|              | Lluviosa           | 18 | *19 ± 4,3                      | A    | 21 ± 4,2                       | A    | *24 ± 3,4                      | A    | *20 ± 3,7                      | A    | -                              | -    | 21 ± 3                         | B    |
| Oña-Yacuambi | Seca               | 12 | 61 ± 11,4                      | a    | 58 ± 13,6                      | a    | -                              | -    | 58 ± 10,2                      | a    | -                              | -    | 59 ± 4                         | a    |
|              | Lluviosa           | 12 | *25 ± 5,9                      | B    | *24 ± 4,9                      | B    | -                              | -    | 55 ± 15,5                      | A    | -                              | -    | 35 ± 3                         | A    |
| Loja         | Seca               | 8  | 65 ± 0,1                       | a    | 45 ± 8,7                       | b    | 42 ± 15,6                      | b    | 56 ± 13,4                      | ab   | -                              | -    | 52 ± 5                         | a    |
|              | Lluviosa           | 8  | *25 ± 13,9                     | AB   | *17 ± 1,4                      | C    | 30 ± 6,2                       | B    | *28 ± 0,1                      | B    | -                              | -    | 25 ± 4                         | B    |

Las letras minúsculas indican las diferencias significativas para la estación seca y las mayúsculas para la estación húmeda: De forma horizontal y dentro de cada zona para el caso de diferencias por la CVUT y de forma vertical en la columna del promedio general para el caso de diferencias por la zona de estudio. Los \*\*\* indican diferencias por efecto de la estación climática.



Tabla 4.2.20.2. Efecto de la estación climática sobre la variable P asimilable del suelo en ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                        | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
| Estacionalidad                       | 11385                    | 1                         | 11385     | 115,3    | 0,000000*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio       | 1244                     | 5                         | 249       | 2,5      | 0,041010*   |
| Estacionalidad*CVUT                  | 1541                     | 4                         | 385       | 3,9      | 0,007709*** |
| Estacionalidad*Zona de estudio* CVUT | 2876                     | 11                        | 261       | 2,6      | 0,009235*** |
| Error                                | 5035                     | 51                        | 99        |          |             |

Tabla 4.2.20.3. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la variable P asimilable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Prueba</i> | <i>Valor</i> | <i>F</i> | <i>GL efecto</i> | <i>GL error</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|---------------|--------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Intercepción                    | <i>Wilks</i>  | 0.1          | 289      | 2                | 50              | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | <i>Wilks</i>  | 0.4          | 5        | 10               | 100             | 0,000008*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | <i>Wilks</i>  | 0.3          | 3        | 30               | 100             | 0,000008*** |

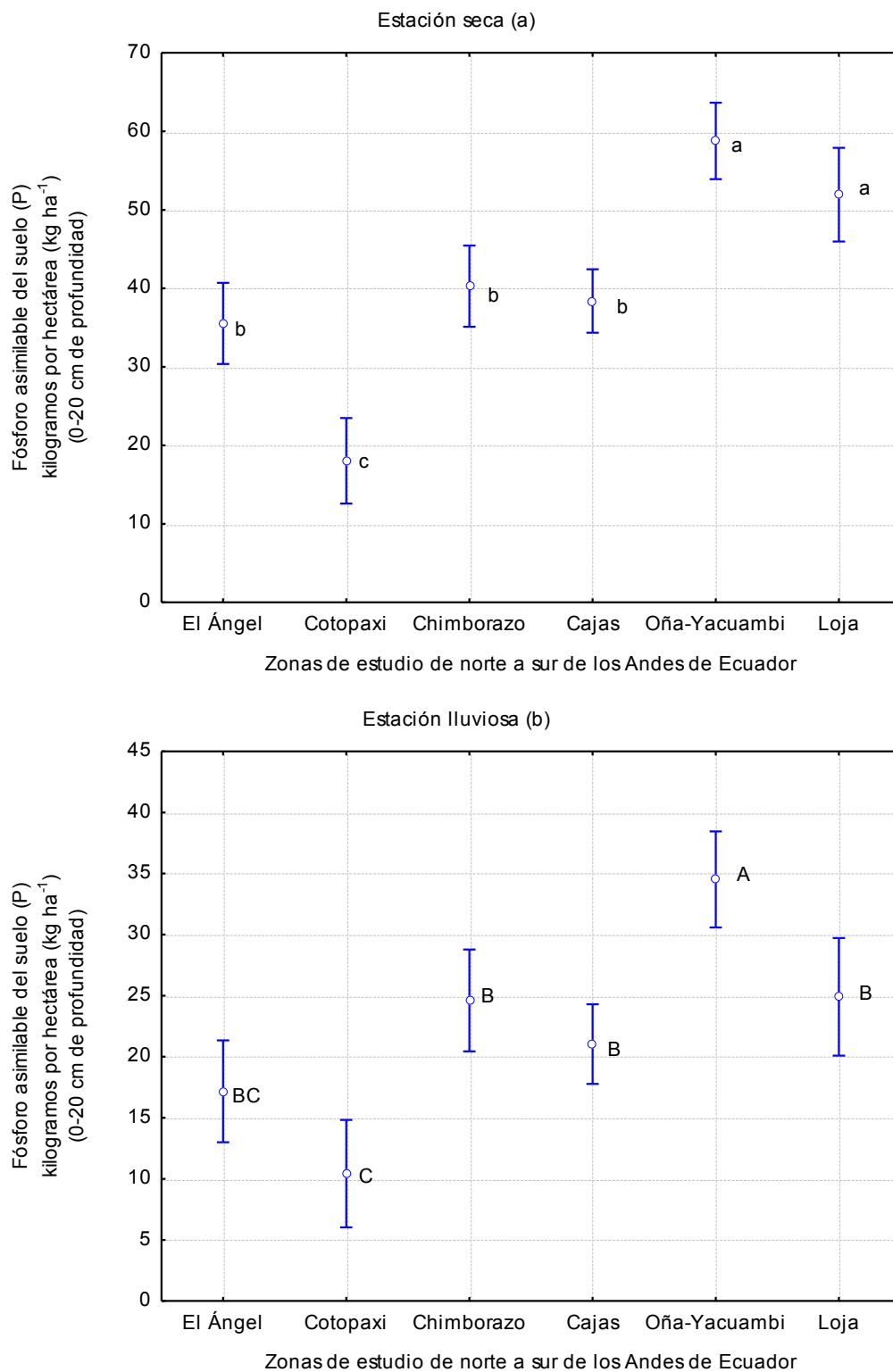


Figura 4.2.20.1. Fósforo disponible del suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca y lluviosa. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar

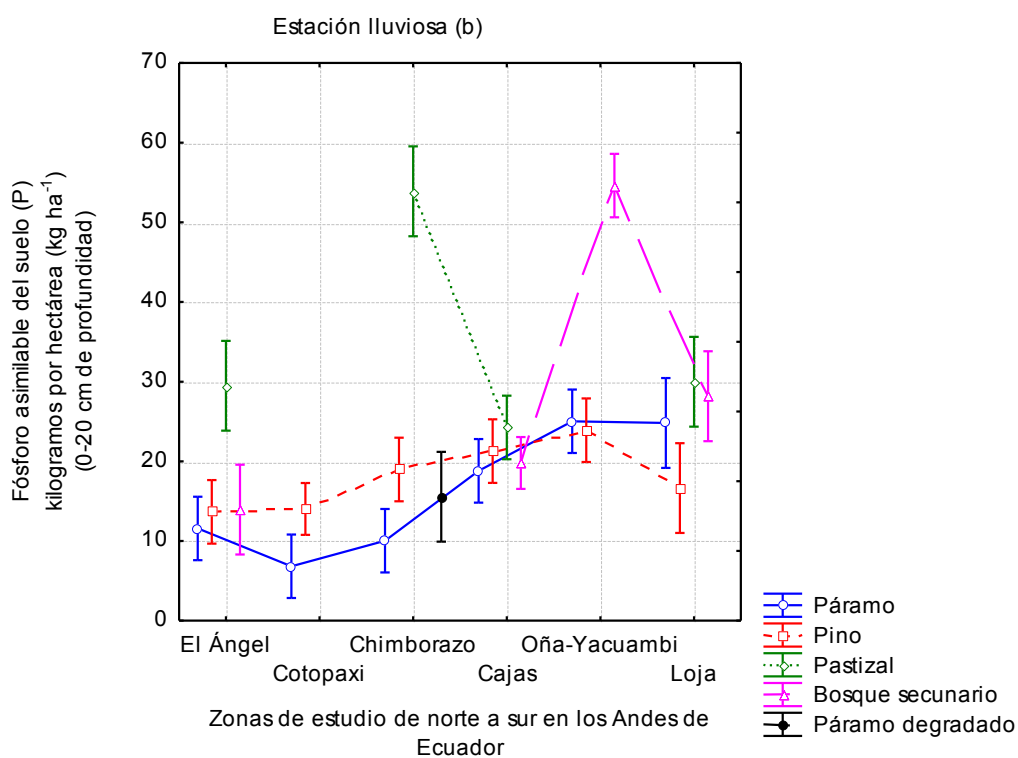
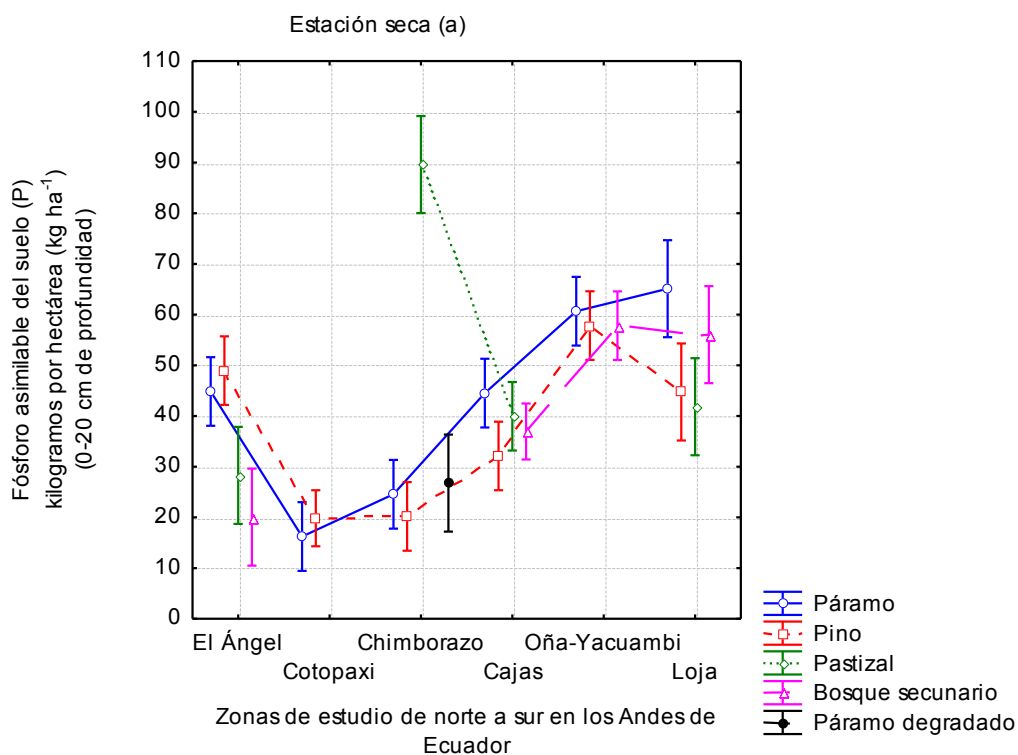


Figura 4.2.20.2. Fósforo disponible del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

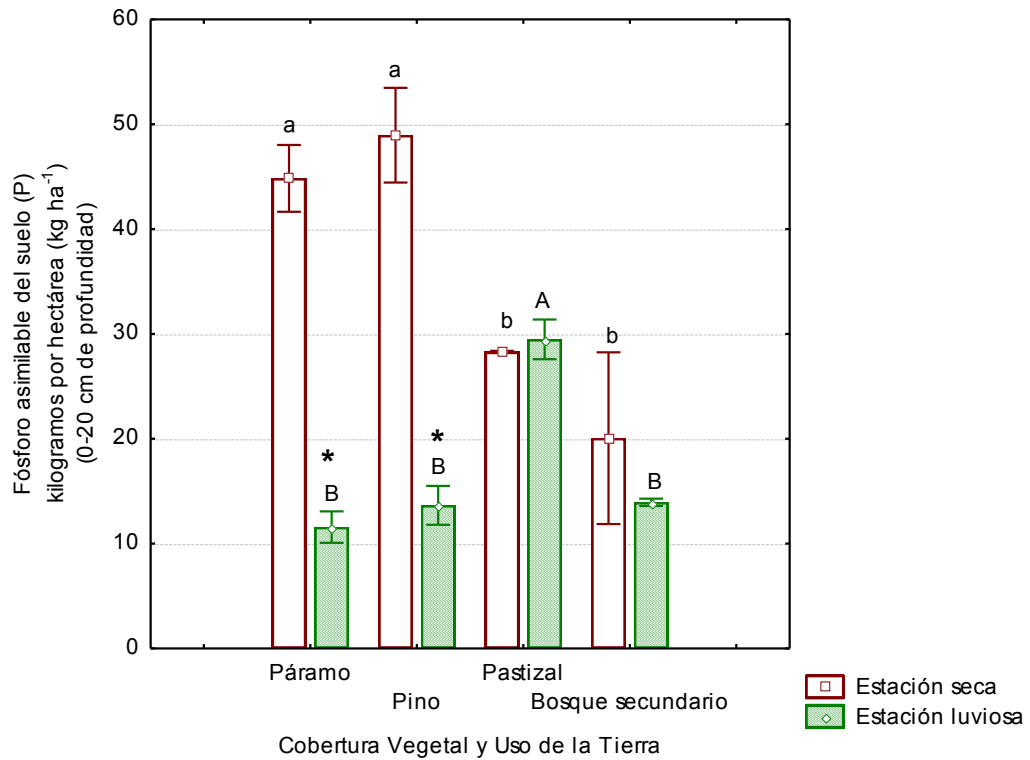


Figura 4.2.20.3. Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

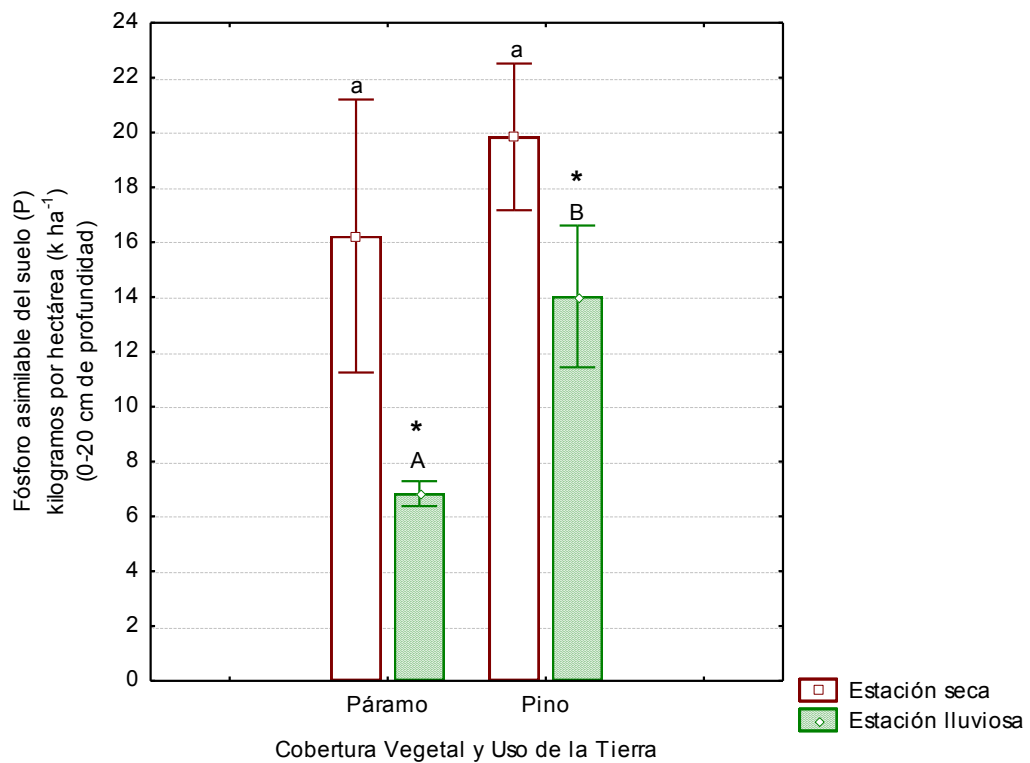


Figura 4.2.20.4. Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

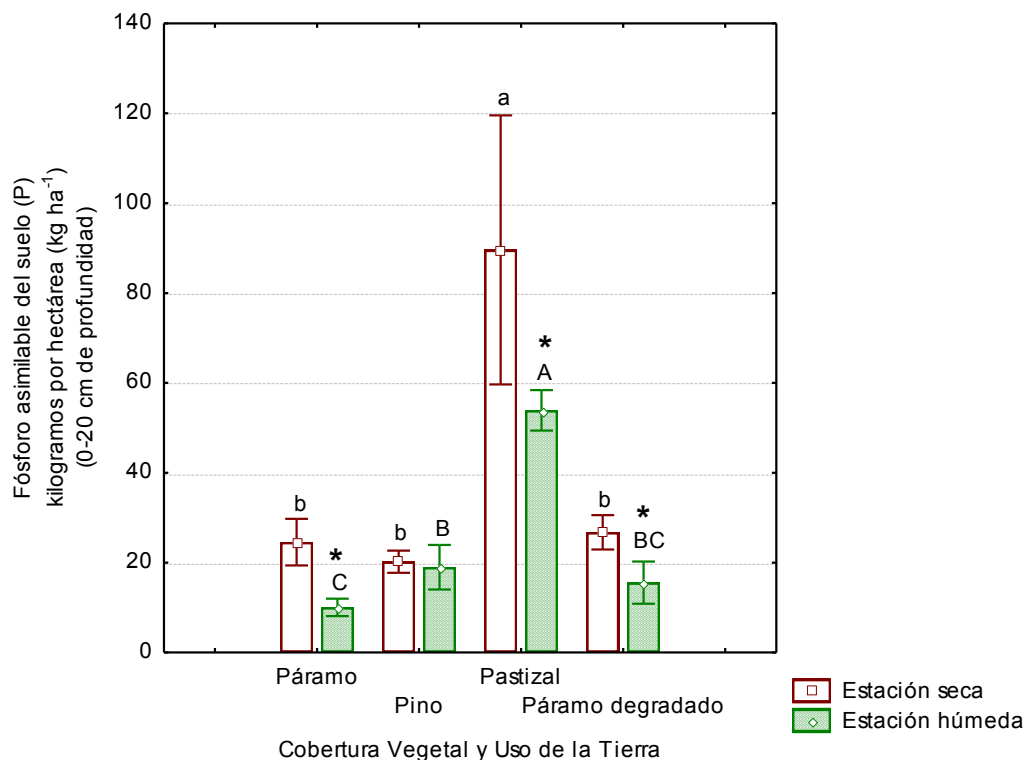


Figura 4.2.20.5. Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

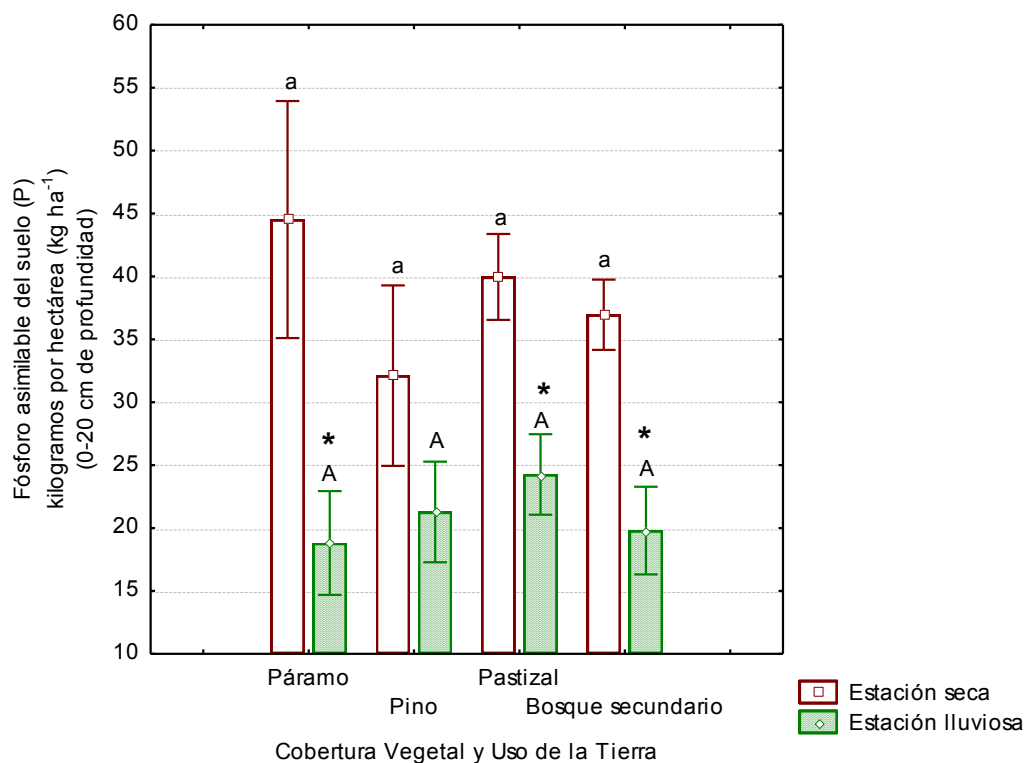


Figura 4.2.20.6. Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

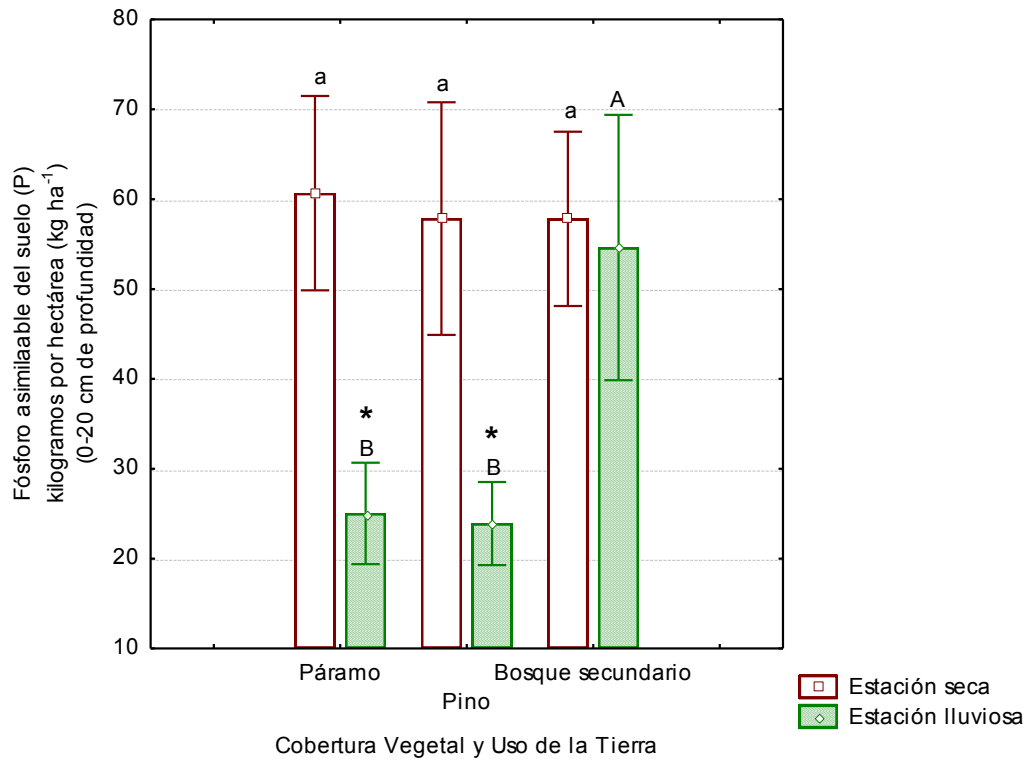


Figura 4.2.20.7. Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

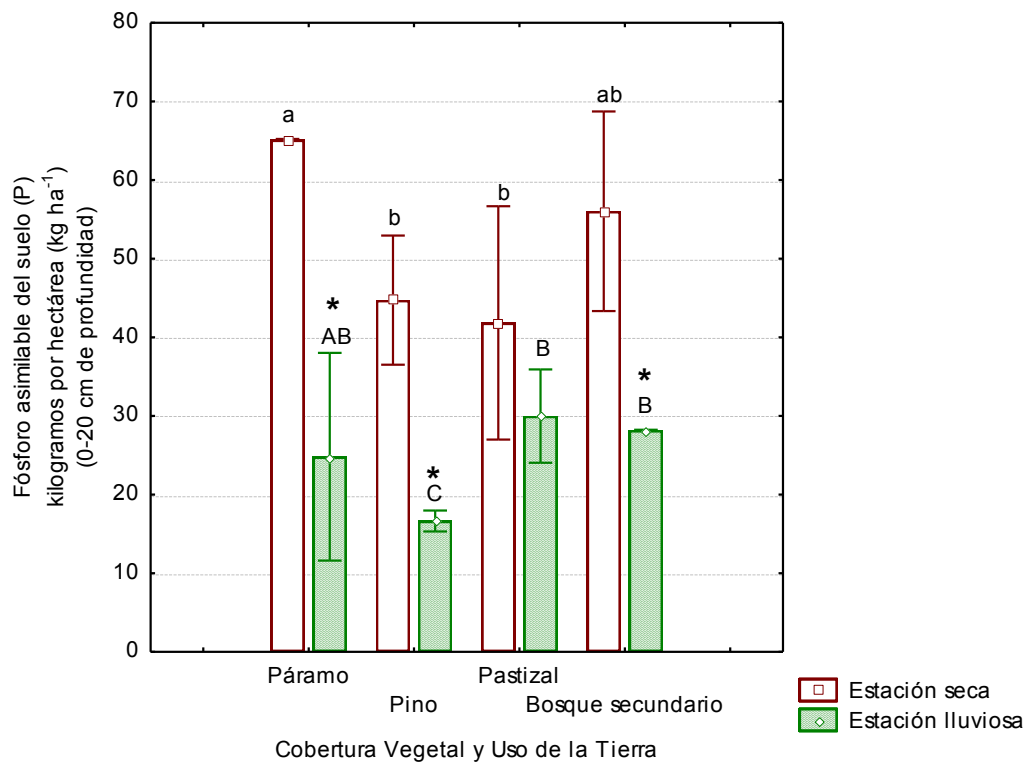


Figura 4.2.20.8. Fósforo asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras minúsculas indican diferencias específicas entre CVUT en la temporada seca, mientras que las letras mayúsculas en la temporada lluviosa. Los asteriscos indican diferencias por efecto de la estación climática. La barra (I) indica el error estándar.

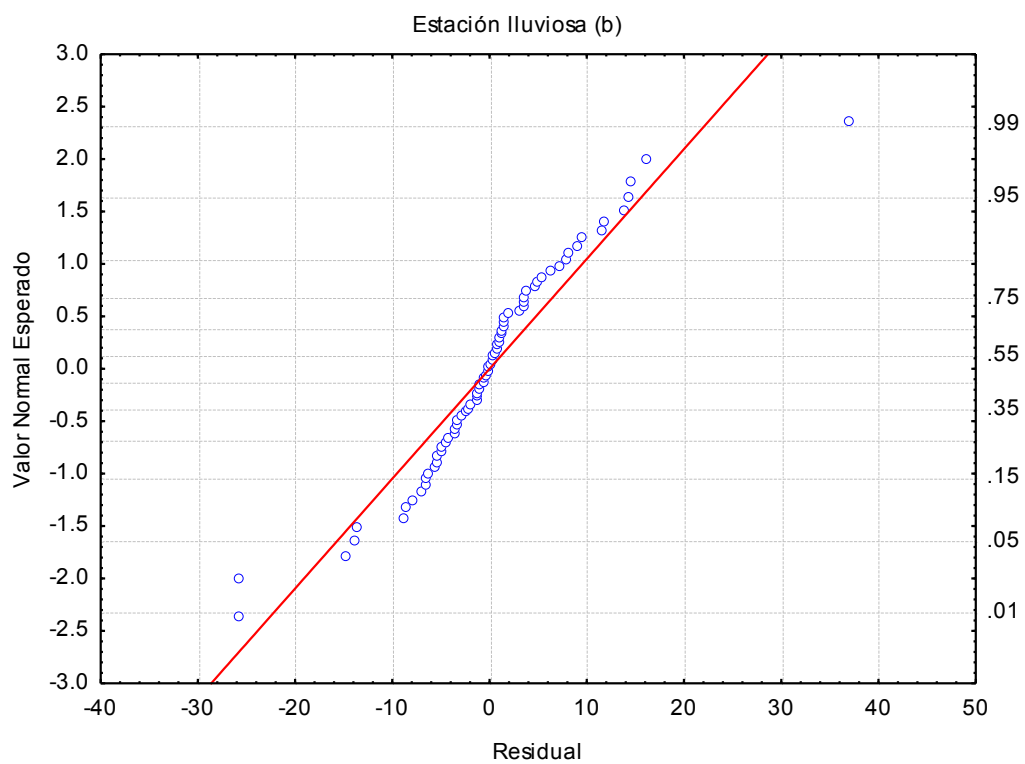
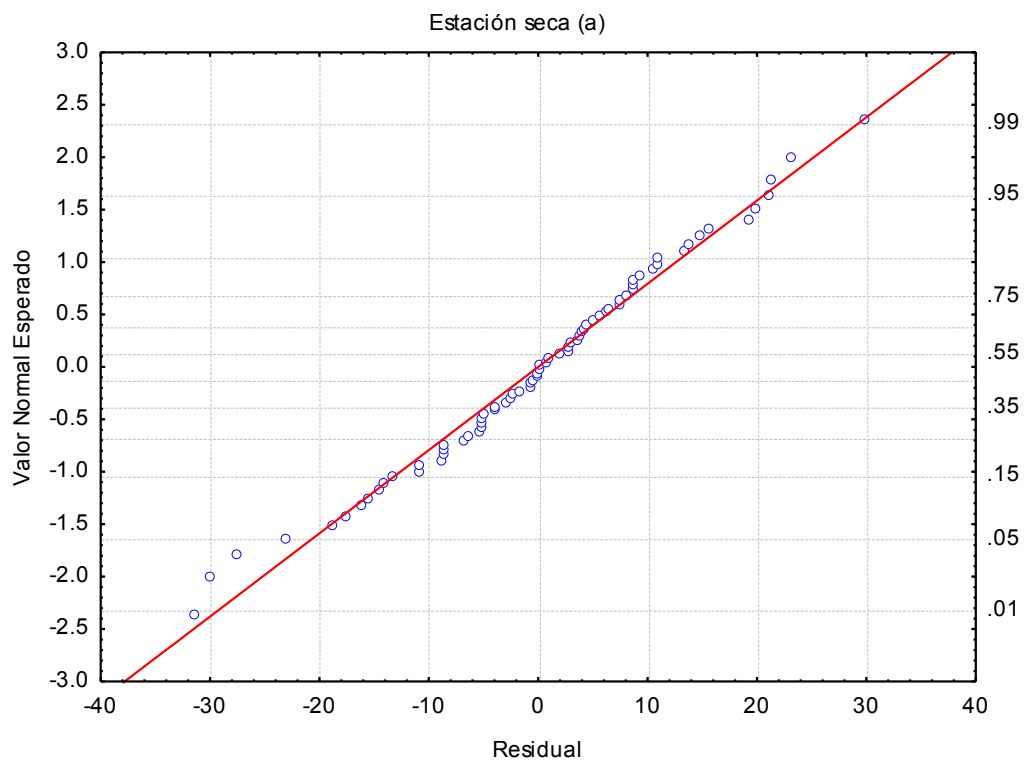


Figura 4.2.20.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de P asimilable del suelo para los datos de las estaciones seca (a) y lluviosa (b).

#### **4.2.21. Efecto de los factores Zona de estudio y CVUT sobre la variable Calcio asimilable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador**

El rango promedio de contenido de Ca asimilable ( $Ca_{as}$ ) del suelo (0 - 20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 14 y 8866 kg Ca  $ha^{-1}$  (Tabla 4.1.19.1.).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $Ca_{as}$  del suelo (Tabla 4.2.21.1.; Fig. 4.2.21.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.21.1.), indicaron que los suelos de la zona del Chimborazo tuvieron mayor  $Ca_{as}$  que los suelos de las zonas del Ángel ( $p < 0,05^*$ ), Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,01^{**}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ). También, indicaron que los suelos de la zona del Cajas tuvieron mayor  $Ca_{as}$  que los suelos de las zonas del Ángel ( $p < 0,05^*$ ), Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,01^{**}$ ). Las diferencias en  $Ca_{as}$  entre las zonas del Chimborazo y del Cajas no fueron significativas.

Mientras que por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable  $Ca_{as}$  del suelo, específicamente en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Todos estos resultados se describen a continuación.

##### *Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

Existió un efecto significativo de la CVUT sobre la variable  $Ca_{as}$  del suelo (Fig. 4.2.21.3). En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario presentaron significativamente mayor  $Ca_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ); mientras que los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $Ca_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

##### *Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi*

En la temporada seca las diferencias de  $Ca_{as}$  del suelo entre sitios bajo Páramo y bajo Pino no fueron significativas (Fig. 4.2.21.4.).

##### *Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo*



En la estación seca (Fig. 4.2.21.5.) los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de  $Ca_{as}$  del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ), bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,05^*$ ).

#### Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

La CVUT influyó sobre la variable  $Ca_{as}$  del suelo (Fig. 4.2.21.6.). En la estación seca los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $Ca_{as}$  del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

El factor CVUT influyó significativamente sobre la variable  $Ca_{as}$  del suelo (Fig. 4.2.21.7.). En la estación seca los sitios bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $Ca_{as}$  del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

En la zona de Loja la variable  $Ca_{as}$  del suelo estuvo influenciada significativamente por el factor CVUT (Fig. 4.2.21.8). En la estación seca los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $Ca_{as}$  del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,01^{**}$ ), bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de ecuación de regresión mostró que los datos de  $Ca_{as}$  del suelo tuvieron linealidad (*múltiple*  $R = 0,78$ ;  $F = 4,03$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de  $Ca_{as}$  del suelo tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.21.9.;  $W = 0,54137$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Finalmente, la prueba *Levene* indicó que los datos de  $Ca_{as}$  del suelo tuvieron homogeneidad de las varianzas ( $F = 4,71$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.21.1. Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

| Zona         | n  | Páramo                          | Pino                            | Pastizal                        | Bosque                          | Páramo                          | Promedio general |
|--------------|----|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
|              |    | media<br>kg ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> EE |                  |
| El Ángel     | 12 | 82 ± 6 c                        | 99 ± 33 c                       | 1648 ± 3 b                      | 4742 ± 11 a                     | - -                             | 1125 ± 755 BC    |
| Cotopaxi     | 10 | 671 ± 476 a                     | 1185 ± 224 a                    | - -                             | - -                             | - -                             | 979 ± 796 C      |
| Chimborazo   | 12 | 2466 ± 544 b                    | 2408 ± 281 b                    | 7262 ± 1005 a                   | - -                             | 1984 ± 83 b                     | 3166 ± 756 A     |
| Cajas        | 18 | 341 ± 235 bc                    | 65 ± 39 b                       | 1264 ± 290 c                    | 8866 ± 3169 a                   | - -                             | 3326 ± 591 AB    |
| Oña-Yacuambi | 12 | 41 ± 8 a                        | 35 ± 11 a                       | - -                             | 64 ± 9 b                        | - -                             | 47 ± 71 C        |
| Loja         | 8  | 23 ± 8 b                        | 14 ± 4 b                        | 449 ± 279 a                     | 15 ± 1 b                        | - -                             | 125 ± 672 C      |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.21.2. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la variable Ca asimilable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media de cuadrados | F    | p           |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------|-------------|
| Intercepción                    | 160568076         | 1                  | 160568076          | 26,4 | 0,000004*** |
| Zona de estudio                 | 109014667         | 5                  | 21802933           | 3,6  | 0,007498*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | 356144810         | 15                 | 23742987           | 3,9  | 0,000132*** |
| Error                           | 310518821         | 51                 | 6088604            |      |             |

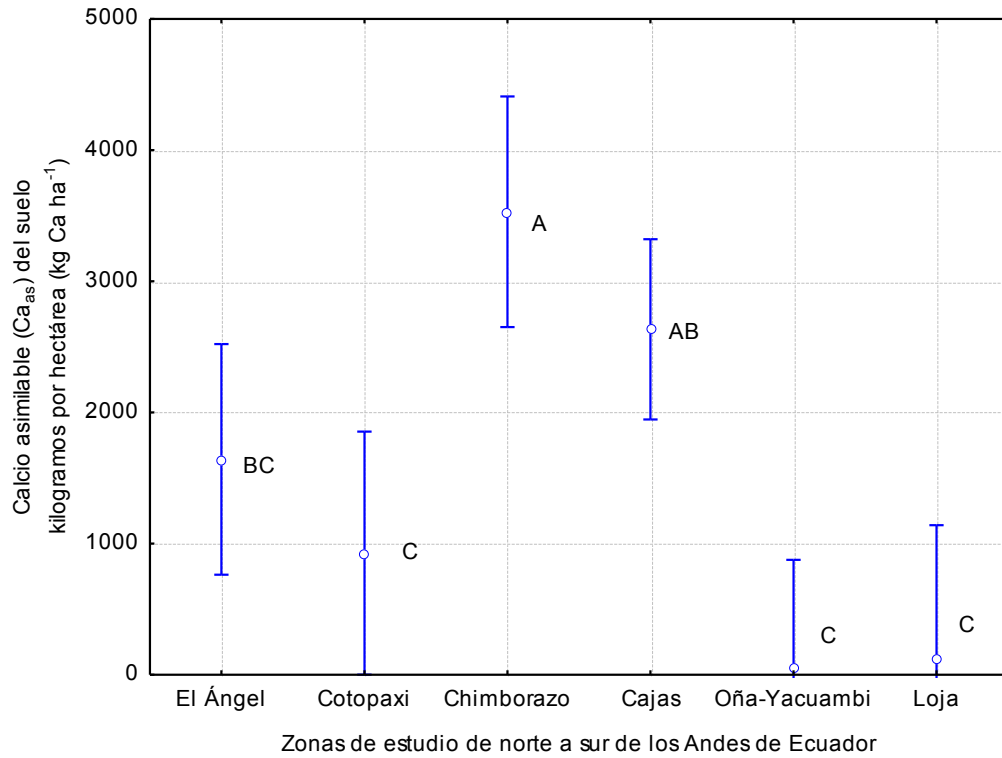


Figura 4.2.21.1. Calcio asimilable del suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

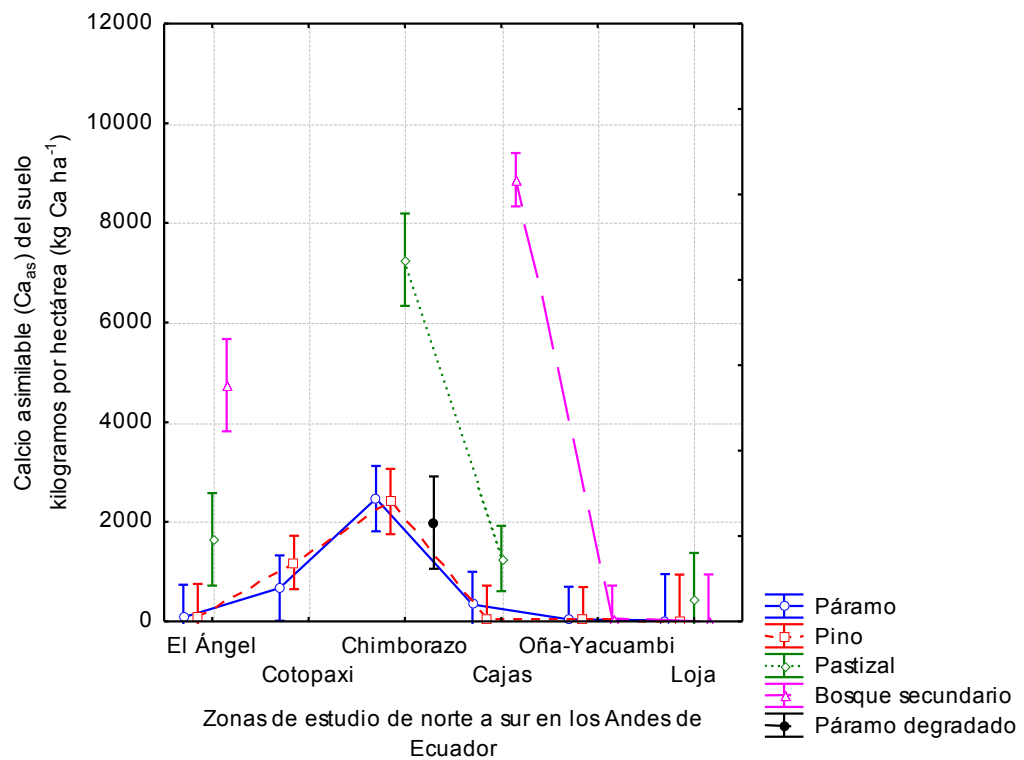


Figura 4.2.21.2. Calcio asimilable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca. La barra (I) indica la desviación estándar.

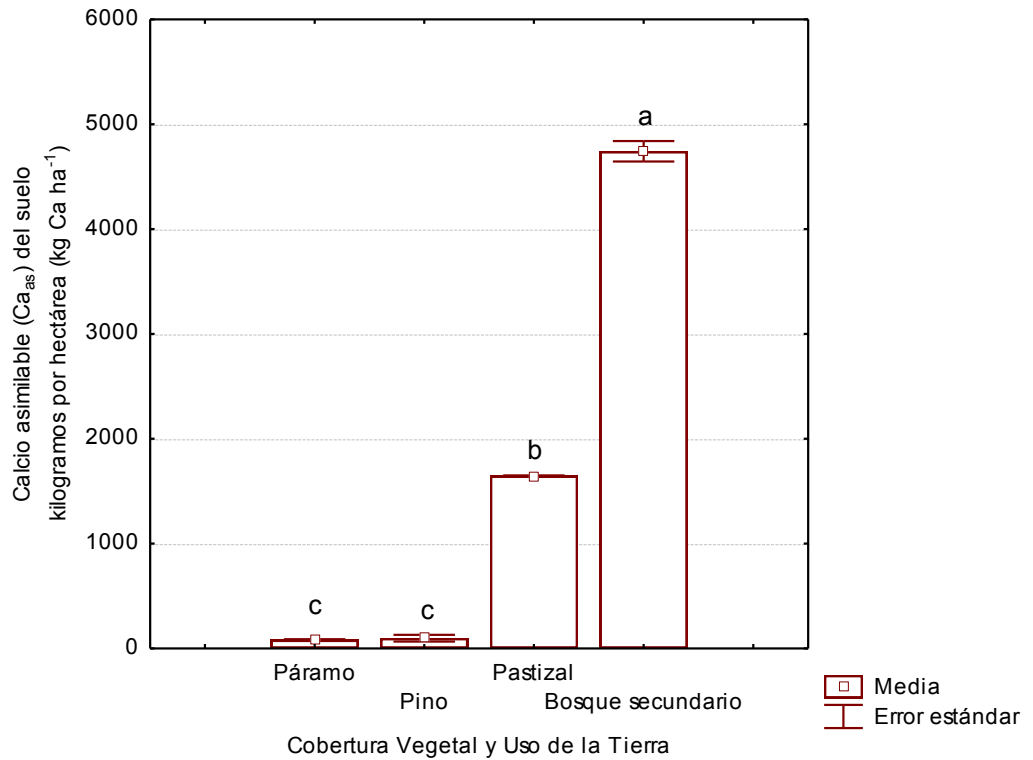


Figura 4.2.21.3.  $Ca_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

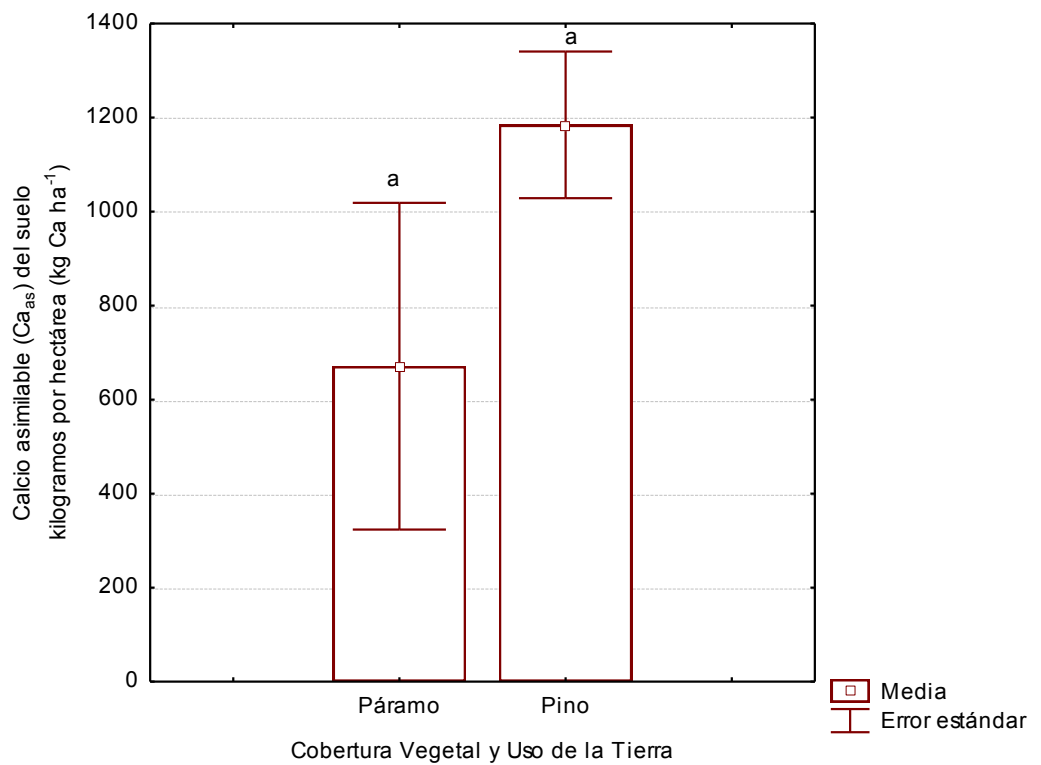


Figura 4.2.21.4.  $Ca_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

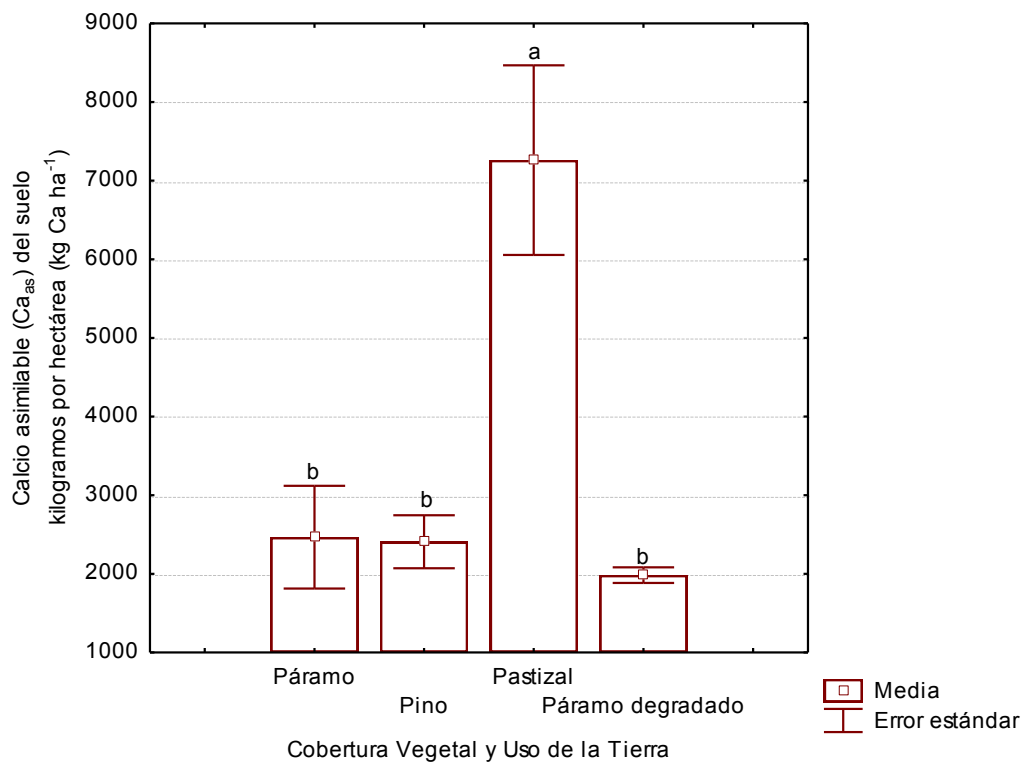


Figura 4.2.21.5. Ca<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

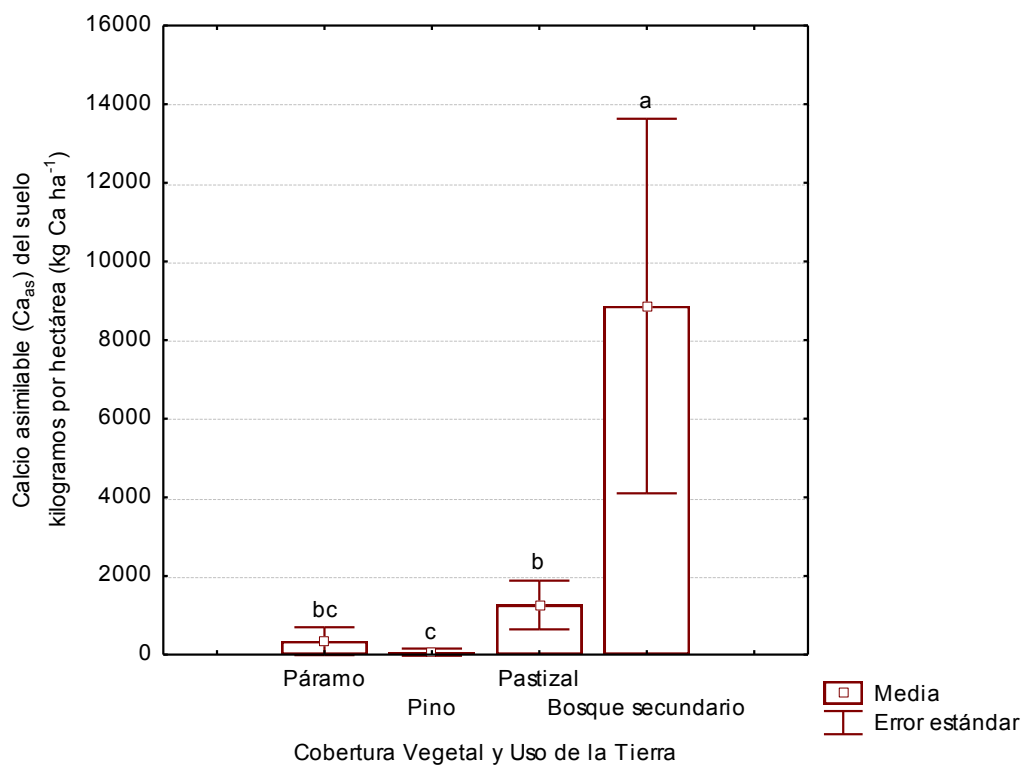


Figura 4.2.21.6. Ca<sub>as</sub> suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

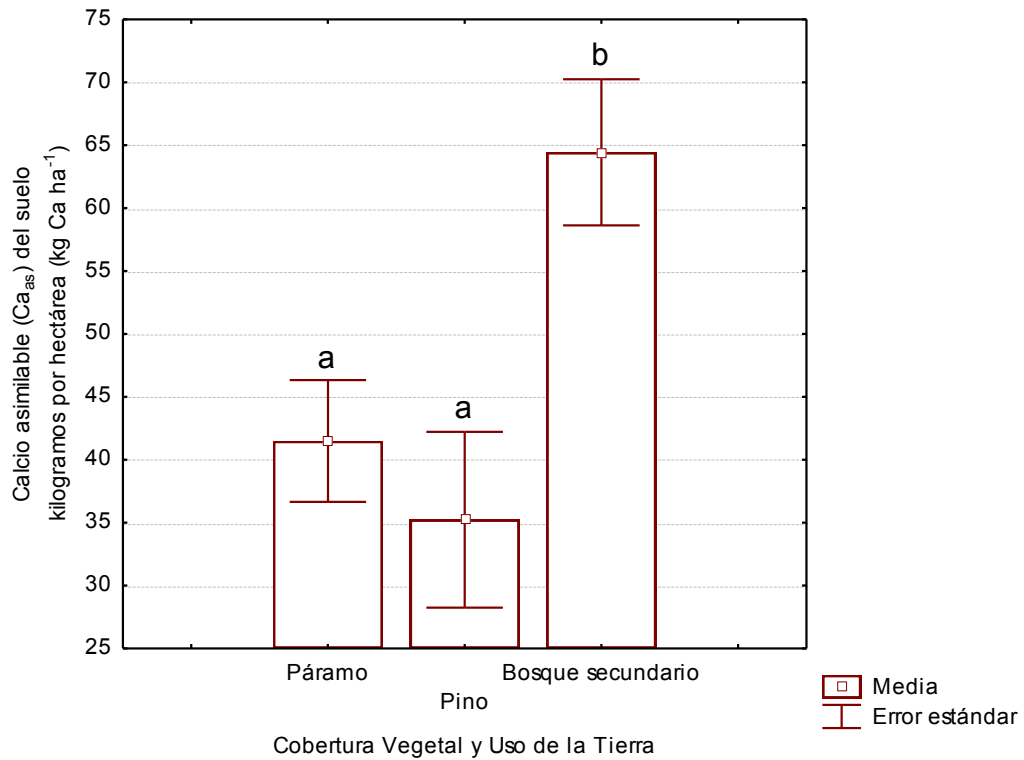


Figura 4.2.21.7. Ca<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

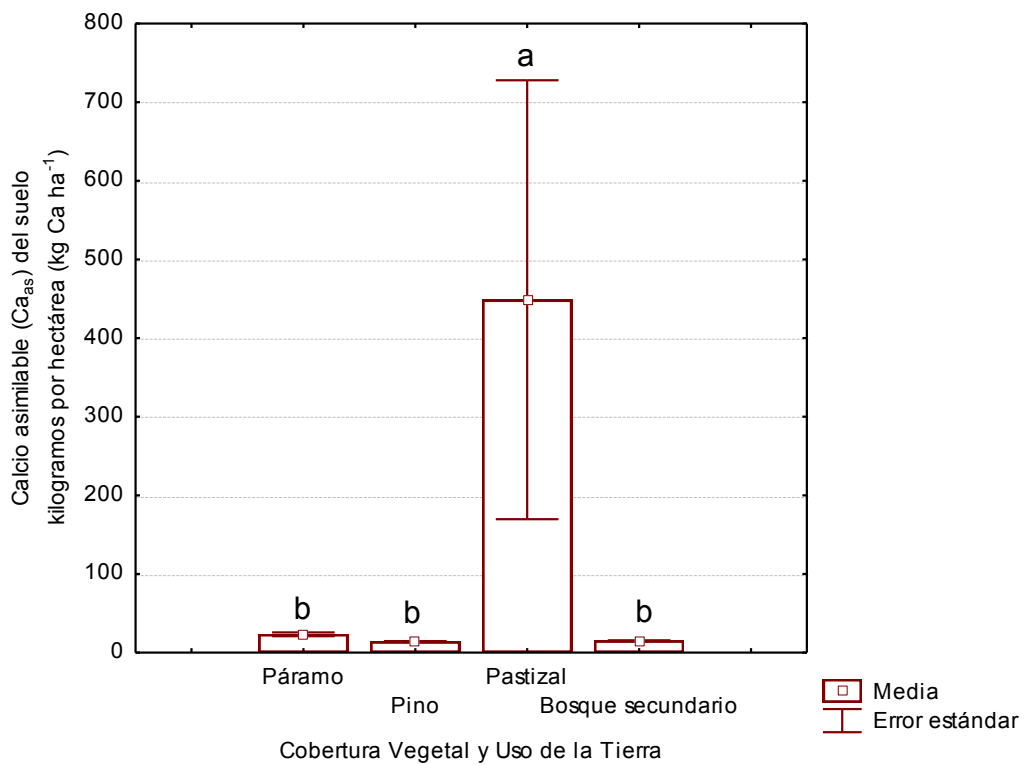


Figura 4.2.21.8. Ca<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

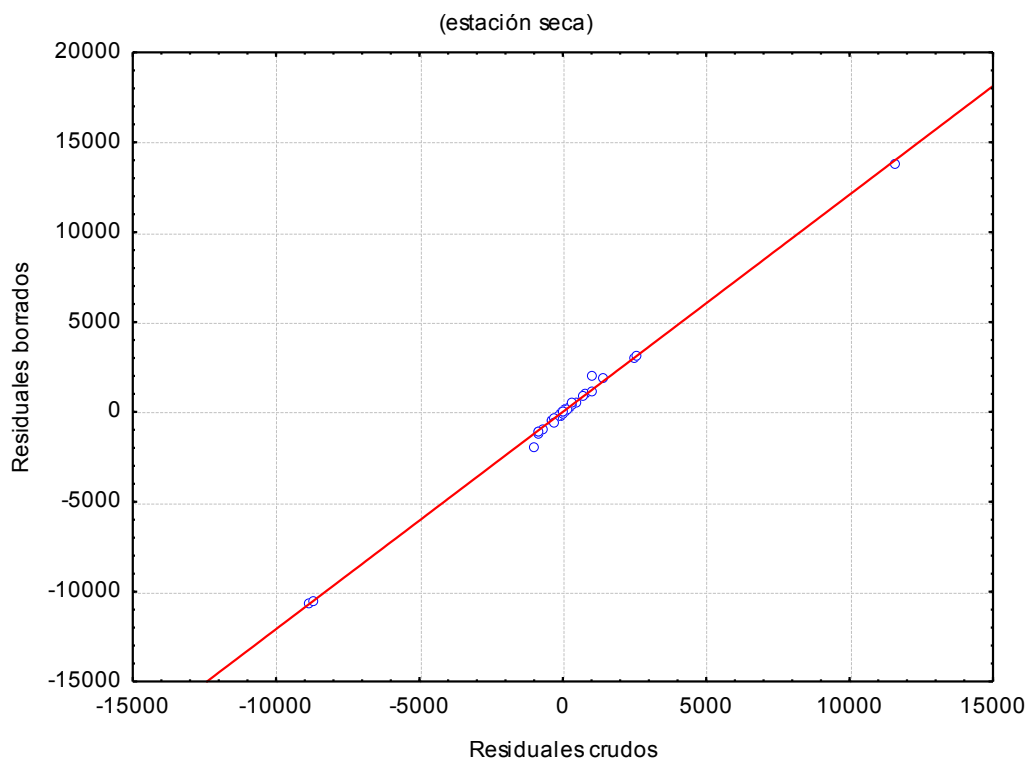


Figura 4.2.21.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de  $Ca_{as}$  del suelo para los datos de la estación seca.

#### 4.2.22. Efecto de los factores Zona de estudio y CVUT sobre la variable Magnesio asimilable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio del contenido de Magnesio asimilable ( $Mg_{as}$ ) del suelo (0 - 20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 26 y 1792 kg Mg  $ha^{-1}$  (Tabla 4.2.22.1.; Fig. 4.2.22.2.).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $Mg_{as}$  del suelo (Tabla 4.2.22.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio (Fig. 4.2.22.1.), indicaron que los suelos de la zona del Chimborazo tuvieron significativamente mayor  $Mg_{as}$  que los suelos de las zonas del Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacumbi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ). Además, indicaron que los suelos de la zona de Oña-Yacumbi tuvieron significativamente menor  $Mg_{as}$  que los suelos de las zonas del Ángel ( $p < 0,005^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,05^*$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p < 0,005^{***}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar el efecto específico del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la variable  $Mg_{as}$  del suelo específicamente en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas y Loja. Todos estos resultados se describen a continuación.

#### *Magnesio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

La CVUT tuvo un efecto significativo sobre el  $Mg_{as}$  del suelo (Fig. 4.2.22.3.). En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor  $Mg_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ). También, los suelos bajo Pastizal tuvieron mayor  $Mg_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### *Magnesio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Cotopaxi*

En la temporada seca no existieron diferencias significativas de  $Mg_{as}$  del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.22.4.)

#### *Magnesio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo*

El factor CVUT afectó de forma significativa la variable  $Mg_{as}$  del suelo (Fig. 4.2.22.5.). En la estación seca los suelos bajo Pastizal presentaron significativamente más  $Mg$  asimilable que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,001^{***}$ ). Además, los suelos bajo Páramo degradado tuvieron significativamente menor contenido de  $Mg_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ).

#### *Magnesio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas*

El  $Mg_{as}$  del suelo estuvo influenciado por la CVUT (Fig. 4.2.22.6.). En la estación seca los suelos bajo Bosque secundario tuvieron significativamente mayor contenido de  $Mg_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,05^*$ ). También, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $Mg_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### *Magnesio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi*



En la estación seca las diferencias del contenido de Mg<sub>as</sub> del suelo entre diferentes tipos de CVUT no fueron significativas. (Fig. 4.2.22.7.).

#### Magnesio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

La CVUT influyó de forma significativa el Mg<sub>as</sub> del suelo (Fig. 4.2.22.8.). En la estación seca los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor contenido de Mg<sub>as</sub> del suelo que los sitios bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

Los resultados de la prueba de ecuación de regresión indicaron que los datos de Mg<sub>as</sub> del suelo tuvieron linealidad (*múltiple R* = 0,96; *F* = 33,03;  $p < 0,001^{***}$ ).

También, los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de Mg<sub>as</sub> del suelo tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.22.9.; *W* = 0,60183;  $p < 0,001^{***}$ ).

Además, la prueba *Levene* indicó que los datos Mg<sub>as</sub> del suelo tuvieron homogeneidad de las varianzas (*F* = 9,07;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.22.1. Magnesio asimilable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para estación seca.

| Zona         | n  | Páramo                       |    | Pino                         |    | Pastizal                     |    | Bosque secundario            |    | Páramo degradado             |    | Promedio general             |    |
|--------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|------------------------------|----|
|              |    | media<br>kg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg ha <sup>-1</sup> | EE |
| El Ángel     | 12 | 36 ± 1                       | c  | 40 ± 9                       | c  | 186 ± 19                     | b  | 795 ± 16                     | a  | -                            | -  | 264 ± 32                     | B  |
| Cotopaxi     | 10 | 99 ± 46                      | a  | 190 ± 48                     | a  | -                            | -  | -                            | -  | -                            | -  | 144 ± 34                     | BC |
| Chimborazo   | 12 | 448 ± 55                     | b  | 381 ± 226                    | b  | 1794 ± 116                   | a  | -                            | -  | 204 ± 15                     | c  | 707 ± 32                     | A  |
| Cajas        | 18 | 76 ± 23                      | c  | 41 ± 5                       | c  | 183 ± 53                     | b  | 337 ± 106                    | a  | -                            | -  | 159 ± 25                     | B  |
| Oña-Yacuambi | 12 | 48 ± 15                      | a  | 37 ± 6                       | a  | -                            | -  | 49 ± 11                      | a  | -                            | -  | 45 ± 30                      | C  |
| Loja         | 8  | 26 ± 1                       | b  | 31 ± 3                       | b  | 378 ± 89                     | a  | 40 ± 3                       | b  | -                            | -  | 119 ± 37                     | BC |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.22.2. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre el Magnesio asimilable del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media de cuadrados | F   | p           |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----|-------------|
| Intercepción                    | 4149420           | 1                  | 4149420            | 381 | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | 3103067           | 5                  | 620613             | 57  | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | 4831752           | 15                 | 322117             | 30  | 0,000000*** |
| Error                           | 554830            | 51                 | 10879              |     |             |

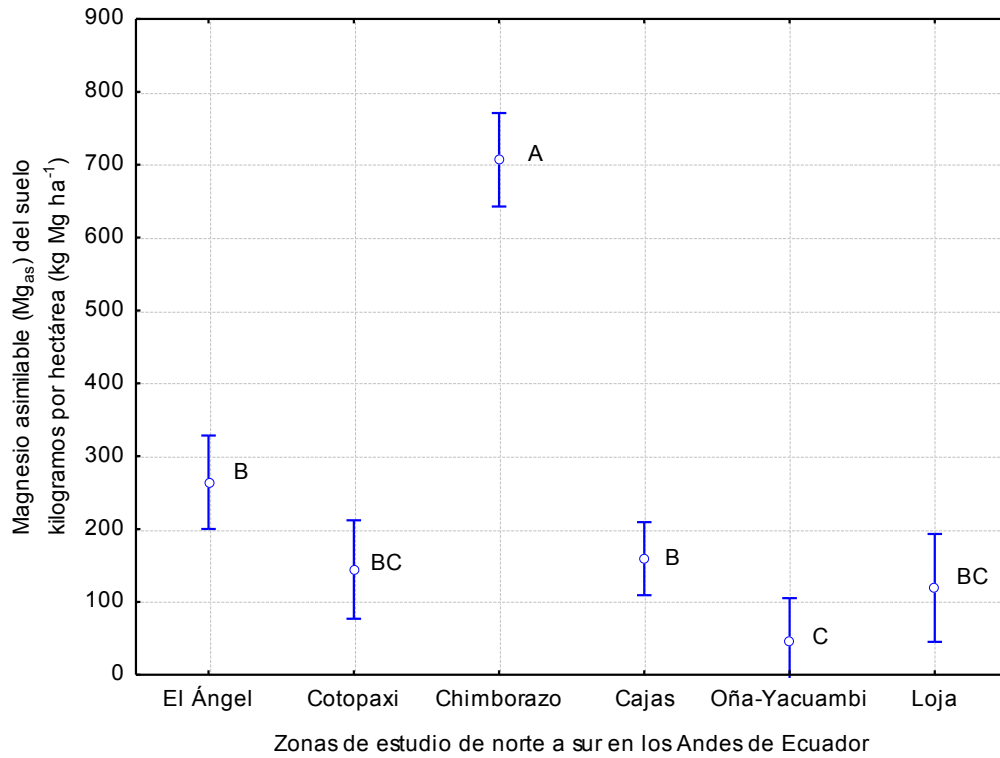


Figura 4.2.22.1. Mg<sub>as</sub> del suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

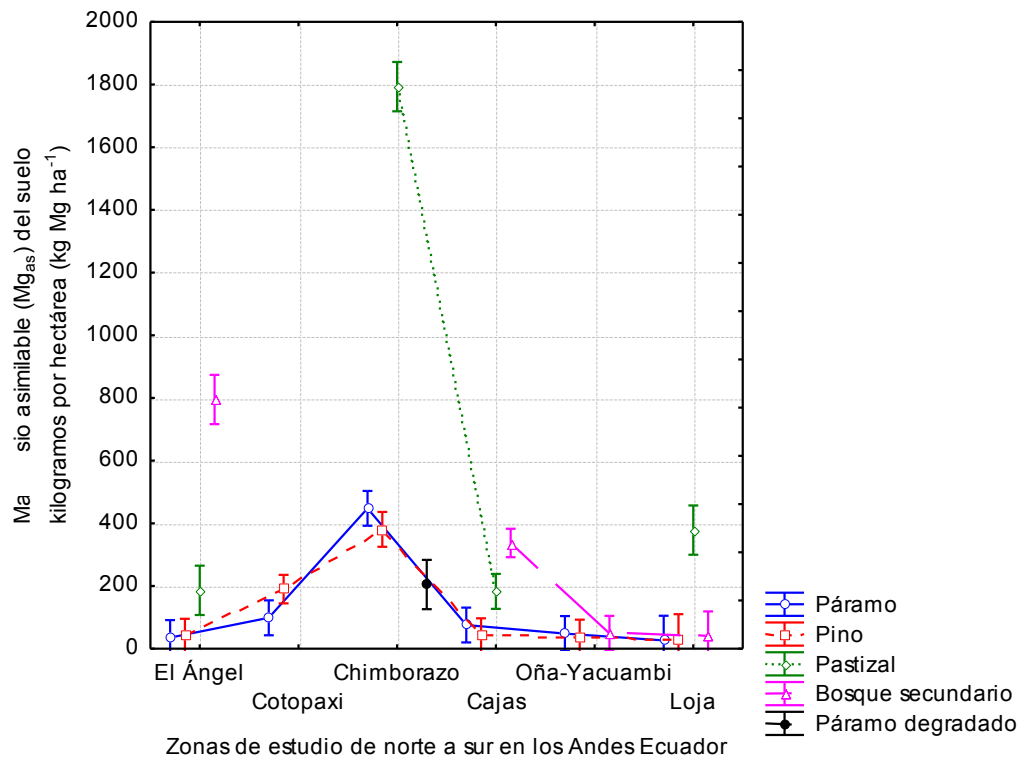


Figura 4.2.22.2. Mg<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

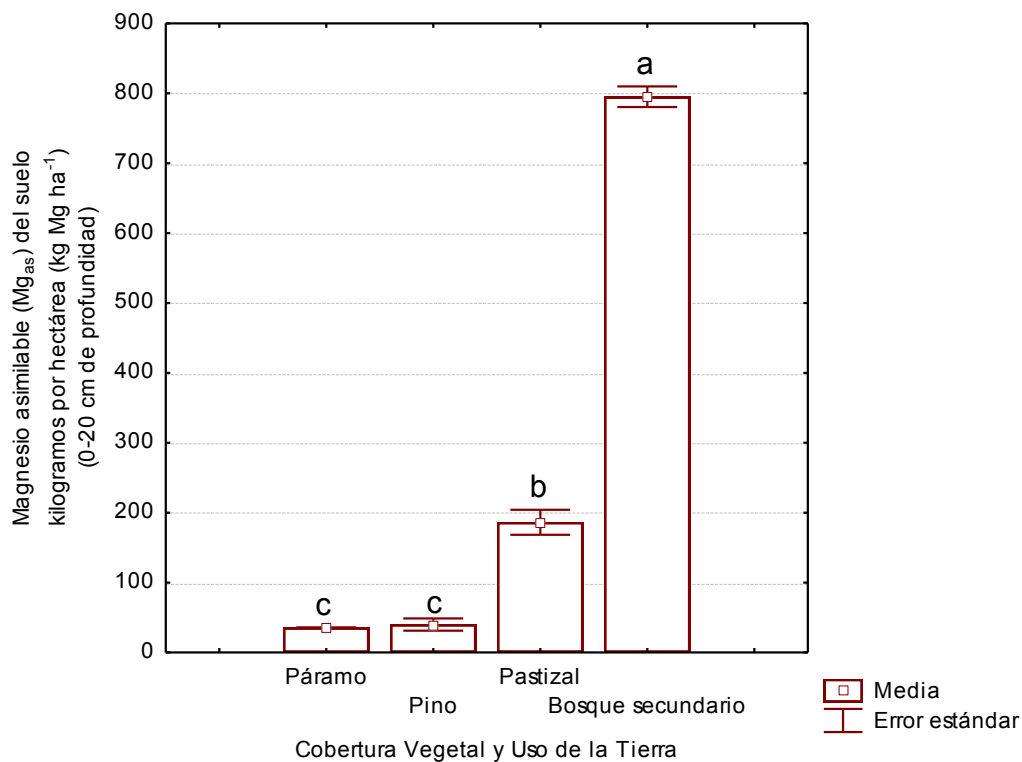


Figura 4.2.22.3. Mg<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

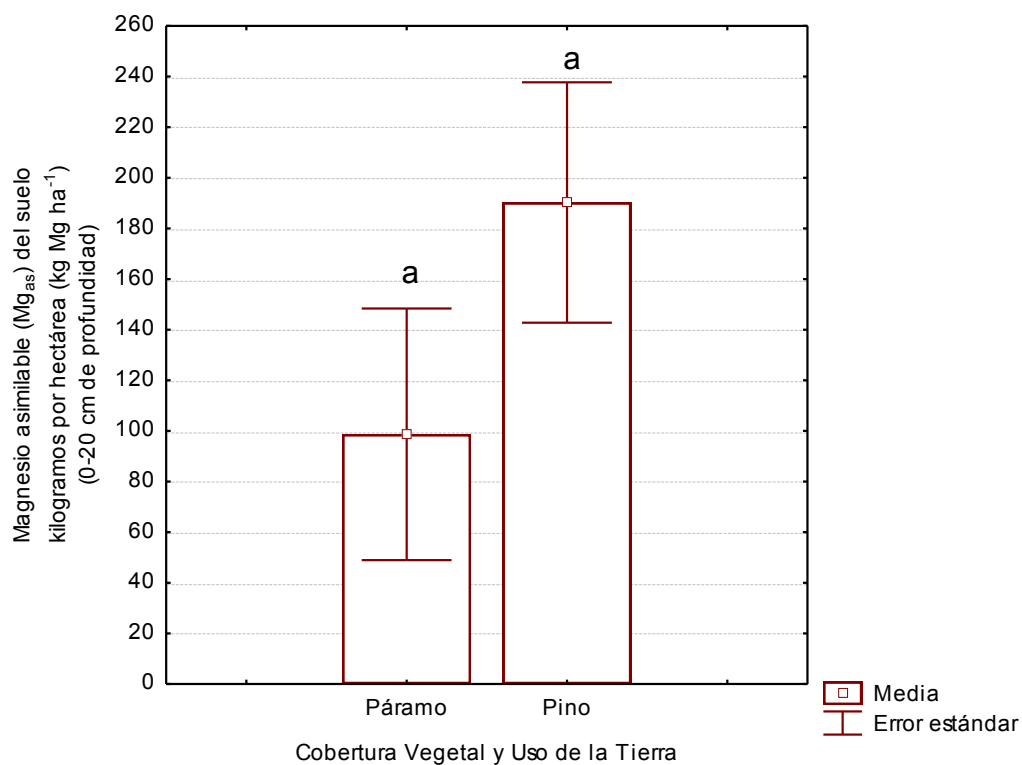


Figura 4.2.22.4. Mg<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

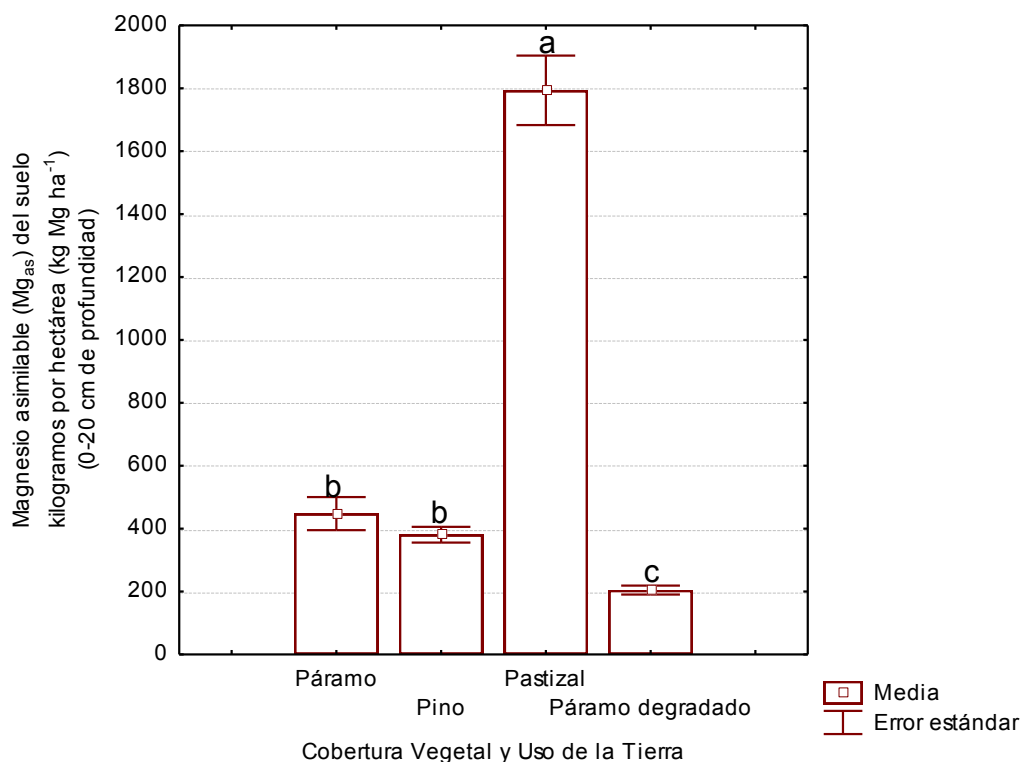


Figura 4.2.22.5. Mg<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

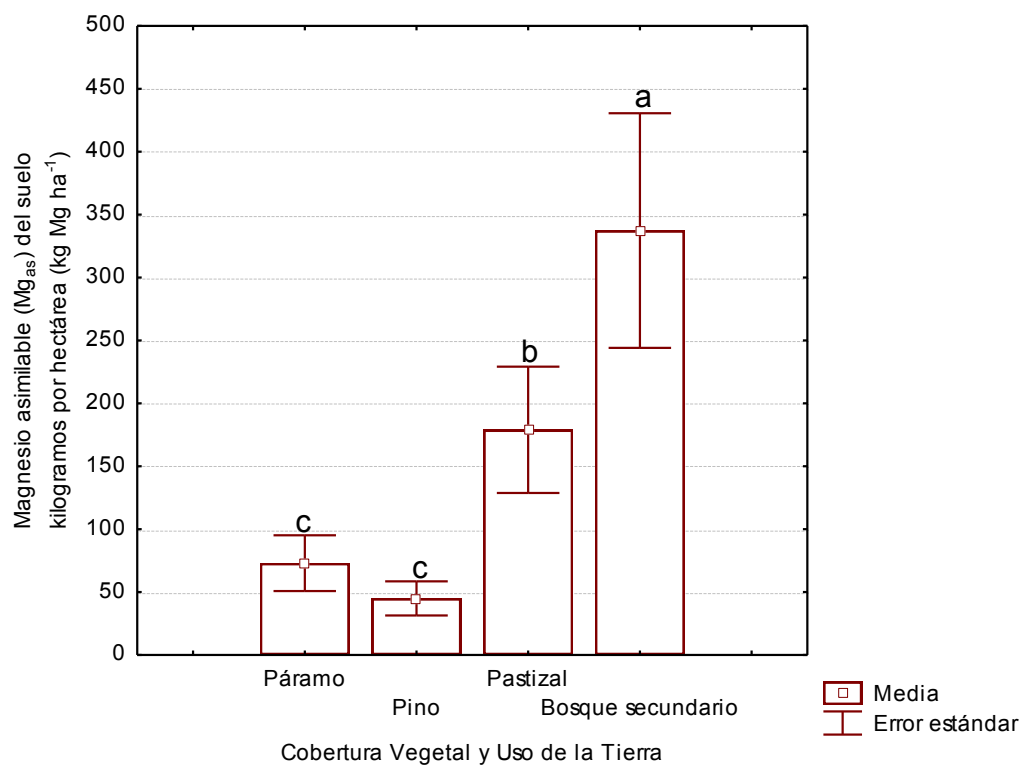


Figura 4.2.22.6. Mg<sub>as</sub> del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

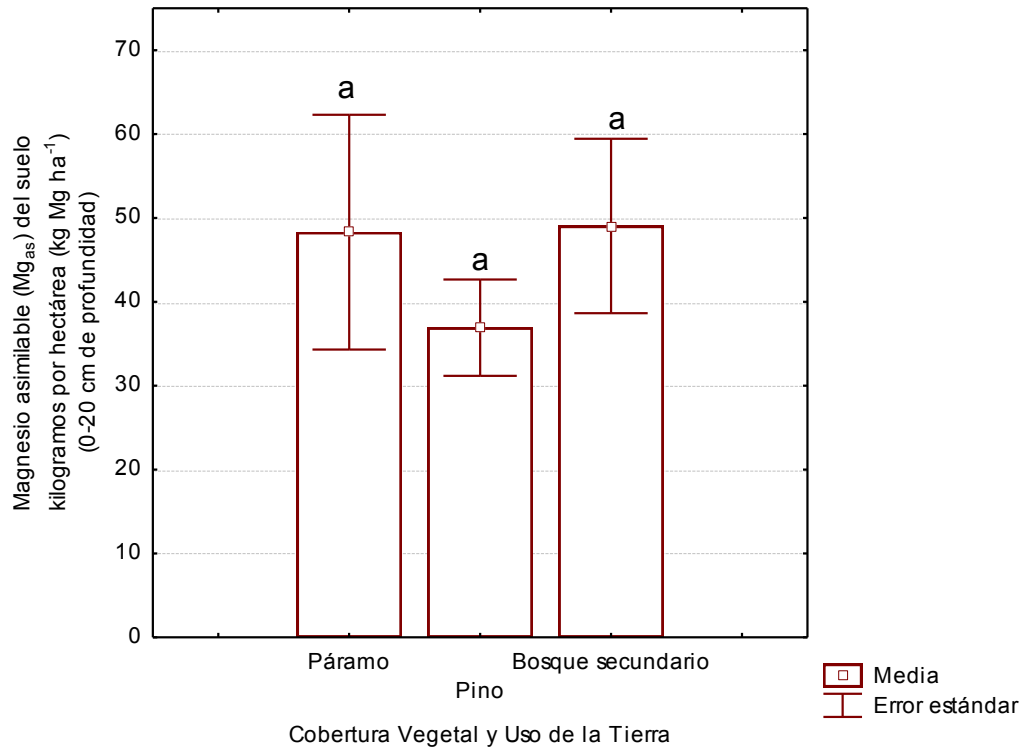


Figura 4.2.22.7.  $Mg_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

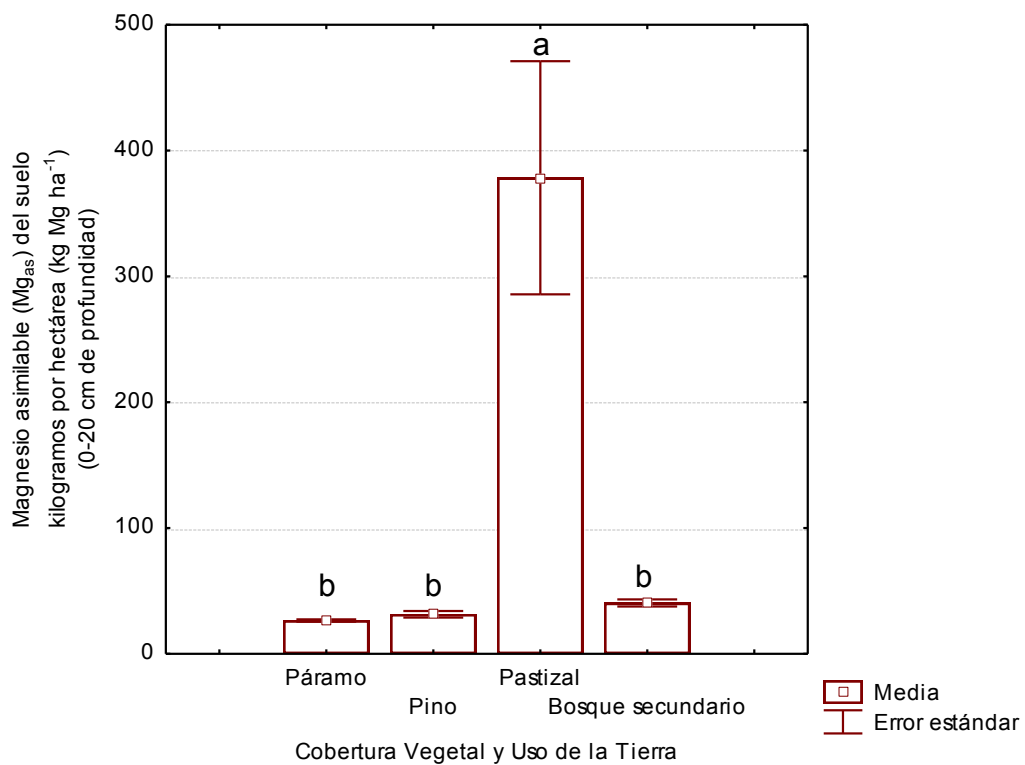


Figura 4.2.22.8.  $Mg_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

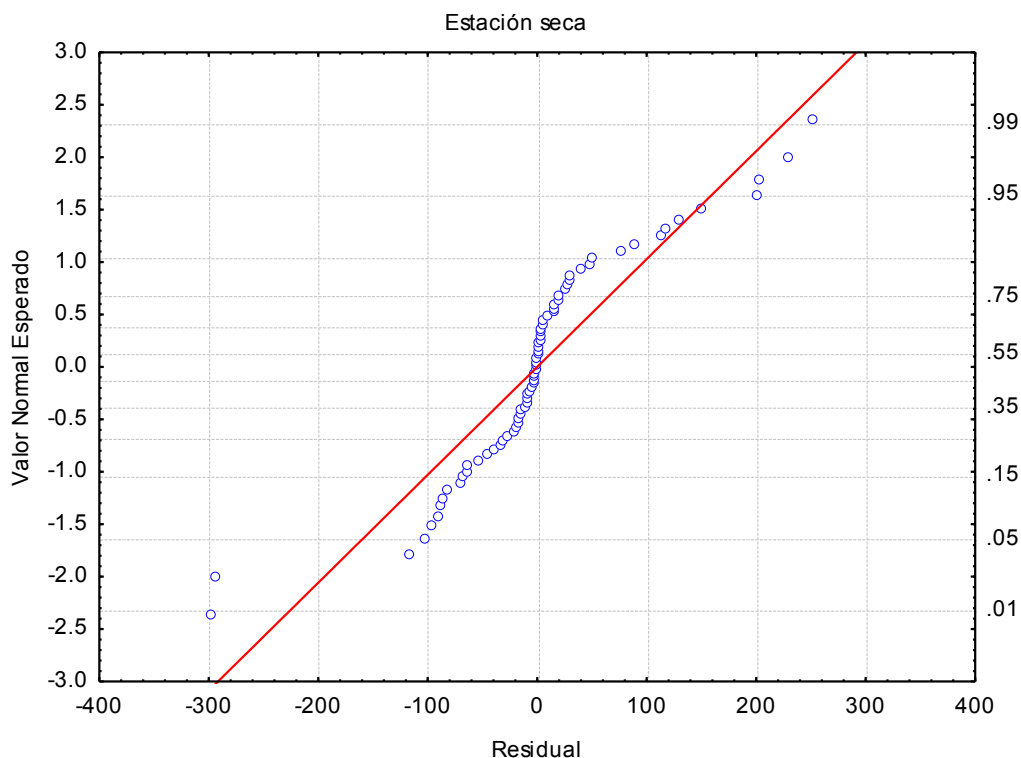


Figura 4.2.22.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de  $Mg_{as}$  del suelo para los datos de la estación seca.

#### 4.2.23. Efecto de los factores Zona de estudio y CVUT sobre la variable Potasio asimilable del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

El rango promedio de contenido de Potasio asimilable ( $K_{as}$ ) del suelo (0 - 20 cm de profundidad) bajo diferente CVUT estuvo entre 89 y 695 kg K ha<sup>-1</sup> en la estación seca (Tabla 4.2.23.1.; Fig. 4.2.23.2.).

Los resultados de la prueba *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor zona de estudio como el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $K_{as}$  del suelo (Tabla 4.2.23.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio, indicaron que la zona del Chimborazo tuvo significativamente mayor contenido de  $K_{as}$  del suelo que las demás zonas (Fig.4.2.23.1.), siendo estas: el Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,01^{**}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,005^{***}$ ). También, indicaron que la zona de Cotopaxi presentó significativamente menor contenido de  $K_{as}$  del suelo que las zonas del Ángel ( $p < 0,01^{**}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Cajas ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,05^*$ ). Además,

indicaron que la zona de Oña-Yacuambi tuvo significativamente menor contenido de  $K_{as}$  del suelo que las zonas del Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ) y Cajas ( $p < 0,01^{**}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD*, aplicada para evaluar los efectos específicos del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre el contenido de  $K_{as}$  del suelo en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas y Loja. Todos estos resultados se describen con detalle a continuación.

#### Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel

En la estación seca los sitios bajo la CVUT de Pastizal tuvieron significativamente mayor  $K_{as}$  del suelo que los sitios bajo Pino (Fig. 4.2.23.3.;  $p < 0,05^*$ ).

#### Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Cotopaxi

En la temporada seca no existieron diferencias significativas de  $K_{as}$  del suelo entre los sitios bajo la CVUT de Páramo y Pino. (Fig. 4.2.23.4.).

#### Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo

El factor CVUT afectó significativamente la variable  $K_{as}$  del suelo (Fig. 4.2.23.5.). En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $K_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Páramo degradado ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas

La CVUT influyó significativamente sobre la variable  $K_{as}$  del suelo (Fig. 4.2.23.6.). En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $K_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ). Los suelos bajo Pino tuvieron significativamente menor  $K_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,001^{***}$ ).

#### Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi

En la estación seca no existieron diferencias significativas de  $K_{as}$  del suelo asociadas a la CVUT (Fig. 4.2.23.7.).

#### Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

El  $K_{as}$  del suelo estuvo influenciado significativamente por el factor CVUT (Fig. 4.2.23.8.) En la estación seca los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $K_{as}$

que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,001^{***}$ ), bajo Pino ( $p < 0,001^{***}$ ) y bajo Pastizal ( $p < 0,005^{***}$ ). También, los suelos bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor  $K_{as}$  que los suelos bajo Páramo ( $p < 0,05^*$ ) y bajo Pino ( $p < 0,01^{**}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

La prueba de ecuación de regresión indicó que los datos de  $K_{as}$  del suelo tuvieron linealidad ( $múltiple R = 0,80$ ;  $F = 4,46$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

También los resultados de la prueba *Shapiro-Wilk* indicaron que los datos de  $K_{as}$  del suelo tuvieron distribución normal (Fig. 4.2.23.9;  $W = 0,81164$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Junto con esto, la prueba *Levene* indicó que los datos de  $K_{as}$  del suelo tuvieron homogeneidad de las varianzas ( $F = 10,17$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Tabla 4.2.23.1. Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes Zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

| Zona         | n  | Páramo                         |    | Pino                           |    | Pastizal                       |    | Bosque secundario              |    | Páramo degradado               |    | Promedio general               |    |
|--------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|--------------------------------|----|
|              |    | media<br>kg K ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg K ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg K ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg K ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg K ha <sup>-1</sup> | EE | media<br>kg K ha <sup>-1</sup> | EE |
| El Ángel     | 12 | 208 ± 21                       | ab | 165 ± 17                       | b  | 396 ± 216                      | a  | 237 ± 114                      | ab | -                              | -  | 251 ± 37                       | B  |
| Cotopaxi     | 10 | 89 ± 33                        | a  | 109 ± 16                       | a  | -                              | -  | -                              | -  | -                              | -  | 99 ± 39                        | C  |
| Chimborazo   | 12 | 335 ± 46                       | b  | 369 ± 58                       | b  | 695 ± 36                       | a  | -                              | -  | 309 ± 10                       | b  | 427 ± 37                       | A  |
| Cajas        | 18 | 219 ± 37                       | b  | 133 ± 11                       | c  | 507 ± 186                      | a  | 264 ± 42                       | b  | -                              | -  | 281 ± 29                       | B  |
| Oña-Yacuambi | 12 | 161 ± 33                       | a  | 131 ± 23                       | a  | -                              | -  | 154 ± 34                       | a  | -                              | -  | 149 ± 35                       | BC |
| Loja         | 8  | 143 ± 14                       | c  | 153 ± 29                       | c  | 380 ± 74                       | a  | 259 ± 2                        | b  | -                              | -  | 234 ± 43                       | BC |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.23.2. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre la variable  $K_{as}$  del suelo en la región Alto-Andina de Ecuador.

| Efecto                          | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media suma cuadrados | F   | p           |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----|-------------|
| Intercepción                    | 4139585           | 1                  | 4139585              | 282 | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | 694263            | 5                  | 138853               | 9   | 0,000002*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | 671305            | 15                 | 44754                | 3   | 0,001494*** |
| Error                           | 748026            | 51                 | 14667                |     |             |



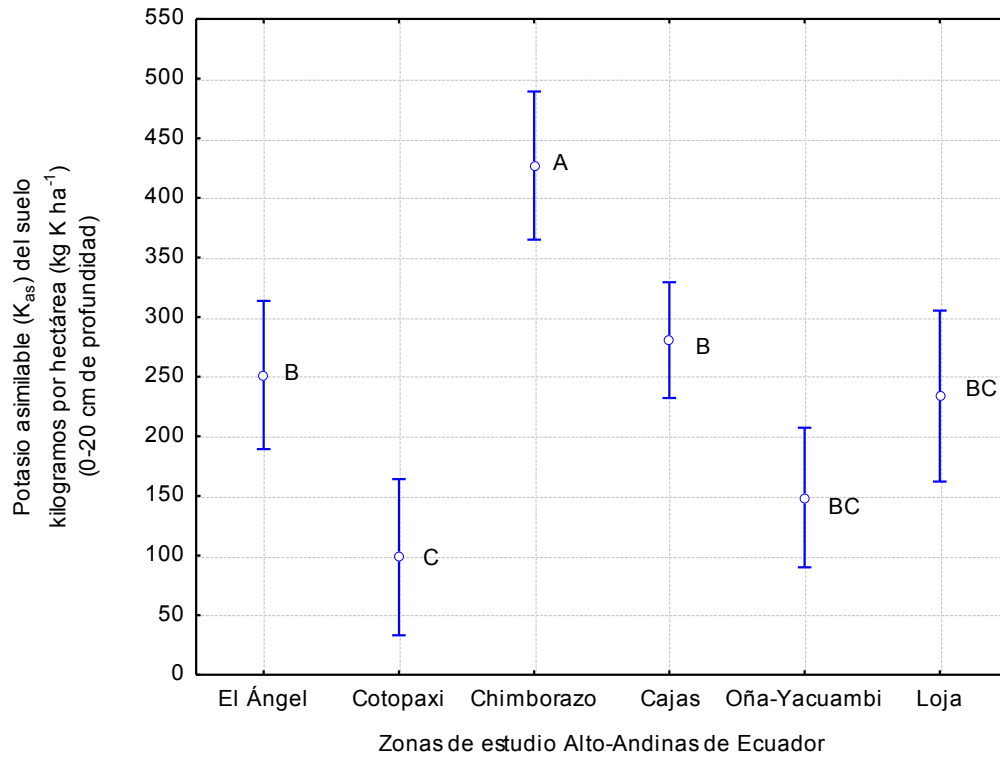


Figura 4.2.23.1. Potasio asimilable del suelo de norte a sur en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar.

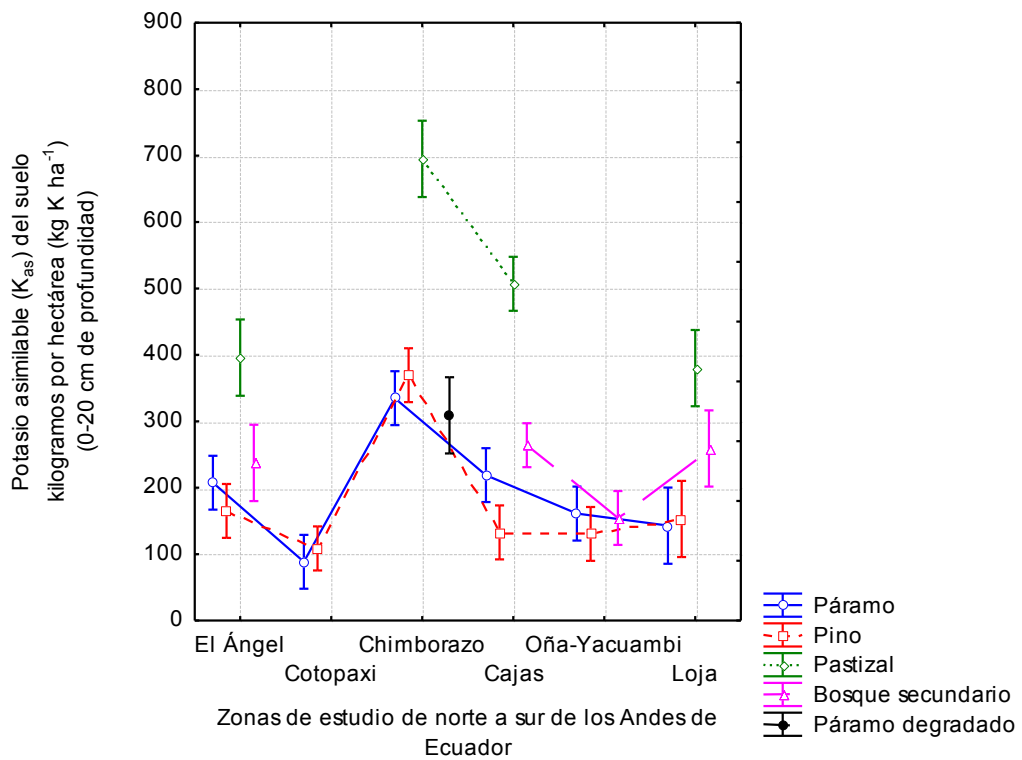


Figura 4.2.23.2. Potasio asimilable del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

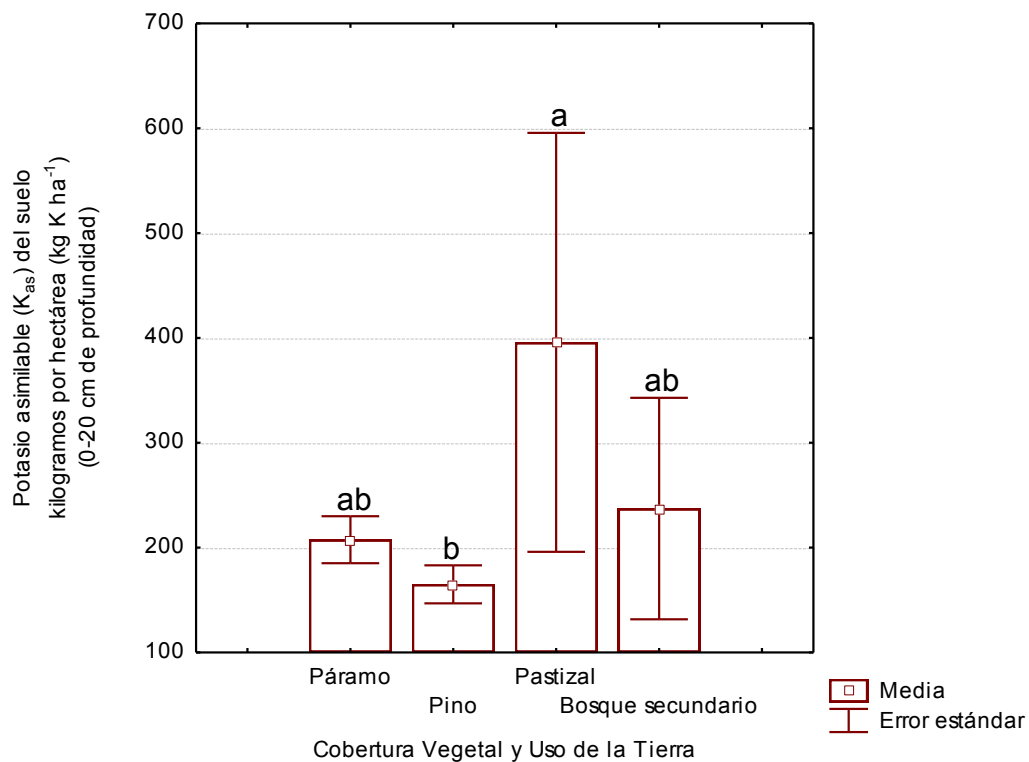


Figura 4.2.23.3.  $K_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

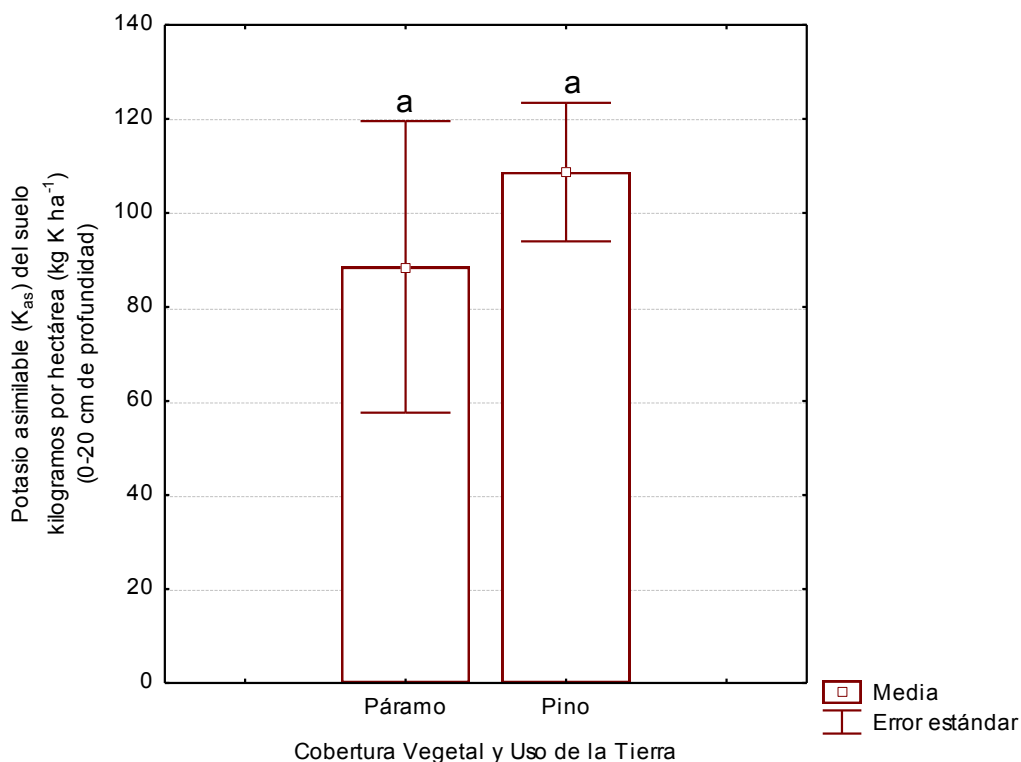


Figura 4.2.23.4.  $K_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

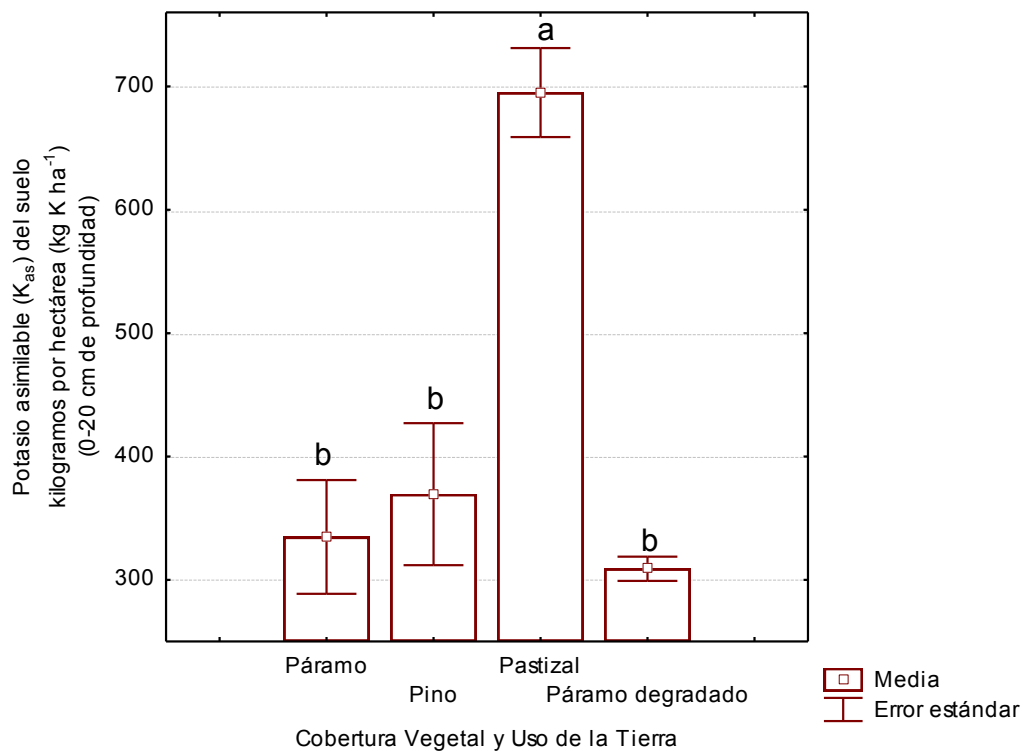


Figura 4.2.23.5.  $K_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

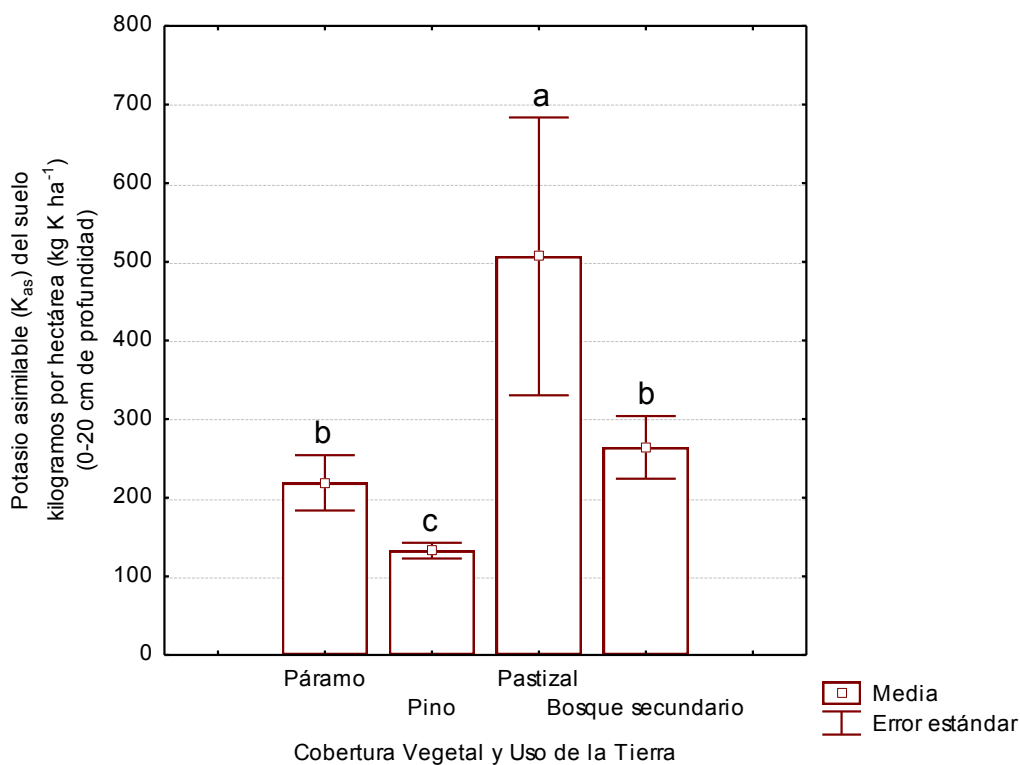


Figura 4.2.23.6.  $K_{as}$  suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

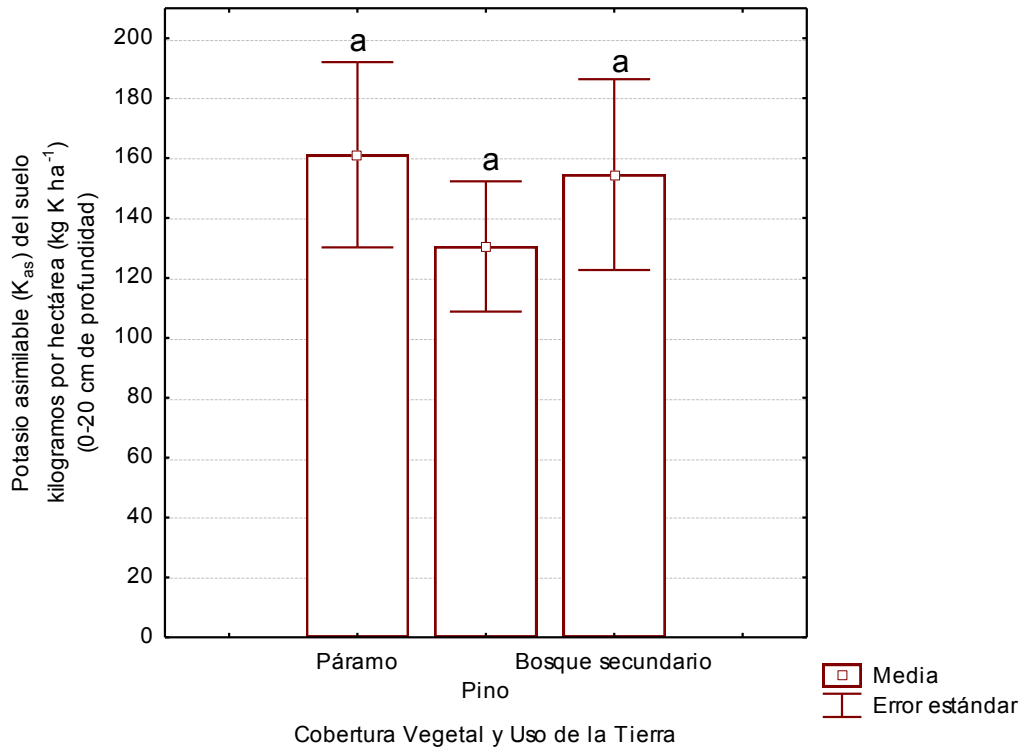


Figura 4.2.23.7.  $K_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

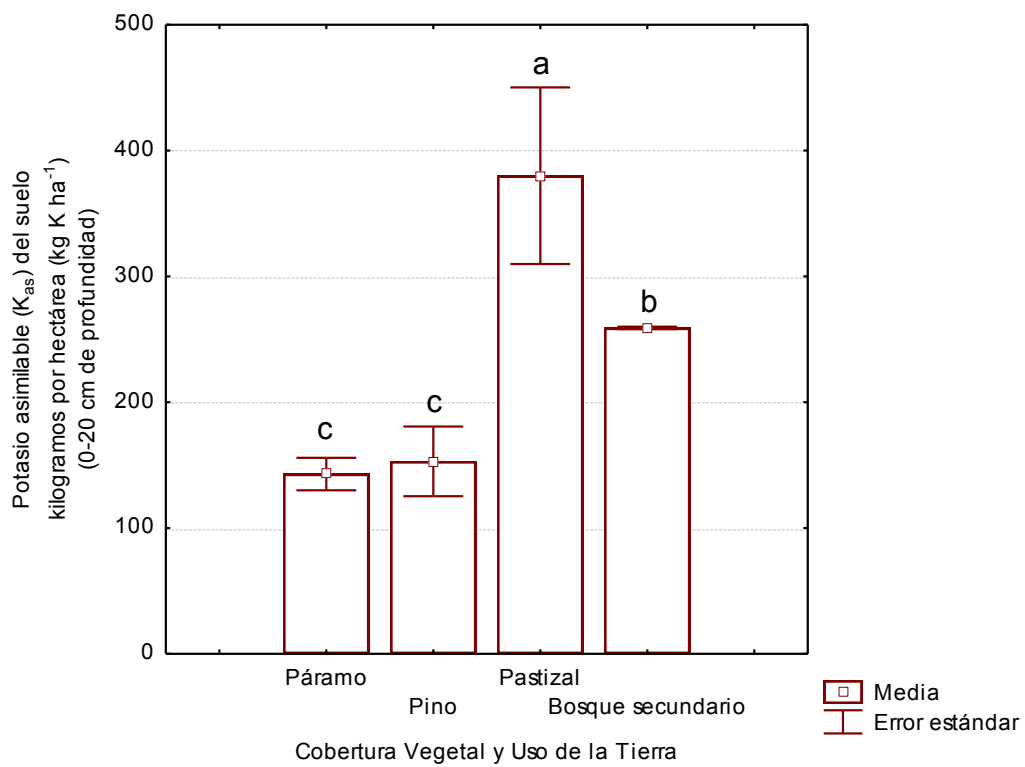


Figura 4.2.23.8.  $K_{as}$  del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

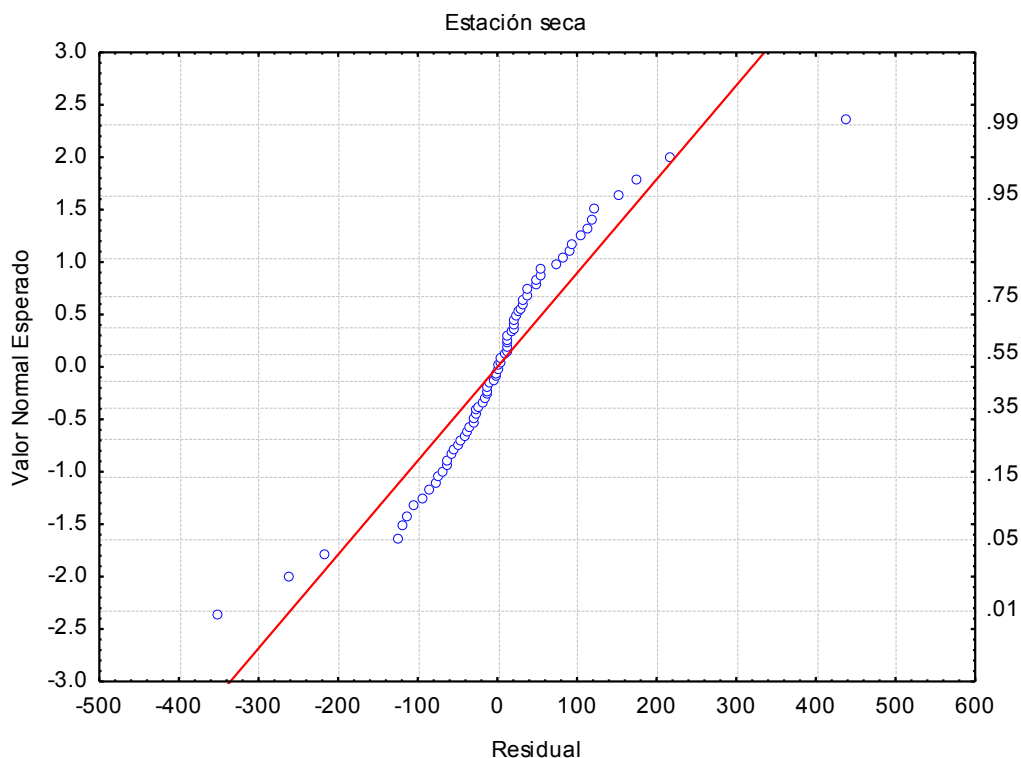


Figura 4.2.23.9. Probabilidad de distribución normal de los valores residuales de  $K_{as}$  del suelo para los datos de la estación seca.

#### E- EFECTO DEL FACTOR CVUT SOBRE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS DEL SUELO-

#### 4.2.24. Efecto de los factores Zona de estudio y CVUT sobre la variable Respiración potencial (emisión de $CO_2$ ) del suelo en la región Alto-Andina del Ecuador

Los rangos promedio de respiración potencial del suelo (emisión de  $CO_2$ ) bajo diferente CVUT estuvieron entre 3,2 y 11,3  $mg\ CO_2\ Kg^{-1}\ día^{-1}$ ; mientras que por zona de estudio estuvieron entre 4,9 y 10,4  $mg\ CO_2\ Kg^{-1}\ día^{-1}$  (Tabla 4.2.24.1.; Fig. 4.2.24.2.).

Los resultados del *Anova con factor anidado* indicaron que tanto el factor Zona de estudio cómo el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable emisión de  $CO_2$  (Tabla 4.2.24.2.).

Los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar las diferencias específicas entre zonas de estudio, indicaron que en la estación seca los suelos de la zona del Cajas tuvieron significativamente mayor respiración potencial que los suelos de todas las demás zonas (Fig. 4.2.24.1.), siendo éstas el Ángel ( $p < 0,001^{***}$ ), Cotopaxi ( $p < 0,001^{***}$ ), Chimborazo ( $p < 0,001^{***}$ ), Oña-Yacuambi ( $p < 0,001^{***}$ ) y Loja ( $p < 0,001^{***}$ ); también,

indicaron que los suelos de la zona de Oña-Yacuambi tuvieron significativamente mayor respiración potencial que los suelos de las zonas del Ángel ( $p<0,05^*$ ), Cotopaxi ( $p<0,05^*$ ) y Loja ( $p<0,001^{***}$ ); además, indicaron que los suelos de la zona de Loja tuvieron significativamente menor respiración potencial que los suelos de la zona de Chimborazo ( $p<0,005^{***}$ ).

Por su parte, los resultados de la prueba posterior *LSD* aplicada para evaluar los efectos específicos del factor anidado CVUT, indicaron que este factor influyó significativamente sobre la respiración potencial del suelo en las zonas del Ángel, Chimborazo, Cajas y Loja. Todos estos resultados se detallan a continuación.

#### *Respiración potencial del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel*

La respiración potencial estuvo significativamente influenciada por la CVUT (Fig. 4.2.24.3.). En la estación seca los suelos bajo la CVUT de Páramo tuvieron significativamente mayor respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) que los suelos bajo Pastizal ( $p<0,05^*$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,05^*$ ).

#### *Respiración potencial del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi*

En la temporada seca la respiración potencial del suelo (emisión de CO<sub>2</sub>) no fue significativamente diferente entre sitios bajo Páramo y sitios bajo Pino (Fig. 4.2.24.4.).

#### *Respiración potencial del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo*

La respiración potencial del suelo (emisión de CO<sub>2</sub>) estuvo influenciada por el factor CVUT (Fig. 4.2.24.5.). En la temporada seca los sitios bajo Pastizal tuvieron significativamente mayor respiración potencial del suelo (emisión de CO<sub>2</sub>) que los sitios bajo Páramo ( $p<0,05^*$ ), bajo Pino ( $p<0,05^*$ ) y bajo Páramo degradado ( $p<0,05^*$ )

#### *Respiración potencial del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas*

La respiración potencial del suelo estuvo afectada por la CVUT (Fig. 4.2.24.6.). En la estación seca los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente menor respiración potencial del suelo (emisión de CO<sub>2</sub>) que los sitios bajo Pino ( $p<0,001^{***}$ ), bajo Pastizal ( $p<0,001^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p<0,005^{***}$ )

#### *Respiración potencial del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi*

En la estación seca la respiración potencial del suelo no tuvo diferencias significativas entre las CVUT de Páramo, Pino y Bosque secundario (Fig. 4.2.24.7.).

#### Respiración potencial del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja

La respiración potencial del suelo en Loja estuvo afectada por la CVUT (Fig. 4.2.24.8.). En la estación seca los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente menor respiración potencial del suelo que los sitios bajo Pino ( $p < 0,05^*$ ), bajo Pastizal ( $p < 0,005^{***}$ ) y bajo Bosque secundario ( $p < 0,005^{***}$ ).

#### Análisis estadísticos previos

Los análisis de residuales indicaron que los datos estimados para la emisión potencial de CO<sub>2</sub> bajo los diferentes tipos de CVUT no tuvieron distribución normal, por ello, los datos fueron ajustados utilizando la función exponencial al cuadrado, con lo cual obtuvieron linealidad (ecuación de regresión:  $Multiple R = 0,84$ ;  $F = 5,54$ ;  $p < 0,001^{***}$ ; Fig. 4.2.24.9.), normalidad significativa (prueba *Shapiro-Wilk*:  $W = 0,92257$  y  $p < 0,001^{***}$ ) y homogeneidad de las varianzas (prueba *Levene*:  $F = 2,87$ ;  $p < 0,005^{***}$ ).

Tabla 4.2.24.1. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

| Zona         | Páramo   |  | Pino |  | Pastizal |  | Bosque secundario |  | Páramo degradado |  | Promedio general |  |
|--------------|----------|--|------|--|----------|--|-------------------|--|------------------|--|------------------|--|
|              | <i>n</i> | media mg<br>CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> EE. |      | media mg<br>CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> EE. |          | media mg<br>CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> EE. |                   | media mg<br>CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> EE. |                  | media mg<br>CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> EE. |                  | media mg<br>CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> EE. |
| El Ángel     | 12       | 7,7 ± 0,7 a  |      | 6,4 ± 1,5 b  |          | 4,8 ± 2,0 b  |                   | 4,9 ± 3,3 b  |                  | - -  |                  | 6,3 ± 1,9 C  |
| Cotopaxi     | 10       | 5,8 ± 1,3 a  |      | 6,8 ± 1,0 a  |          | - -  |                   | - -  |                  | - -  |                  | 6,2 ± 1,1 BC   |
| Chimborazo   | 12       | 7,2 ± 0,4 b  |      | 6,8 ± 0,7 b  |          | 9,1 ± 0,1 a  |                   | - -  |                  | 7,3 ± 0,4 b  |                  | 7,4 ± 0,9 B  |
| Cajas        | 18       | 8,5 ± 3,1 b  |      | 11,0 ± 1,1 a   |          | 11,3 ± 1,6 a   |                   | 10,5 ± 1,1 a   |                  | - -  |                  | 10,4 ± 2,0 A   |
| Oña-Yacuambi | 12       | 8,3 ± 3,0 a  |      | 7,4 ± 1,5 a  |          | - -  |                   | 7,3 ± 3,1 a  |                  | - -  |                  | 7,7 ± 2,4 B  |
| Loja         | 8        | 3,2 ± 1,0 b  |      | 5,0 ± 0,7 a  |          | 5,6 ± 1,4 a  |                   | 5,8 ± 0,7 a  |                  | - -  |                  | 4,9 ± 1,3 C  |

Las letras minúsculas (a, b y c) indican diferencias significativas entre la CVUT dentro de cada zona de estudio, mientras que las letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F) indican diferencias significativas entre zonas de estudio.

Tabla 4.2.24.2. Efecto del factor CVUT anidado en el factor Zona de estudio sobre Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo (ajustada al cuadrado) en la región Alto-Andina de Ecuador.

| <i>Efecto</i>                   | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Media suma cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>p</i>    |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|-------------|
| Intercepción                    | 421899                   | 1                         | 421899                      | 759      | 0,000000*** |
| Zona de estudio                 | 125625                   | 5                         | 25125                       | 45       | 0,000000*** |
| CVUT anidado en Zona de estudio | 23393                    | 15                        | 1560                        | 3        | 0,000886*** |
| Error                           | 68954                    | 51                        | 556                         |          |             |

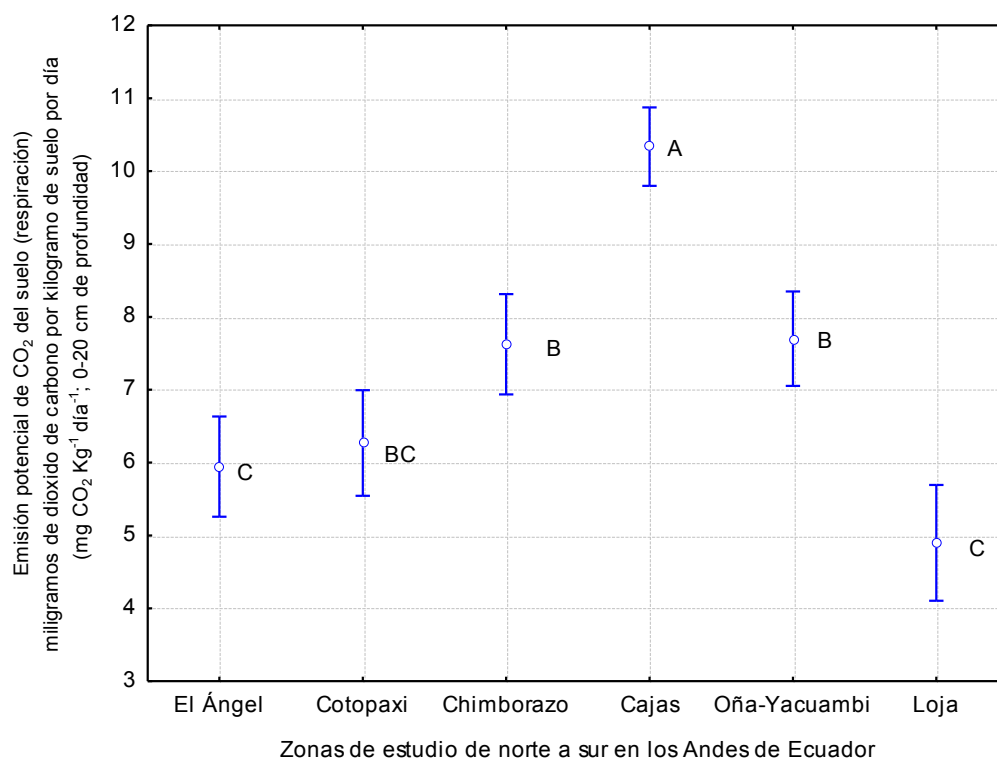


Figura 4.2.24.1. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca. Las letras indican diferencias significativas entre zonas de estudio. La barra (I) indica la desviación estándar



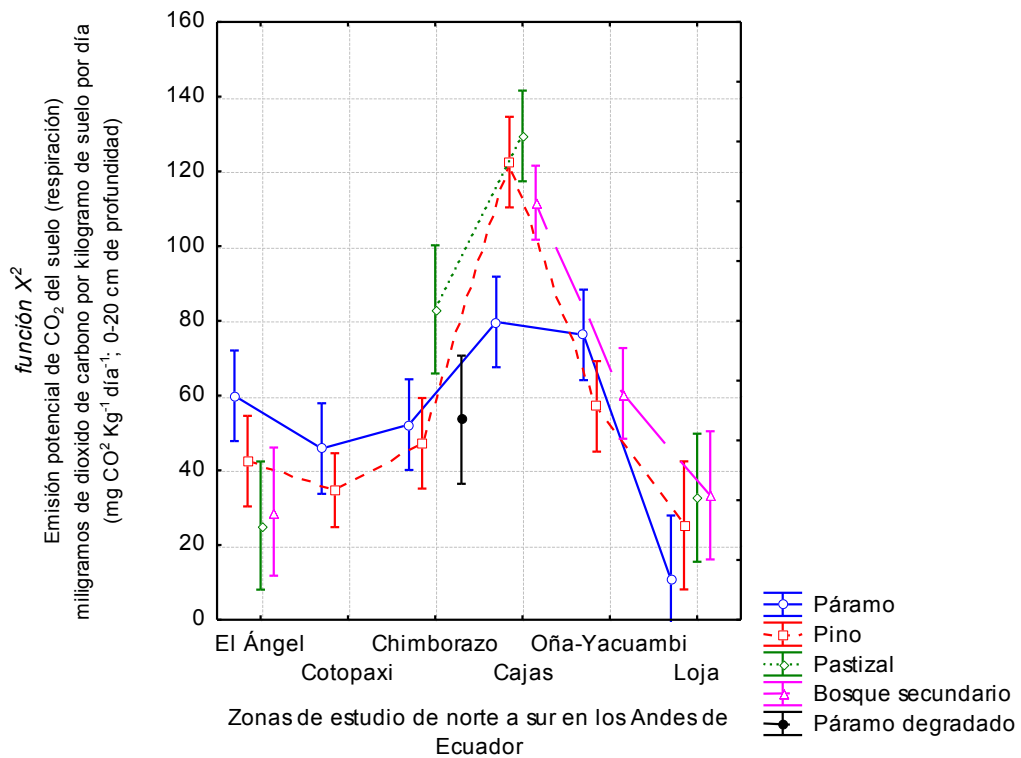


Figura 4.2.24.2. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT y en diferentes zonas Alto-Andinas de Ecuador. Valores para la estación seca.

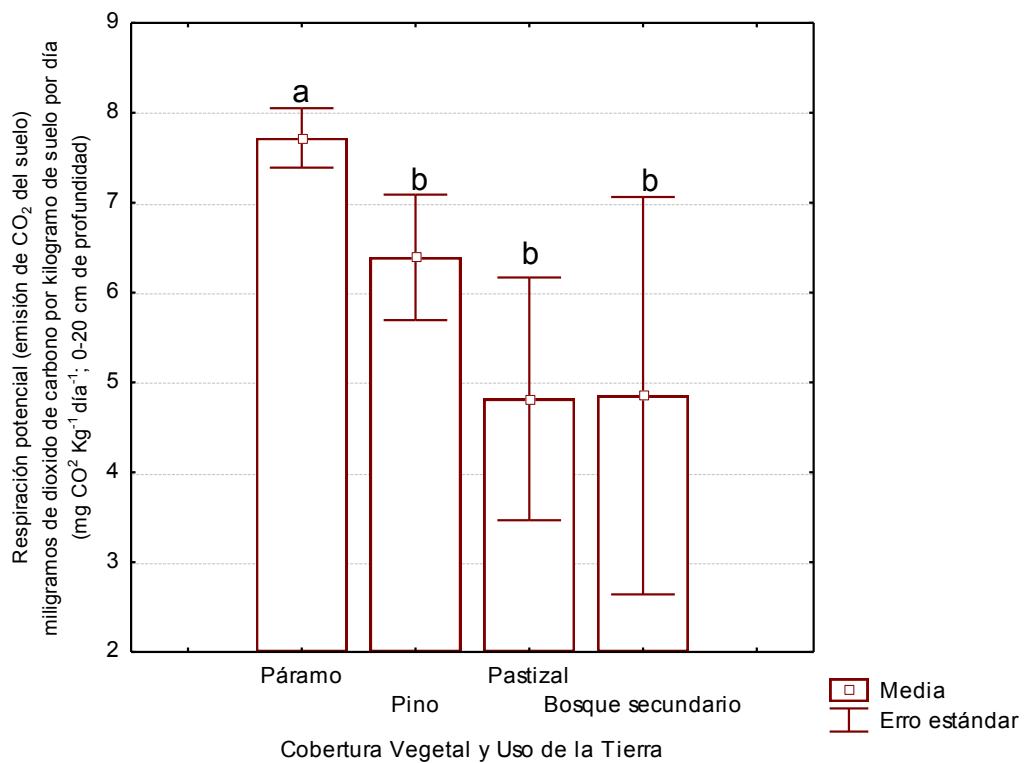


Figura 4.2.24.3. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Ángel. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

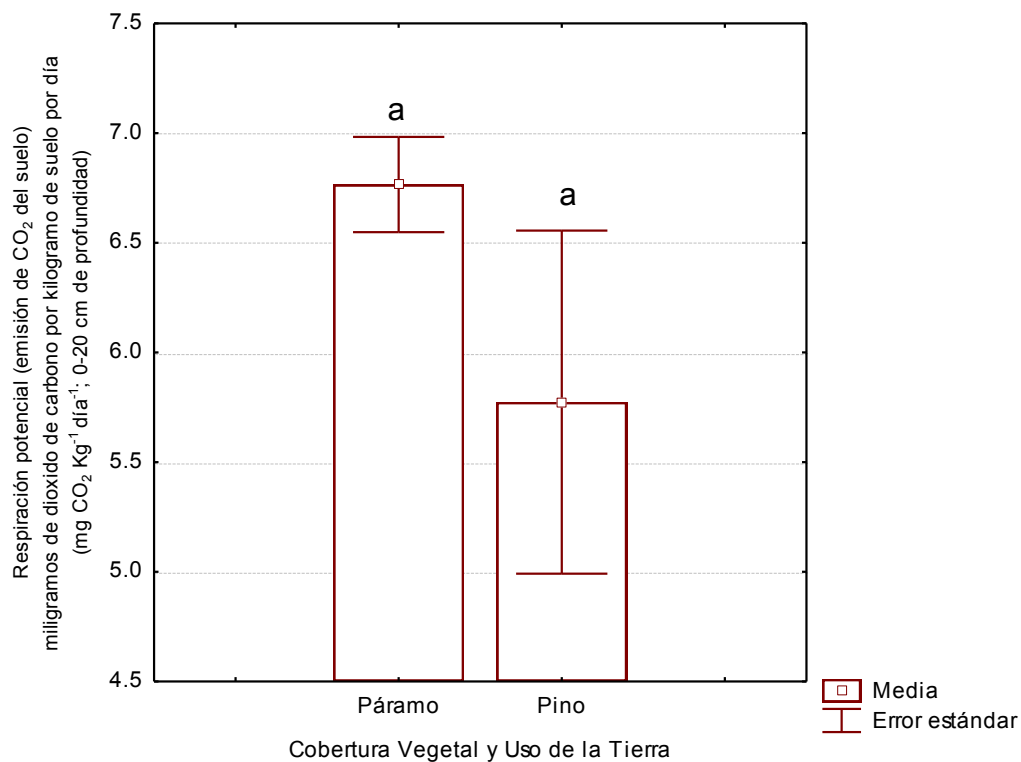


Figura 4.2.24.4. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cotopaxi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

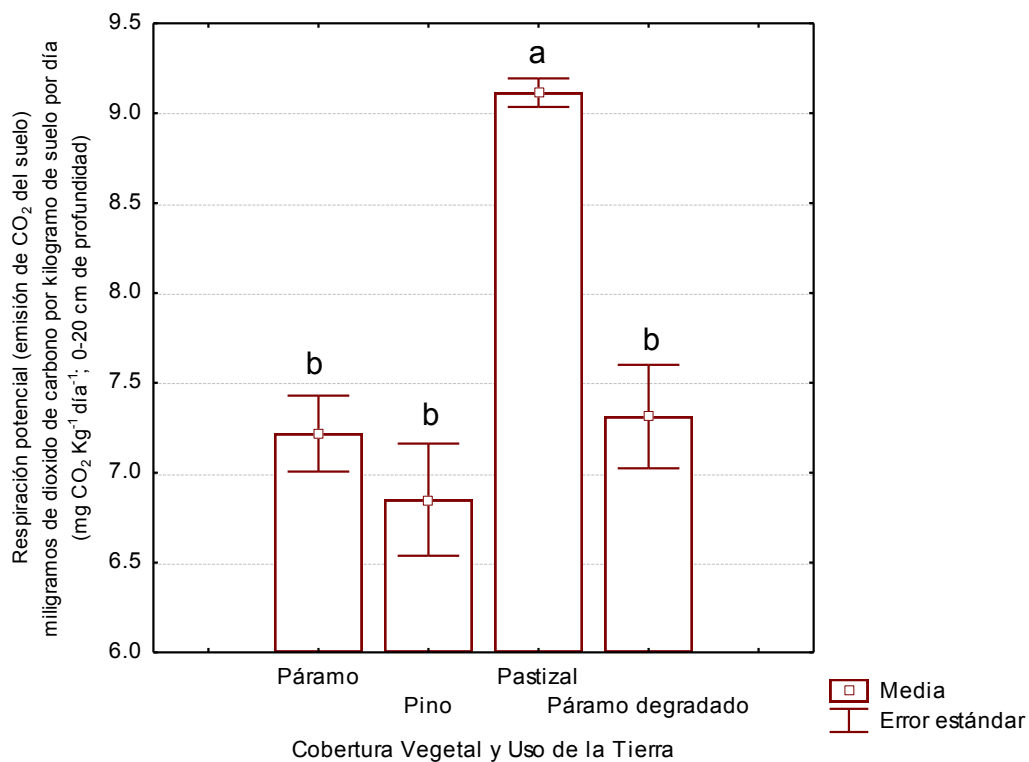


Figura 4.2.24.5. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Chimborazo. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

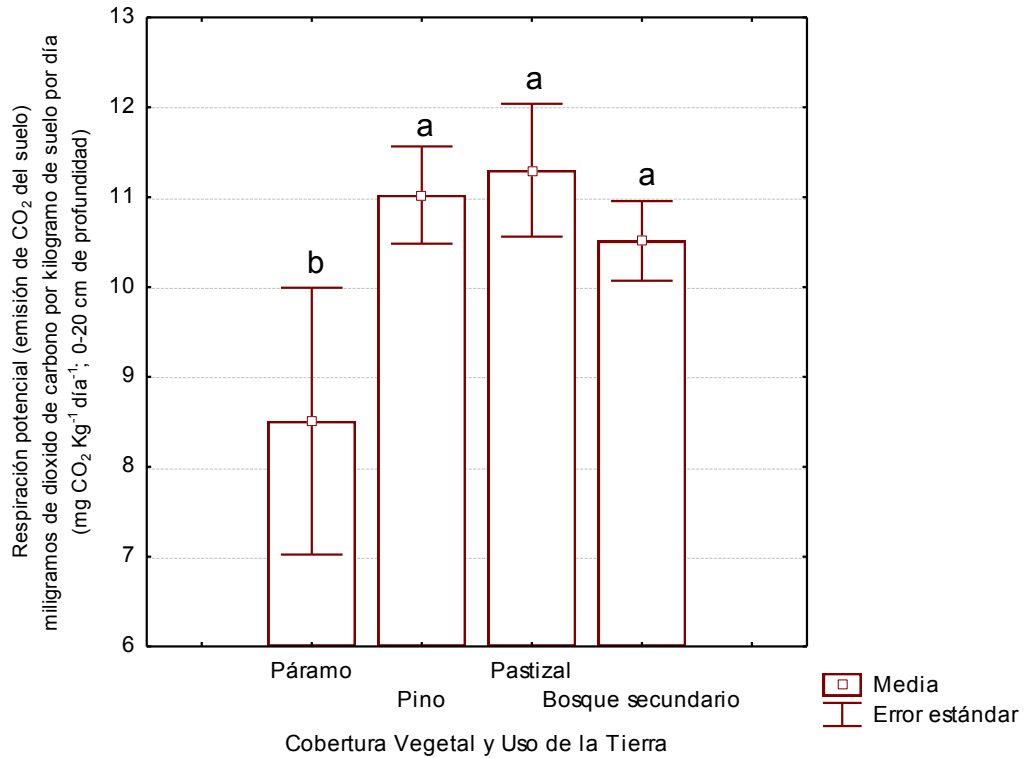


Figura 4.2.24.6. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT en la zona del Cajas. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

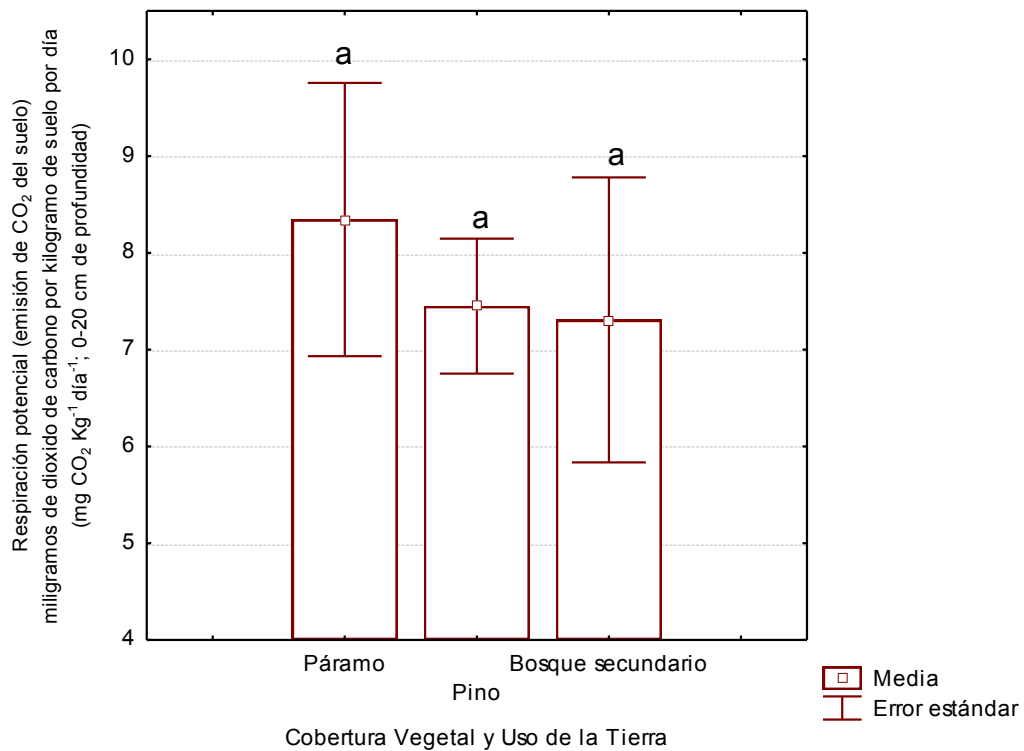


Figura 4.2.24.7. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Oña-Yacuambi. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

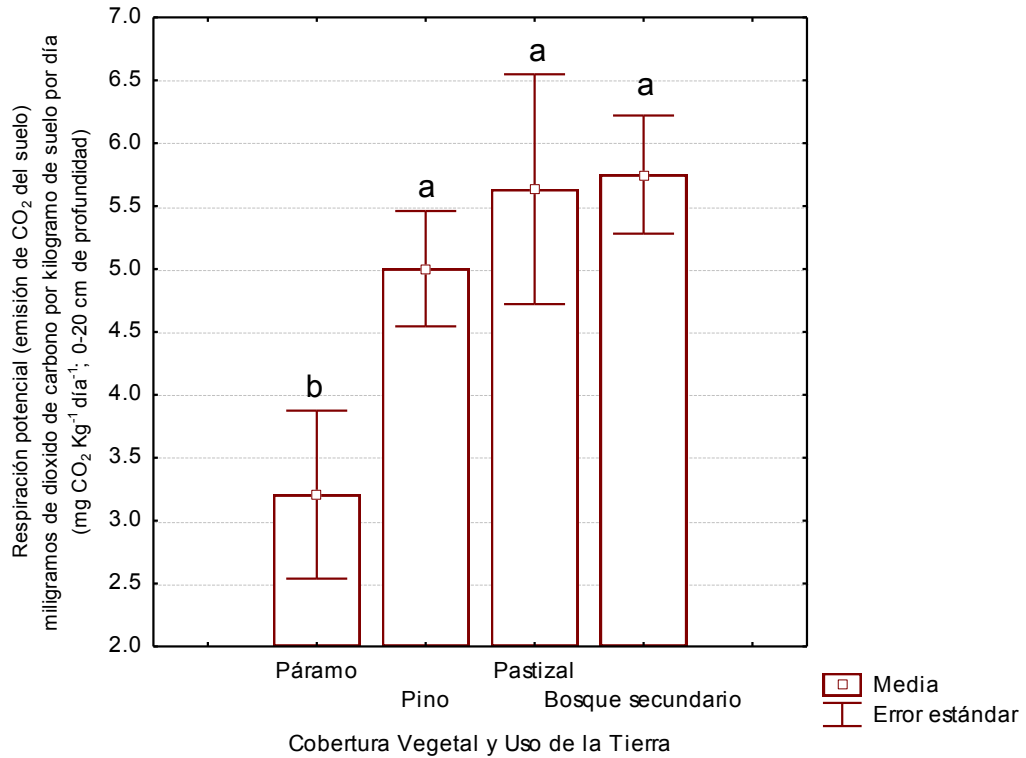


Figura 4.2.24.8. Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT en la zona de Loja. Las letras indican diferencias específicas entre CVUT. La barra (I) indica el error estándar.

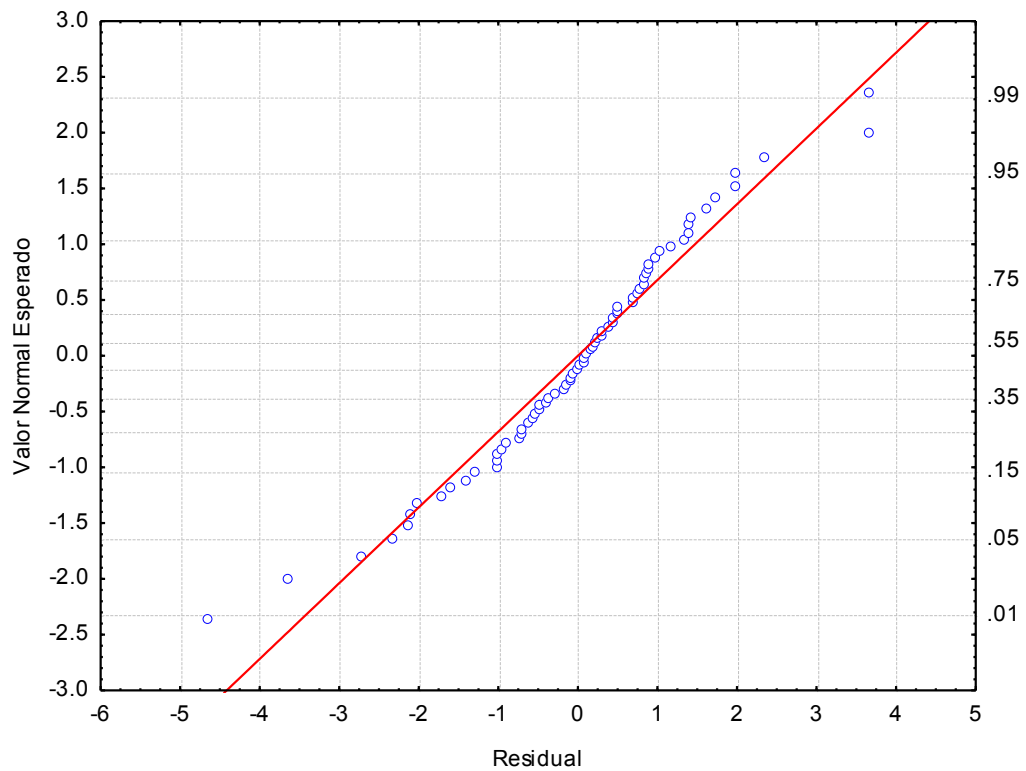


Figura 4.2.24.9. Probabilidad de distribución normal de los datos de Respiración potencial (emisión de CO<sub>2</sub>) del suelo bajo diferente CVUT. Valores correspondientes a la estación seca.



## **CAPITULO V: DISCUSIÓN**



### 5.1. Cambios de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra (CVUT), Zona de estudio y MOS (%)

El principal factor que influyó sobre el contenido de MOS (%) fue la Zona de estudio; sin embargo, la CVUT también tuvo efectos fuertemente significativos sobre la MOS, con un patrón diferente en cada zona. Las diferencias de MOS (%) entre cada una de las Zonas fueron significativas, es decir, no existieron dos zonas con igual porcentaje. De mayor a menor el porcentaje promedio de MOS varió significativamente de la siguiente forma:

Cajas (33,5 %) > El Ángel (27,5 %) > Oña-Yacuambi (22,1 %) > Loja (15,4 %) >  
Chimborazo (9,8 %) > Cotopaxi (4,2 %).

La clasificación de la *USDA* (2014) reconoce que cuando aparecen características ándicas (como es el caso) es muy arbitraria la separación entre horizontes orgánicos (*O*) y minerales (*A*); admite incluso que pudieran existir capas orgánicas labradas (es decir, horizontes *A<sub>p</sub>* de epipedón hístico si existe un contenido de, al menos, 27,6 % de MOS); por tanto, no tiene mucho sentido seguir tales criterios al no ser objetivos. De acuerdo únicamente al contenido de MOS los horizontes de suelos del Cajas, Ángel, Oña-Yacuambi y Loja, examinados en la presente investigación (-20 cm de profundidad) se podrían considerar como hísticos (horizonte *O*), incluso por los requisitos de humedad que se señala en la citada clasificación norteamericana; los horizontes de suelo del Chimborazo podrían ser considerados como horizontes de epipedón melánico que se caracterizan por un 10,3 % o más de contenido de MOS con una de profundidad de -30 cm; mientras que, los horizontes de suelo de Cotopaxi se podrían considerar como horizontes de epipedón úmbrico, que se caracterizan por una profundidad de hasta -25 cm con un 4,3 % o más de contenido de MOS, con un complejo de cambio desaturado.

En el sitio del Cajas se encuentran los más altos contenidos de MOS dado que tiene las mejores condiciones para que esto ocurra: a) Formaciones geológicas ricas en minerales meteorizables (ricos en Fe, como lo son la Tarqui-Turi; Hungerbühler *et al*, 2002), habiendo recibido, además, materiales eólicos (Harden, 2007); b) Alta pluviometría anual (1.200 mm a<sup>-1</sup>; Ulloa *et al*, 2004); y c) Escasa erosión (Buytaert *et al*, 2008). El contenido de MOS determinado en esta investigación para los sitios de la zona del macizo Cajas (31,9 a 38,5 %), fue similar y está dentro el rango de medidas de MOS reportadas para esta misma zona en otros sitios de estudio cercanos, de 30 a 50 % (Quinteros *et al*, 2012) o de 26,7 a 46,8 % (Quichimbo *et al*, 2015).

En la zona del Cajas se encontró diferencia significativa en el contenido de COS entre sitios bajo Páramo y bajo las demás CVUT adyacentes; ello sugiere que los sitios bajo



Pastizal, Pino e, incluso, bajo Bosque secundario (sucesión temprana) se encuentran sobre lugares que han sido previamente afectados. Esta diferencia (de 6 a 8 %) puede dar una idea de la cantidad de COS que se ha perdido por la conversión de sitios naturales a sitios intervenidos por el ser humano. Esta pérdida de MOS implicaría también pérdida de servicios ambientales y mayor producción de CO<sub>2</sub>.

A pesar de la alta variabilidad del material parental y la topografía en la zona del Cajas los suelos se caracterizan por una notable homogeneidad en las propiedades fisicoquímicas (Bech *et al*, 2002; Buytaert *et al*, 2006); se han clasificado de estos suelos como *Hydric Melanudands* (Poulenard *et al*, 2003) o como *Andosoles* hídricos e *Histosoles* dísticos desprovistos de alófanos y con cantidades muy altas de MOS (Buytaert *et al*, 2007).

Por su parte, los sitios de la zona del Ángel ocupan el segundo lugar en cuanto a mayor contenido de MOS (%). Esta zona también presenta buenas condiciones para que se acumule la MOS: La geología se caracteriza por presentar altos contenidos de minerales alofánicos (Poulenard *et al*, 2003; Jansen *et al*, 2006), alta pluviometría anual (aunque inferior a las del Cajas; 973 mm a<sup>-1</sup>; INAMHI, 2016) y, además, esta zona lleva más de tres décadas en recuperación (Moscol-Oliviera, 2010; MAE, 2015). El contenido de MOS determinado en este estudio para la zona del Ángel (14 y 34 %) está dentro de los rangos reportados para sitios de estudio de esta zona en sitios cercanos, de 17 a 19 % según Villarroel-Herrera (2015) y del 36,5 % según Poulenard *et al* (2003).

En la zona del Ángel el mayor contenido de COS bajo los sitios de Páramo y de Pino en relación con los sitios adyacentes de Pastizal y Bosque secundario (sucesión temprana) da una idea de la disminución de MOS (de -12 a -19 %) que han sufrido estos ecosistemas, siendo consistente con los resultados de Villarroel-Herrera (2015), quien también encuentra mayores contenidos de MOS en los sitios de Páramo que en los adyacentes intervenidos.

También los sitios de Oña-Yacuambi presentan altas cantidades de MOS, principalmente debido a que esta zona (en relación con las demás) presenta la mayor cantidad promedio de lluvia anual (1429 mm a<sup>-1</sup>; INAMIHI, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011 y 2012), a que están bien conservados (MAE y GIZ s/a; MAE *et al.*, 2009) y a que tienen buen contenido de minerales de arcilla (IGM, 1982). El contenido de MOS determinado en esta investigación para esta zona (15 a 29 %) está dentro de los rangos reportados para otros lugares cercanos, siendo éstos 18 % para sitios bajo Páramo (IEE, 2013i) y entre 44 a 47 % para sitios bajo bofedales (o vegetación arbustiva hidrofítica; Villarroel, 2010).

En Oña-Yacuambi sorprendentemente los sitios bajo Páramo fueron los que presentaron las menores cantidades de MOS, mientras que los sitios bajo Bosque secundario (sucesión tardía) las mayores. Esto posiblemente ocurre debido a que el estrato inferior del bosque está conformado por especies hidrofíticas que son propias de los bofedales. Los bofedales son comunidades vegetales caracterizadas por altos contenidos de MOS y son dominantes en esta zona (Villarroel, 2010), en donde también los suelos han sido clasificados como Histosoles (IGM, 1982). Por su parte, la mayor cantidad de MOS en los sitios bajo Pino (en relación con los de Páramo) posiblemente también se debe a que los árboles de Pino se encuentran plantados sobre bofedales donde además también existen otras especies arbustivas nativas. En este contexto, tomando como referencia el Bosque secundario, se sugiere que el cambio de CVUT hacia plantaciones de Pino o hacia Páramo podría producir una disminución del -7 % del contenido de MOS, tal y como se observó en los resultados de este trabajo.

Los suelos de Oña-Yacuambi corresponden a los que se desarrollan sobre la Cordillera oriental sur (IGM, 1982), la cual se caracteriza por materiales relictos del Terciario, regolito altamente degradado formado en condiciones tropicales húmedas antes del levantamiento andino (Formación Zamora de 400 millones de años). Contienen caolinita y gibsita y se convierten en *Histosoles*, no soliendo acumular significativamente complejos organometálicos (Buytaert *et al*, 2006).

Los sitios de la zona Loja presentan cantidades intermedias en porcentaje de MOS; es decir, no son tan altas como las zonas de Cajas o el Ángel, pero son considerablemente mayores que el contenido de MOS de Chimborazo y Cotopaxi. Esto es resultado de la combinación de los factores que confluyen en este lugar: a) es un área que tiene pocos años de recuperación (12 años; Piedra *et al*, 2016), es decir, posiblemente todavía siguen persistentes los efectos de sus perturbaciones (principalmente pastoreo e incendios; Ochoa *et al*, 2008); b) se encuentra a menor altitud (500 m aprox. en relación a las demás), por lo que la temperatura es más cálida (16,1 %; INAMHI, 2016), lo cual favorece la mineralización (y no la acumulación); pero, sin embargo, c) la zona se caracteriza por tener elevadas cantidades de arcilla (entre 19 a 29 % según los datos determinados en esta investigación, 25 % según Ochoa-Cueva *et al*, 2013 y entre 28 y 34 % según los datos del IEE (2013f; 2013g y 2013h). El contenido de MOS determinado en este estudio para esta zona (13 y 18 %) es cercano pero mayor al rango de valores reportados por otras investigaciones para sitios de esta misma zona, de tan sólo 2 % bajo sitios degradados y del 13 % en sitios mejor conservados (Ochoa-Cueva *et al*, 2013) y de 9 y 10% (IEE, 2013f; IEE, 2013g; IEE, 2013h).

En la zona de Loja los sitios bajo Páramo y Bosque secundario (sucesión temprana) presentaron significativamente mayor porcentaje de MOS que los sitios bajo Pastizal, lo cual sugiere que, a pesar de que (en general) los sitios de esta zona están en muy antropizados, los sitios bajo Páramo y Bosque secundario guardan mejores condiciones y dan una idea también de cómo afecta la CVUT de Pastizal. Según los resultados de esta investigación la conversión de sistemas naturales a pastizales implicaría una pérdida de al menos un 4 % de MOS. Estos resultados son consistentes con los resultados de Ochoa-Cueva *et al* (2013), quienes evidencian en esta misma zona, una considerable pérdida de suelo (expresado en suelo seco, SS) por erosión en sitios bajo Pastizal ( $936 \text{ Mg SS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), mayor que la que ocurre en sitios con cobertura vegetal nativa (de  $1,5$  a  $40 \text{ Mg SS ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ).

Los suelos se desarrollan sobre una cuenca sedimentaria con basamento de roca metamórfica y se han clasificados como *Entisoles* (Ochoa-Cueva *et al*, 2008). Se caracterizan por tener una textura franca, con un buen contenido de minerales de arcilla (del 30 al 50 %; INERHI *et al*, 1994); pertenecen principalmente al Orden *Udorthents*.

Los sitios de la zona del Chimborazo forman parte del grupo de ecosistemas Alto-Andinos que tienen menores cantidades de MOS en relación a los sitios de las demás zonas de estudio, esto es consistente principalmente en que tienen una formación geológica relativamente reciente (Altar y Latacunga, de 2,5 a 1,5 millones años; IGM 1982), menor promedio de lluvia anual ( $660 \text{ mm a}^{-1}$ ; INAMHI, 2016), un historial de fuertes perturbaciones antrópicas caracterizado por incendios, cultivos de papa y cría de ganado vacuno y ovino (Samaniego y Romero, 2012; Castro, 2016) y, además, con la implementación intensiva de cría de camélidos (llamas, vicuñas y alpacas) realizada en estos últimos 30 años (MAE, 2016); por tanto, denotan la degradación pertinente.

El contenido de MOS determinado en esta investigación para esta zona (4 a 22 %) es consistente con el rango de valores reportados para otros sitios de esta misma zona de estudio (de 2 a 7 % según el I.E.E., 2012a; 2012b; 2012c; 2012d; y de 8 a 17 % según Cunalata *et al*, 2013). En esta zona, excepcionalmente, los suelos bajo Pastizal tuvieron mayor contenido de MOS; es muy probable que esto se deba a que un 17,7 % de la zona (microcuenca del río Chimborazo) tiene suelos del tipo *Histosol* (MAGAP, 2012) y al hecho de que haya sido una práctica común establecer pastizales con diferentes variedades de *rye-grass* (*Lolium sp.*) sobre sitios con las mejores condiciones visuales del suelo (Muñoz-Jácome *et al.*, 2015). Por otra parte, en un lugar tan antropizado como éste también es posible apreciar un efecto de la CVUT sobre el contenido de MOS; tal es así que los sitios bajo Páramo visualmente

degradado tuvieron un -2,2 % menos de contenido de MOS que los sitios adyacentes bajo Páramo y bajo Pino.

Los suelos de la zona húmeda del Chimborazo se caracterizan por poseer un horizonte *cámbico* o un epipedón *úmbrico*, siendo clasificados como *Andosoles* vítricos, concretamente como *Vitrands*, comúnmente *Humic Udivitrands* o *Humic Vitricryands* (IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE, 2012c; IEE, 2012d).

Por último, los sitios de la zona del Cotopaxi son los que menor contenido de MOS presentaron en relación a todas las demás zonas de estudio; ello es consistente con el hecho de que las formaciones geológicas de esta zona son extremadamente jóvenes (Cangahua y Cotopaxi, de 1 a 0,6 millones años; IGM, 1982), con el menor contenido de arcillas (5 % según los resultados de este estudio; es decir, un -2 % menos que la zona de Chimborazo), con un menor promedio de precipitación anual en relación a las demás (500 mm a<sup>-1</sup>; INAMHI, 2016) y con constante actividad volcánica actualmente, emitiendo flujos de diversos materiales (principalmente cenizas; Mothes *et al*, 1988; Sánchez *et al*, 2018), lo cual está perturbando e interrumpiendo a cada erupción la evolución de estos suelos. Además de ello, se conoce que desde 1532 el Cotopaxi ha presentado al menos 13 períodos de actividad (destacándose las erupciones de 1742-1744, 1768 y 1877), con la consecuencia de que por la microcuenca del río Cutuchi (donde se encuentran los sitios de estudio) han ocurrido 11 flujos laháricos (INAMHI *et al*, 2004).

El contenido de MOS determinado en esta investigación para los sitios de esta zona del Cotopaxi (3,5 a 4,6 %) está dentro de los rangos reportados para otros sitios de esta misma zona en suelos similares y formación geológica Cangahua (1 % según el MAE, 2010; y de 4 a 9 % según IEE, 2013a; IEE, 2013b; IEE, 2013c; IEE, 2013d; IEE, 2013e). En los sitios de este estudio no se vio un efecto significativo de la CVUT sobre el contenido de MOS, sin embargo, en términos de cantidad absoluta de COS los sitios bajo Pino presentaron significativamente mayor cantidad (20 Mg C ha<sup>-1</sup>) más que los sitios bajo Páramo. Esto sugiere que la plantación de Pinos en sitios con estas características podría favorecer una mayor acumulación de COS.

Es pertinente indicar que, a diferencia del estudio también realizado en los alrededores del Cotopaxi de Farley y Kelly (2004; donde encuentran mayor MOS en sitios bajo Páramo que en sitios bajo Pino), en la presente investigación los sitios de estudio de Páramo y Pino no estuvieron sobre suelos *Cryands* y *Udands*, sino sobre suelos algo menos evolucionados, como son los *Troporthents* (*Entisoles*) y *Vitrandepts* (*Inceptisoles*).

En general, se pudo observar (tal como pasa a nivel nacional; Fig. 5.1. y Tabla 5.1.) que los sitios bajo CVUT de vegetación nativa (Páramo y Bosque montano) tienen mayores cantidades de MOS que los sitios bajo otras CVUT (con excepción de las turbas): Por tanto, los resultados de este trabajo sugieren que el cambio del Páramo hacia otros usos, así como la perturbación de bosques maduros a secundarios, estarían provocando grandes pérdidas de MOS. Esto coincide con los resultados de las investigaciones realizadas en diferentes partes de los Andes ecuatorianos por Chapela *et al* (2001), Podwojewski *et al* (2002), Farley y Kelly (2004); Farley *et al* (2004); Henry *et al* (2012) y Potthast *et al* (2012).

Por su parte, otros estudios también recientes (Buytaert *et al*, 2007; Chacón *et al*, 2009; Hamer *et al*, 2013; Cargua *et al*, 2014) realizados para evaluar el efecto de la CVUT (plantaciones, pastizales y cultivos) no encontraron diferencias significativas de contenido de MOS asociadas a la conversión de los ecosistemas nativos. Esta aparente baja vulnerabilidad de la MOS frente a los cambios de CVUT, según Buytaert *et al* (2007), podría deberse a los altos contenidos de complejos Al-Fe presentes en varias zonas de los Andes sur y a la joven edad de las actividades antrópicas y sus limitados impactos; mientras que para Chacón *et al* (2009) podría ser por el hecho de que en algunas zonas andinas las perturbaciones históricas son más significativas que las perturbaciones recientes. Sin embargo, estos estudios analizaron el efecto de la CVUT únicamente sobre la materia orgánica total (Chacón *et al*, 2009), y podría ser, tal como se ha evidenciado en varias investigaciones realizadas en diferentes ecosistemas del mundo (Stine y Weil, 2002; Holey y Murphy, 2007; Lozano *et al*, 2011), que los efectos a corto plazo estén ocurriendo primero en las fracciones lábiles de la MOS.

El mayor contenido de MOS en los sitios bajo la CVUT de Páramo es consistente con los diferentes valores de productividad reportados para los ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador; por ejemplo, en sitios de Páramo de los Andes centrales se ha estimado una productividad primaria de biomasa aérea de 4,3 a 5,1 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Ramsay y Oxley, 2001), la cual es mayor que las reportadas para lugares Alto-Andinos en diferentes zonas del país con otras CVUT, como son de 2,0 a 3,0 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> para plantaciones de Pino (*P. patula* y *P. radiata*) de entre 5 y 25 años a lo largo de toda la región Andina (Jara *et al*, 2001; Hofstede y Aguirre, 1999), de 2,6 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> para Bosques de *Polylepis* en la zona del Cajas (Montalvo *et al.*, 2018); de 3,0 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> para bosques de *Alnus*, de 2,0 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> para Bosques de *Polilepys* y de 1,0 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> para Bosques montanos andinos mixtos (todos estos en la zona norte-centro; Hofstede y Aguirre, 1999); y de 0,7 a 1,1 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> para Bosque montano secundario en los Andes centrales (Ramsay y Oxley, 2001). Los únicos

lugares Alto-Andinos reportados con mayor productividad que el Páramo son sistemas agrícolas de producción intensiva (cereales y papas) también de la zona centro (15,4 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>; Ramsay y Oxley, 2001). Sin embargo, en todos los lugares andinos examinados en esas investigaciones no es conocido el balance entre el C que ingresa y que sale del sistema (producción, erosión y respiración).

Tabla 5.1. Efecto de la CVUT sobre el porcentaje de MOS en los Andes de Ecuador ( $n = 1005$ )

| <b>Efecto</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Grados libertad</b> | <b>Media suma cuadrados</b> | <b>F</b> | <b>p</b>  |
|---------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|----------|-----------|
| CVUT          | 35000                    | 16                     | 2187                        | 38       | <0,001*** |
| Error         | 60936                    | 1054                   | 58                          |          |           |

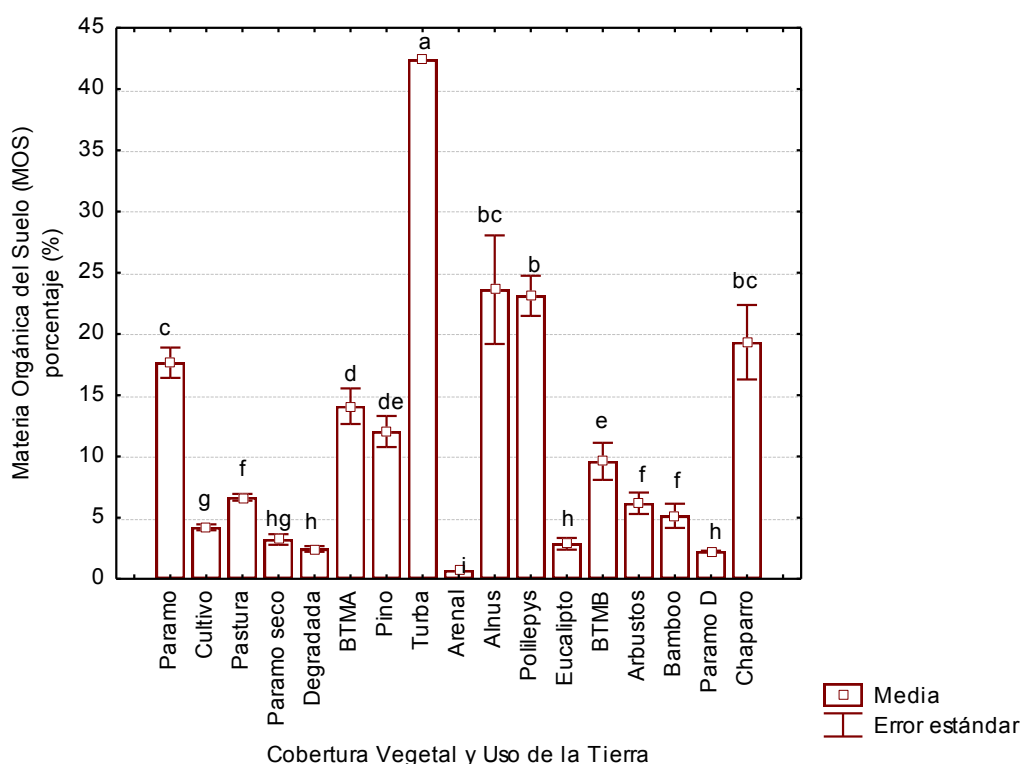


Figura 5.1. MOS bajo diferente CVUT en los Andes de Ecuador ( $n=1005$ ). BTMA es Bosque Tropical Montano Alto y BTMB es Bosque Tropical Montano Bajo (*Anova* realizado por el presente estudio con datos del I.E.E. y otros autores que se indican en la sección de métodos de este documento).

## 5.2 Humedad porcentual gravimétrica del suelo, estación climática, zona de estudio, MOS y CVUT

La humedad porcentual gravimétrica del suelo, incluso en la estación seca, fue elevada en la mayoría de las zonas de estudio. El principal factor que influyó en ella fue la Zona de estudio; esto claramente fue debido a la cantidad y distribución de las lluvias en cada lugar, lo cual es fundamental, dado que, a su vez, influye netamente en la acumulación de MOS no sólo por la menor productividad vegetal, sino que también bien por ser la humedad edáfica limitante o porque la anaerobiosis que ocasiona una alta humedad (Gallardo, 2016).

El menor porcentaje de humedad gravimétrica del suelo ocurrió en las zonas donde existe menor cantidad de lluvia anual, como son las zonas de Cotopaxi (500 mm a<sup>-1</sup>; INAMHI, 2016) y Chimborazo (660 mm a<sup>-1</sup>; INAMHI, 2016). Por su parte, en las zonas donde el promedio de lluvia anual es más alto (como Oña-Yacuambi, 1429,22 mm a<sup>-1</sup>; INAMIHI, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012) existió también mayor porcentaje de humedad gravimétrica del suelo. En las zonas del Cajas, Loja y el Ángel, que tienen también altos promedios de lluvia anual, el porcentaje de humedad gravimétrica fue también alto.

Es claro que la humedad edáfica en la temporada seca no es una limitante para algunos de estos suelos (Oña-Yacuambi, Loja, el Ángel y Cajas). Por el contrario, la sequedad durante alguna estación (que debería ser húmeda) para los sitios de Chimborazo y Cotopaxi puede tener efecto importante sobre la dinámica de los nutrientes en esos ecosistemas.

La CVUT también ocasiona un efecto significativo sobre la humedad de suelo; en los resultados de este estudio, en general, los sitios bajo Páramo presentaron mayores contenidos de humedad gravimétrica del suelo (sobre todo en relación a los sitios bajo Pino) en las dos estaciones climáticas para la mayoría de zonas (Ángel; Cotopaxi, Chimborazo, Cajas, y Loja); estos resultados son consistentes con varias investigaciones realizadas en los Andes ecuatorianos, donde se ha evidenciado una disminución de hasta el 70 % del contenido de agua en suelos bajo la CVUT de Pino en relación con los suelos bajo la CVUT de Páramo (Farley *et al*, 2004; Buyatert *et al*, 2008; Crespo *et al*, 2010) y con otros estudios donde se ha intervenido sitios de praderas con plantaciones forestales (Bosch y Hewlett, 1982; Farley *et al*, 2005; Adams y Fowler, 2006).

Por su parte, el hecho de que los Bosques montanos de Oña-Yacuambi y los Pastizales de Chimborazo y Loja hayan tenido altos contenidos de humedad porcentual del suelo coincide también con los resultados de Crespo *et al* (2010) y las reflexiones realizadas para los ecosistemas Alto-Andinos del Cajas por Buytaert *et al* (2008); en estas investigaciones se explica que los Bosques nativos Alto-Andinos, a diferencia de las plantaciones forestales, tienen varios mecanismos de conservación del agua; mientras que los Pastizales, dependiendo

de la densidad de pastoreo, no llegan a presentar más de un 15 % de disminución de humedad gravimétrica del suelo.

Existe una fuerte correlación significativa entre la MOS y la humedad del suelo, tanto para la temporada seca ( $\beta = 0,4$ ;  $F = 10,13$ ;  $p > 0,001^{***}$ ; Fig. 5.2.) cómo para la temporada lluviosa ( $\beta = 0,8$ ;  $F = 104$ ;  $p > 0,001^{***}$ ; Fig. 5.2.).

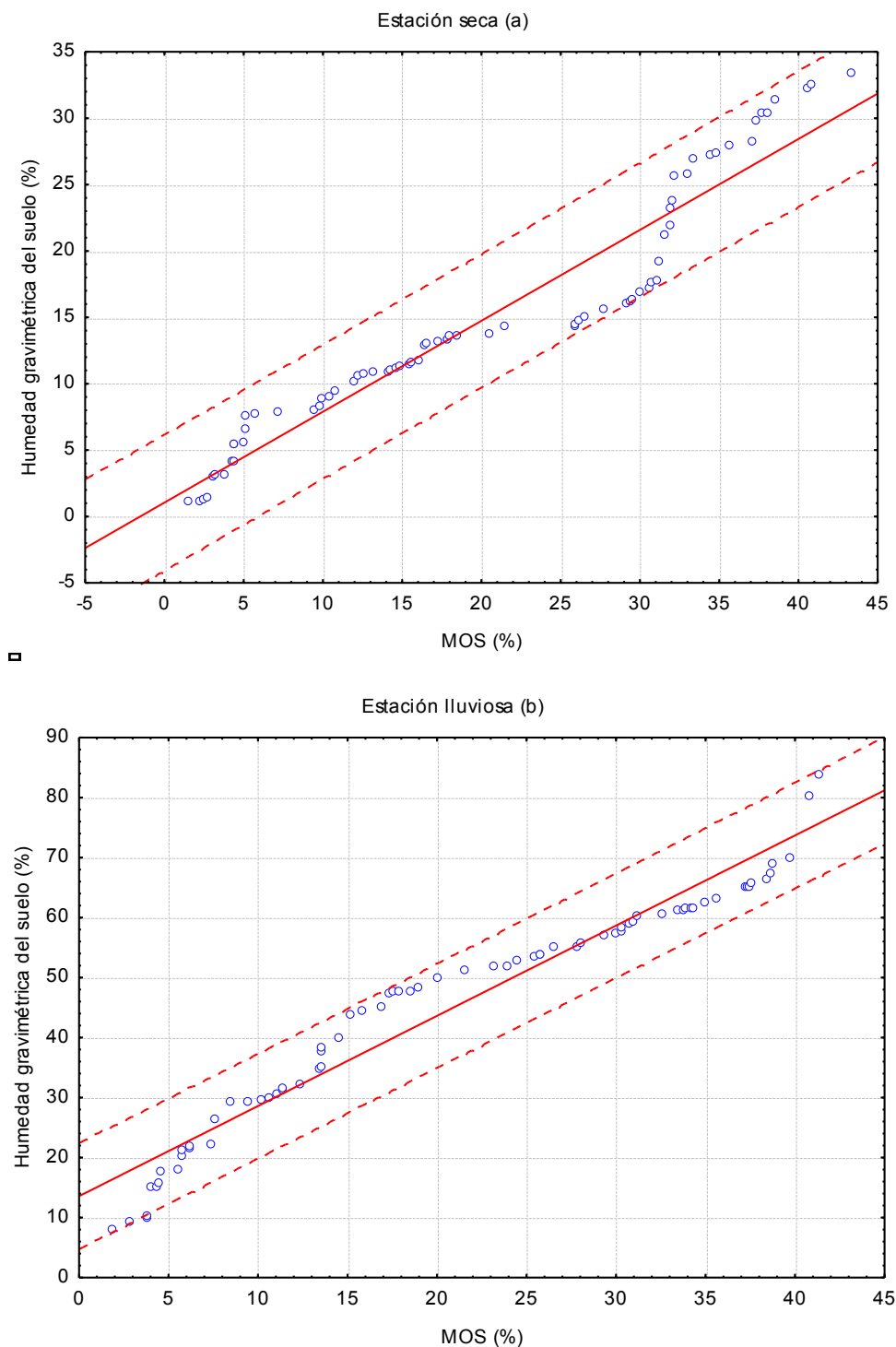


Figura 5.2. Correlación entre el contenido de MOS (%) y la humedad gravimétrica del suelo (%). Estación seca (a) y estación lluviosa (b).



### 5.3. Textura del suelo, zona de estudio y CVUT

El principal factor que afectó la variable textura del suelo fue la zona de estudio; sin embargo, la CVUT también tiene efectos significativos sobre la textura.

El mayor contenido de arena en las zonas de Cotopaxi, Chimborazo y Oña-Yacuambi es consistente con las formaciones geológicas de cada zona. La zona de Cotopaxi tiene mayor contenido de arenas, debido a que son suelos con pocos años de evolución y a que están desarrollados sobre formaciones geológicas extremadamente jóvenes caracterizadas por el contenido de material proclítico y partículas con tamaños grandes (Cangahua y Cotopaxi de 1,0 a 0,6 millones años; IGM, 1982). El contenido de arenas determinado en esta investigación para la zona de Cotopaxi (69 – 76 %) es similar al reportado por el I.E.E. (54 a 74 %; IEE, 2013a; IEE, 2013b; IEE, 2013c; IEE, 2013d; IEE, 2013e). De igual manera ocurre con la zona del Chimborazo; los suelos se han desarrollado sobre formaciones geológicas jóvenes (aunque no tanto como las de Cotopaxi), las cuales se caracterizan por presentar materiales volcánoclasticos de gran tamaño (Altar y Latacunga; 1982). También el porcentaje de arenas determinado en esta investigación para esa zona (63 a 88 %) es similar al reportado por el I.E.E. (48 a 64 %; IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE, 2012c; IEE, 2012d). Los suelos de la zona de Oña-Yacuambi también tuvieron un alto contenido de arena debido a que la formación geológica, aunque no es joven, se caracteriza por tener también altos contenidos de partículas de gran tamaño (IGM, 1982). No obstante, esta zona presentó elevados contenidos de MOS debido a que también tiene minerales de arcilla, pero sobre todo por el hecho de que es la zona que tiene mayor promedio de lluvia anual,

Las zonas con el mayor contenido de arcillas fueron las zonas de Loja, Cajas y el Ángel, debido a que las formaciones geológicas de estas zonas se caracterizan por presentar mayor cantidad de arcillas, sean de tipo alófana o no (Bartoli *et al*, 2007; Buytaert *et al*, 2007; Poulénard *et al*, 2003). Además de ello, son zonas que tienen una edad geológica mayor a las zonas de Cotopaxi y Chimborazo. Los contenidos de arcillas determinados en esta investigación para esas zonas de estudio son similares a los reportados por otras investigaciones: Loja (19 a 29 % este estudio y de 24 a 34 % por el IEE, 2013f; IEE, 2013g; IEE, 2013h), el Ángel (11 a 16 % en este estudio y de 15 a 24 % por el IEE, 2014a; IEE, 2014b; IEE, 2014c; IEE, 2014d), Cajas (14 a 18 % en este estudio y 16 a 32 % de Buyatert *et al*, 2005).

En función de la textura del suelo se espera que los sitios con mayor contenido de arcillas tengan también mayores contenidos de MOS y mejores condiciones de otros parámetros edáficos (como son el contenido de nutrientes y la fertilidad del sistema; Shand,

1979; Martínez *et al*, 2008; Gallardo, 2016). Por lo tanto, es consistente que los sitios de Loja, el Ángel y Cajas tengan mayores cantidades de MOS, tal como indicaron los resultados del presente estudio.

Por su parte, las CVUT que mantienen mayores cantidades de arcillas en cada zona de estudio tienen también mejores condiciones de MOS y parámetros relacionados; ello sucede particularmente en los sitios bajo la CVUT de Páramo en las zonas del Ángel, Chimborazo y Loja. En la zona del Cajas hubo apreciable cantidad de arcillas; sin embargo, no existieron diferencias motivada por la CVUT.

#### **5.4. Densidad aparente del suelo, zona de estudio y CVUT**

El principal factor que influyó significativamente en la densidad aparente del suelo ( $D_{ap}$ ) fue la zona de estudio, siendo la zona del Cotopaxi la que presentó los mayores valores y la zona del Ángel los menores. La  $D_{ap}$  también estuvo asociada a la CVUT en todas las zonas con excepción de la del Cotopaxi.

Los suelos bajo Bosque secundario y Páramo presentaron de manera significativa las menores  $D_{ap}$  en las zonas del Ángel, Cotopaxi, Chimborazo y Loja; ello se debe a la mayor cantidad de MOS que presentaron esas clases de CVUT en esas zonas de estudio. Estos resultados fueron consistentes con el análisis de metadatos de todos los Andes ( $n = 493$ ;  $f = 20,54$ ;  $p < 0,001^{***}$ ; Fig. 5.3.), en el cual también se muestra que, a nivel de toda la región las CVUT de Páramo y de Bosques secundarios (*Boque tropical montano alto*, *Bosque tropical montano bajo*, *Alnus* y *Polilepys*), son las que tuvieron menores  $D_{ap}$ ; recuérdese que esas clases de CVUT son las que tiene mayor contenido de MOS, la cual promueve la formación microporos, los cuales reducen la  $D_{ap}$  (Galantini *et al*, 2006; Martínez *et al*, 2008).

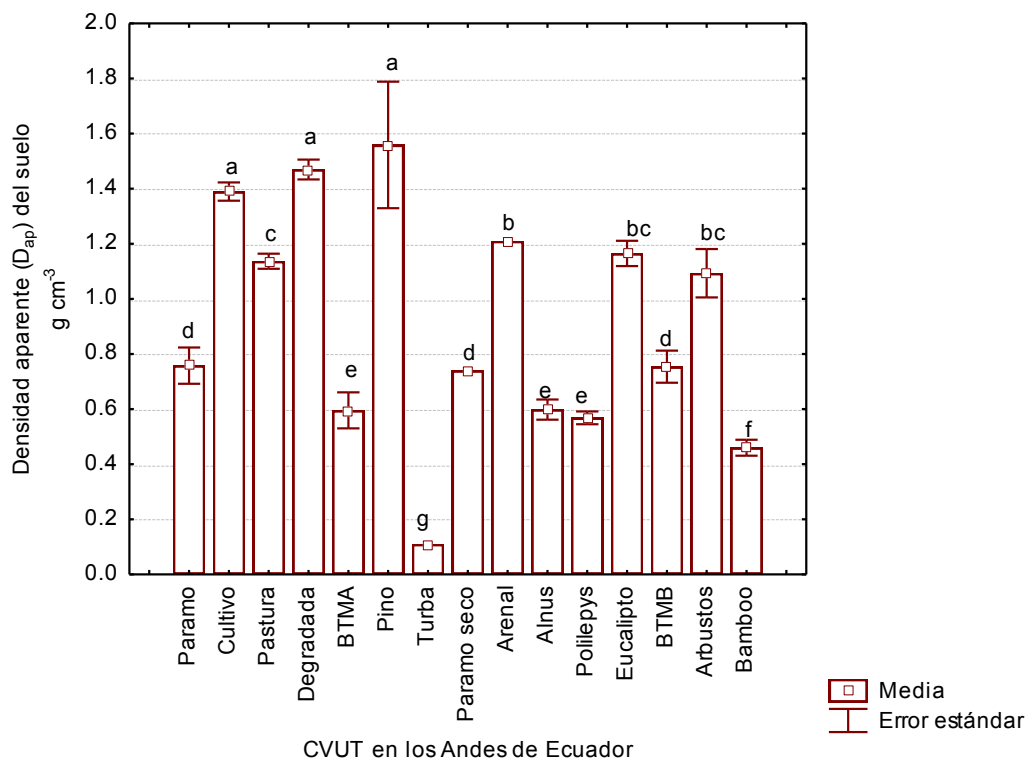


Figura 5.3. Densidad aparente del suelo por tipo de CVUT en los Andes de Ecuador ( $n = 493$ ). BTMA es Bosque Tropical Montano Alto y BTMB es Bosque Tropical Montano Bajo. (Anova realizado por el presente estudio con datos del I.E.E. y otros autores que se indican en la sección de métodos de este documento).

En las zonas de Chimborazo, Cajas y Oña-Yacuambi no se encontraron efectos significativos de la CVUT en relación con la  $D_{ap}$ . En el Chimborazo se podría considerar que en todas las situaciones los suelos estuvieron igual de degradados, mientras que en el Cajas y Oña-Yacuambi tuvieron buenas condiciones edáficas bajo todas las CVUT, de acuerdo con los contenidos de la MOS.

Los valores observados para cada de zona de estudio, como se describe a continuación, son consistentes con los rangos reportados por diferentes investigaciones para cada lugar.

En la zona del Ángel los muy bajos valores obtenidos de  $D_{ap}$  del suelo ( $0,48$  a  $0,85$  g cm<sup>-3</sup>) son similares a los reportados para esta zona de estudio de, por ejemplo, Tonneijck *et al* (2010;  $0,38$ ,  $0,43$ ,  $0,45$  y  $0,67$  g cm<sup>-3</sup>), Moscol y Cleef (2009; valores inferiores a  $0,85$  g cm<sup>-3</sup>), o el I.E.E. (2014a; 2014b; 2014c; 2014d;  $0,37$  a  $0,41$  g cm<sup>-3</sup> para Páramo natural). En este sitio el Bosque secundario y el Pastizal presentaron las menores  $D_{ap}$ ; la significativa menor  $D_{ap}$  del Bosque secundario es esperable, ya que tiene mayor producción de biomasa e ingreso de necromasa al suelo. La menor  $D_{ap}$  de Pastizal se debe seguramente a las prácticas de manejo, ya que el suelo estaba recién preparado para la siembra de pasto en el momento de recolectar las muestras.

En la zona de Cotopaxi, las magnitudes del parámetro  $D_{ap}$  de este estudio (1,06 y 1,19 g cm<sup>-3</sup>) fueron similares y estuvieron dentro del rango reportado en los diferentes perfiles del I.E.E. (2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 1,03, 1,11, 1,29 y 1.32 g cm<sup>-3</sup>). El suelo bajo Páramo presentó inferior  $D_{ap}$  que el suelo bajo Pino; esto era de esperar debido a que los sitios con las plantaciones de Pino llevan allí muchos años (más de 50) y, como se pudo evidenciar, se caen constantemente posiblemente porque la textura arenosa edáfica no permite el peso de los árboles adultos y, al ser cimbreados por los vientos, se caen, lo que puede estar indicando la limitación a la formación de buenas estructuras edáficas. Por su parte, los suelos bajo Páramo parecen tener menor cantidad de perturbaciones, lo que probablemente les favorecería a que existan bajos valores de  $D_{ap}$ .

En la zona del Chimborazo, las medidas de  $D_{ap}$  del suelo obtenidas en este estudio (0,84 y 1,00 g cm<sup>-3</sup>) son cercanas al rango de medidas reportadas para esta zona 1,08 y 1,09 g cm<sup>-3</sup> (IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE, 2012c; IEE, 2012d).

Para la zona del Macizo Cajas el rango de  $D_{ap}$  determinado en este estudio 0,70 a 0,81 g cm<sup>-3</sup>, valores también consistentes con las magnitudes reportadas para este lugar por otras investigaciones, a saber, 0,35 y 0,62 g cm<sup>-3</sup> (Quichimbo *et al*, 2012) ó 0,38 a 2,09 g cm<sup>-3</sup> (Buytaert *et al*, 2007).

La  $D_{ap}$  de Oña-Yacuambi estuvo entre 0,69 y 0,71 g cm<sup>-3</sup> y fue bastante superior a las reportadas por Villarroel (2012) para sitios turbosos en este lugar (0,09 y 0,11 g cm<sup>-3</sup>); esto era de esperar porque los sitios de Villarroel tuvieron mayores cantidades de MOS que los sitios del presente estudio.

Finalmente, en la zona de Loja las medidas de  $D_{ap}$  (0,53 y 1,00 g cm<sup>-3</sup>) estuvieron cercanas al promedio reportado para esta zona (1,00 g cm<sup>-3</sup>; IEE, 2013f; IEE, 2013g; IEE, 2013h); como era de esperarse fueron más bajas en los sitios bajo Bosque secundario, debido a que son zonas con buenas cantidades de MOS y, sobre todo, están menos perturbadas por factores físicos y antropozoógenos.

Por lo tanto, en función de los resultados de la  $D_{ap}$  se esperaría que los suelos de las zonas del Ángel, Cajas y Oña-Yacuambi presenten menor erosividad y mejores condiciones de retención de agua y productividad. Por su parte, las zonas de Cotopaxi, Chimborazo y Loja presentarían no tan buenas condiciones de productividad y retención de agua (inferiores a las otras tres zonas), con lo que presentarían mayor erosividad. Mientras que, desde el punto de vista de CVUT, los suelos bajo Bosque y Páramo presentarían las mejores condiciones edáficas.

La  $D_{ap}$ , como es sabido, está asociada con el COS (Lee *et al*, 2009); por tanto, es consistente que los suelos de la zonas del Ángel, Cajas y Oña-Yacuambi y, por otro lado, los suelos bajo las CVUT de Bosque y Páramo hayan presentado las mayores cantidades de MOS.

### **5.5. pH edáfico, estación climática, zona de estudio y CVUT**

Los valores promedio de pH del suelo fueron similares a los reportados por la literatura (Tonnejik *et al.*, 2006; IEE, 2014a, 2014b, 2014c y 2014d; IEE, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d y 2013e; I.E.E., 2012a, 2012b, 2012c y 2012d; Quinteros *et al*, 2013) para las zonas del Ángel, Cotopaxi, Chimborazo y Cajas. Por otra parte, los valores de pH edáficos medidos en esta investigación para las zonas de Oña-Yacuambi y Loja fueron un poco más ácidos que los reportados por otros estudios (Villarroel, 2010; I.E.E., 2013f, 2013g, 2013h).

La Zona de estudio tuvo un efecto muy significativo sobre el pH edáfico. Los suelos más ácidos se encontraron en la zona de Oña-Yacuambi (rango del pH: 3,6 a 4,1) y Cajas (3,9 a 5,5), mientras que los suelos menos ácidos se encontraron en las zonas de Cotopaxi (rango del pH: 4,7 a 6,3) y Chimborazo (4,9 a 6,4). Las zonas del Oña-Yacuambi, Cajas y el Ángel presentaron significativamente mayor acidez posiblemente debido al menor contenido en bases edáficas, lo que es propio de las formaciones geológicas de esas zonas (Jansen *et al*, 2006; Coblenz y Keate, 2008; Villarroel, 2010), lo cual explica la acidez. Por su parte las zonas de Chimborazo y Cotopaxi presentarían menor acidez también debido a la geoquímica natural de los sitios, la cual se caracteriza por actividad volcánica muy reciente y suelos poco evolucionados (con escasos componentes minerales, poco o nada cristalizados, y una relación  $Al_{ox}+1/2 Fe_{ox}$  oscilante entre 0,4 y 2,0 % (Podwojewski y Poulenard, 2011).

Las medidas del pH del suelo obtenidas en esta investigación para la zona del Ángel (4,4 a 5,4) estuvieron dentro del rango de medidas reportadas por Tonnejik *et al* (2006) las más ácidas (3,2 a 4, 2) y en cuanto a las menos ácidas (5,2 a 6,0) por el I.E.E. (2014a; 2014b; 2014c; 2014d). En la zona del Cotopaxi los valores medidos del pH del suelo (5,2 a 6,3) fueron similares a los valores reportados para esta zona (5,8 a 6,3) por el I.E.E. (2013a, 2013b, 2013c, 2013d y 2013e). En el Chimborazo los valores de pH del suelo medidos en este estudio (4,9 a 6,4) fueron similares a los valores de pH reportados para los suelos de esta zona (5,70 a 6, 90) por el I.E.E. (2012a, 2012b, 2012c y 2012d). En la zona del Cajas los valores del pH medidos en esta investigación, 3,9 a 5,5 estuvieron dentro del rango de valores reportados para esta zona de estudio por Quinteros *et al* (2013; 3,8 a 5,8). En la zona de Oña-Yacuambi el rango de los valores de pH medidos por este estudio (3,6 a 4,3) fue más ácido

que el rango de valores previamente reportados para esta zona por Villarroel (2010; 4,9 y 5,1). En la zona de Loja, los valores de pH medidos en esta investigación (3,8 y 4,8) también fueron más ácidos que los reportados para esta zona de estudio por el I.E.E. (2017f; 2017g; 2017h) comprendidos entre 5,3 y 5,6.

El pH varió significativamente con la estación climática, siendo más ácido durante la temporada seca. Si bien en varios estudios se ha visto que existe mayor acidez del suelo en la estación lluviosa por un aumento de biomasa y nutrientes en el suelo, también que la excesiva cantidad de agua (como ocurre en los Andes ecuatorianos) puede provocar la dilución de hidrogenoides y, con ello, disminución la acidez. No existen estudios que examinen el efecto de la estación climática sobre el pH del suelo en los Andes de Ecuador.

El factor anidado CVUT también tuvo un efecto muy significativo sobre el pH del suelo. En las zonas del Cajas, Oña-Yacuambi y Loja los suelos bajo CVUT de Bosque secundario fueron los que presentaron mayor acidez en la temporada seca, mientras que en las zonas del Ángel, Cotopaxi y Cajas los suelos bajo Pino fueron más ácidos en la temporada lluviosa; ello se debe a que los suelos bajo Pino tienen menores cantidades de agua en el suelo, por lo cual no llegan a tener la dilución de los hidrogeniones como en el caso de los Bosques.

Es de esperar que los suelos bajo CVUT de Bosque secundario sean más ácidos debido al gran contenido de material orgánico que tienen los suelos forestales y a la mayor diversidad de los exudados de ácidos orgánicos producidos por el mayor número de especies vegetales. Estos resultados fueron consistentes con los resultados del análisis de varianza realizado con los Metadatos al relacionar CVUT y pH edáfico ( $n = 970$ ;  $f = 2,602$ ;  $p < 0,01^{**}$ ), donde los Bosques nativos presentaron los valores más ácidos (4,5; Fig. 5.4.).

Por su parte, los suelos bajo Pino aparecieron significativamente más ácidos en la época de lluvias (en relación a las otras CVUT), posiblemente debido a que los suelos bajo otras CVUT con la abundancia de agua se produjo dilución de hidrogeniones, mientras que en los sitios bajo la CVUT de Pino el suelo se recubre por gran cantidad de acículas que son lixiviadas y arrastran cationes al suelo; por ello, el valor del pH edáfico del Pino no es diferente significativamente entre la temporada lluviosa y la temporada seca. Esto es consistente con los resultados de humedad porcentual del suelo de las dos temporadas, que indican que bajo la CVUT de Pino (dentro de cada Zona) existió menor humedad edáfica.

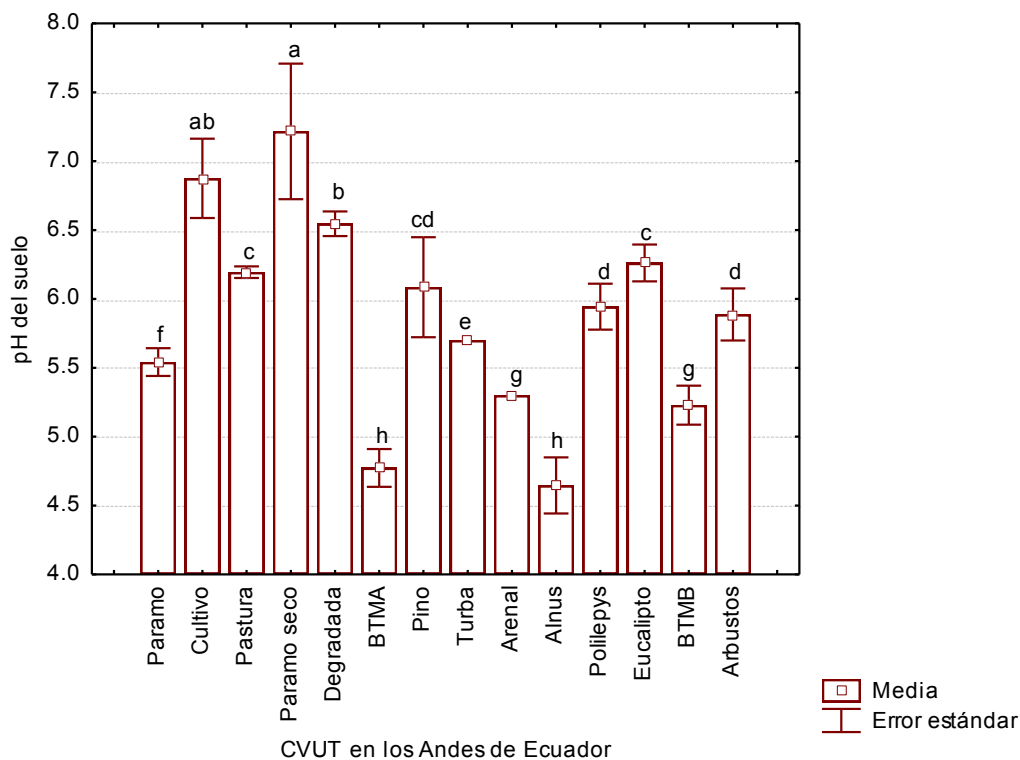


Figura 5.4. pH del suelo bajo diferentes CVUT en la Región Andina de Ecuador ( $n = 970$ ). BTMA es Bosque Tropical Montano Alto y BTMB es Bosque Tropical Montano Bajo. (Anova realizado por el presente estudio con datos del I.E.E. y otros autores que se indican en la sección de métodos de este documento).

Es muy conocido que el pH edáfico está fuertemente relacionado con la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbológica (especialmente de las bacterias, que disminuyen en medio ácido; Shen *et al*, 2003; Bautista-Cruz *et al*, 2004; Lauber *et al*, 2008 Rousk *et al*, 2010), así como también con la productividad y el contenido de MOS (Ritchie y Dolling, 1985; Martínez *et al*, 2008). Por tanto, en función de la acidez se esperaría que las zonas del Cajas, Oña-Yacuambi y el Ángel presenten mayor cantidad de MOS al disminuir la respiración edáfica (Verstraete y Voets 1977; Ewel *et al*, 1981; Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez, 2018); igualmente se esperaría que las CVUT de Bosque secundario y Pino presenten altos contenidos de COS, tal como sucedió en los resultados de esta investigación.

### 5.6. Capacidad Total de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo

El rango promedio de la CIC total del suelo estuvo entre 4,3 y 79,4  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  es comparable con otros valores de CIC reportados para los suelos Alto-Andinos de Ecuador, como por ejemplo 90,1 a 105  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  Gunter *et al.*, 2004; 18  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Podwojewski y

Germain, 2005); 5,7 a 22,5  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Podwojewski *et al*, 2002); CEC 50,9 a 68,4  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Poulenard *et al*, 2003); de 3,8 a 47  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Paul *et al*, 2002); 79  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Wilcke *et al.*, 2002); y de 4,2 a 6,4  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Chacón *et al*, 2009).

La CIC es la medida de la cantidad máxima de cationes que puede adsorber (intercambiar) el suelo. Esta capacidad de intercambio catiónico depende principalmente de la cantidad de arcilla y MOS que tienen los sistemas edáficos. En los ecosistemas Alto-Andinos se ha visto que la MOS es el principal factor que influye sobre las características del suelo, incluso más que los minerales alófanos (Buytaert *et al*, 2002).

Por lo tanto, cómo era de esperar, la mayor CIC del suelo ocurrió en zonas donde la cantidad de MOS también fue significativamente mayor, cómo son las zonas del Cajas, Ángel, Oña-Yacuambi y Loja. Esto debido a que la MOS tiene cargas negativas que atraen los nutrientes catiónicos (que tienen cargas positivas).

Los sitios bajo Páramo (Ángel, Chimborazo y Cajas) y bajo Bosque secundario (Oña-Yacuambi y Loja) también tuvieron la mayor CIC entre las sitios CVUT; ello es consistente con algunos estudios en ecosistemas Alto-Andinos que evidencian que la mayor CIC se encuentra en los suelos bajo la vegetación nativa (Wilcke *et al*, 2002; Chacón *et al*, 2009). Por su parte, debido a la gran cantidad de MOS que tiene el sitio de Pastizal de Chimborazo, es razonable que tenga también una elevada CIC.

### **5.7. Calcio intercambiable del suelo**

El rango promedio de contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo (entre 0,02 y 32,61  $\text{cmol}_c \text{ Ca kg}^{-1}$  para la temporada seca, y entre 0,09 y 39,40  $\text{cmol}_c \text{ Ca kg}^{-1}$  para la temporada lluviosa), valores consistentes con los reportados por otras investigaciones para los Altos-Andes ecuatorianos, de 0,37 a 0,79  $\text{cmol}_c \text{ Ca kg}^{-1}$  (Gunter *et al*, 2009); de 7,9  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Podwojewski y Germain, 2005); de 3,9 a 23,4  $\text{cmol}_c \text{ Ca kg}^{-1}$ ; (Podwojewski *et al*, 2002); 1,4 a 4,1  $\text{cmol}_c \text{ Ca kg}^{-1}$  (Unger *et al*, 2012); y 0,4 a 2,1  $\text{cmol}_c \text{ Ca kg}^{-1}$  (Chacón *et al*, 200).

La estación climática tuvo efectos significativos sobre el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo en la mayor parte de las CVUT de todas las zonas de estudio. Esto probablemente debido a la activación de los flujos y mecanismos de conservación de nutrientes que ocurre en los ecosistemas con la llegada del agua (Chapin *et al*, 2002). Este resultado es consistente con los resultados de investigaciones recientes de la sierra ecuatoriana, donde se evidencia cómo el paso de la temporada seca a la lluviosa es un factor clave en la dinámica del flujo de nutrientes de estos ecosistemas (Wilcke *et al*, 2002; Goller *et al*, 2006).



El factor Zona de estudio y también el factor anidado CVUT tuvieron un efecto significativo sobre la variable  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo. De igual forma como ocurrió con el  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable: el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo fue significativamente mayor en la zona de Chimborazo y, luego de ésta, fue también mayor en la zona del Cajas, congruente con los altos contenidos de este nutriente que han sido reportados para esas zonas de estudio (IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE, 2012c; IEE, 2012d; Podwojewski *et al*, 2002).

Por otra parte, de la misma forma como ocurrió con en el  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable del suelo, el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable fue mayor principalmente en los suelos bajo la CVUT de Bosque secundario (Ángel, Cajas y Oña-Yacuambi) y Pastizal (Ángel, Chimborazo, Loja); tales resultados también son consistentes con los de las investigaciones de Podwojewski *et al* (2002); Gunter *et al* (2009); Chacón *et al* (2009), en las que se evidencia que el Boque secundario y los Pastizales pueden tener significativamente más  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable del suelo que otras CVUT, como el Páramo o el Pino.

### **5.8. Magnesio intercambiable del suelo**

El rango promedio de contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable del suelo (entre 0,2 y 7,8  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para la estación seca, y entre 0,3 y 13,6  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para la estación lluviosa) tuvo valores cercanos a los reportados por otros estudios para los Altos Andes Ecuatorianos; por ejemplo, de 0,2 a 0,5  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Gunter *et al*, 2009); de 5,5  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Podwojewski y Germain, 2005); 0,95 a 5,0  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Podwojewski *et al*, 2002); de 0,5  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Unger *et al*, 2012); y 0,7 a 3,5  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Chacón *et al*, 209).

El Principal factor que influyó fue la Zona de estudio, siendo mayor el  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable en la zona del Chimborazo; este resultado coincide con los datos de Mg reportados por el I.E.E. (2012a; 2012b; 2012c; 2012d) y otros autores (como Podwojewski *et al*, 2002), en los que se evidencia que en esas zonas hay una mayor cantidad de este nutriente. Además de esto, el Mg asimilable también fue mayor en la zona del Chimborazo y siguió un comportamiento muy similar al  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable.

La estación climática tuvo un efecto sobre la CIC, siendo ésta significativamente mayor en lluvias para los sitios de la mayor parte de las CVUT en las diferentes zonas de estudio. Está claro que el agua activa los principales flujos y mecanismos de conservación de nutrientes de los ecosistemas (Chapin *et al*, 2002), por lo que la capacidad de intercambio de cationes que tiene la MOS y las arcillas podría aumentar con la mayor cantidad de agua en el suelo que ocurre en la estación húmeda.

El  $Mg^{2+}$  intercambiable fue mayor en los suelos bajo la CVUT de Bosque secundario (Ángel, Cajas y Oña-Yacuambi) y Pastizal (Ángel, Chimborazo y Loja). Estos resultados son consistentes con los resultados de otras investigaciones, donde se evidencia que el Bosque secundario y los Pastizales pueden tener mayor  $Mg^{2+}$  intercambiable edáfico que otros sitios, como el Páramo o el Pino (Podwojewski *et al*, 2002; Gunter *et al*, 2009; Chacón *et al*, 2009; Quichimbo *et al*, 2015).

### 5.9. Potasio intercambiable del suelo

El rango promedio de  $K^+$  intercambiable del suelo (de 0,1 a 1,0  $cmol_c\ kg^{-1}$  para la temporada seca, y de 0,3 a 1,8  $cmol_c\ kg^{-1}$ ) es comparable con los valores reportados por otras investigaciones para los Altos-Andes de Ecuador; así, de 0,11 a 0,61  $cmol_c\ kg^{-1}$  (Podwojewski *et al*, 2002); de 0,7  $cmol_c\ kg^{-1}$  (Podwojewski y Germain, 2005); de 0,2 a 0,3  $cmol_c\ kg^{-1}$  (Unger *et al*, 2002); de 0,1 a 0,3  $cmol_c\ kg^{-1}$  (Gunter *et al*, 2009); y de 0,3 a 0,7  $cmol_c\ kg^{-1}$  (Chacón *et al*, 2009).

Al igual que el  $Mg^{2+}$  y el  $Ca^{2+}$  intercambiables, el  $K^+$  intercambiable del suelo también fue influenciado por la estación climática, siendo mayor en la estación lluviosa. Es decir, la llegada del agua aumentó significativamente la CIC para este catión, lo cual (como también se ha visto en otros ecosistemas) se debe a dos factores: A la llegada de más nutrientes desde el dosel al suelo por efectos del lavado (Wilcke *et al*, 2001; Goller *et al*, 2006) y a la activación de los mecanismos de conservación de nutrientes que ocurre inmediatamente con la llegada de la lluvia luego de los periodos secos (García Montiel y Binkley, 1998). Estos mecanismos pueden ser, principalmente, por mayor eficiencia en el uso de nutrientes para la producción de biomasa (Binkley *et al*, 1992; Grubb, 1995), fijación biológica de nutrientes (Sprent y Sprent, 1990; Rhoades, 1997; Crews, 1999), reabsorción de nutrientes (Vitousek y Stanford, 1986) y eficiencia para interceptar nutrientes por medio de asociaciones micorrícicas (Janos, 1980; Ganje *et al*, 1990).

El factor Zona de estudio tuvo un efecto muy significativo sobre la variable  $K^+$  intercambiable del suelo, esta siguió el mismo patrón que las variables  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  intercambiable del suelo, es decir, fue también mayor en las zonas del Chimborazo y Cajas, y menor en la zona de Cotopaxi, lo que coincide con las diferencias entre valores que se han reportado para esos lugares: de 0,7  $cmol_c\ kg^{-1}$  para las zonas de los Andes centrales (Podwojewski y Germain, 2005), de 0,32 a 0,68  $cmol_c\ kg^{-1}$  para zonas de la cuenca del Paute (Cajas y cordillera oriental sur; Chacón *et al*, 2009), y de 0,16 a 0,25 las zonas alto-andinas de Loja y Zamora (Unger *et al*, 2012). Por lo tanto, el mayor contenido de este nutriente y los

demás (Mg y K) en Chimborazo y Cajas probablemente podría deberse a que en la geología de esas zonas existe también una mayor cantidad de estos elementos.

El factor anidado CVUT también tiene un efecto significativo sobre la variable  $K^+$  intercambiable del suelo. Los sitios bajo la CVUT de Bosque secundario (Cajas, Oña-Yacuambi y Loja), y Pastizal (Chimborazo, Cajas y Loja) tienen los mayores valores de  $K^+$  intercambiable del suelo. Estos resultados son consistentes con la hipótesis que sostiene que los Bosques montanos secundarios y los Pastizales Alto-Andinos tienen mayores flujos de elementos intercambiables que los ecosistemas de Páramo debido a que su reciclaje ha sido alterado y tienen que sostener una mayor productividad anual (Wilcke *et al*, 2001; Gunter *et al*, 2009; Chacón *et al*, 2009).

### **5.10. Sodio intercambiable del suelo**

El rango promedio de contenido de  $Na^+$  intercambiable del suelo (entre 0,01 y 0,26  $cmol_c Na kg^{-1}$  para la temporada seca) es consistente con los valores que se han reportado para la zona alto-andina de Ecuador, de 0,1 a 0,6  $cmol_c Na kg^{-1}$  (Podwojewski *et al*, 2002) y de 0,4  $cmol_c Na kg^{-1}$  (Podwojewski y Germain, 2005).

La estación climática afectó el contenido de  $Na^+$  intercambiable edáfico, algo que era de esperar debido a que este elemento es extremadamente soluble y puede ser fácilmente lavado por el agua de la lluvia (Chang, 1961; Quirk y Schofield, 1995).

El factor Zona de estudio tuvo un efecto significativo sobre la variable  $Na^+$  intercambiable del suelo; ello fue significativamente menor en las zonas de Loja y Oña-Yacuambi; la gran cantidad de agua que tuvieron las muestras de suelo de esas zonas (a pesar de que fueron tomadas en la estación seca) y el alto promedio anual de lluvias reportado para esos lugares sugieren que este nutriente, al ser tan soluble, es lavado en esas zonas.

El factor anidado CVUT también tuvo un efecto significativo sobre la variable  $Na^+$  intercambiable. El contenido de este nutriente fue mayor en las CVUT de Pastizal (Chimborazo y Cajas) y Bosque secundario (Ángel y Loja), resultado que es consistente con el comportamiento de los demás elementos intercambiables ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $K^+$ ) evaluados en el presente estudio. Como se sugirió anteriormente para los otros cationes, ello puede deberse a que los ecosistemas andinos alterados generalmente tienen un reciclaje más rápido y una mayor mineralización de elementos que los ecosistemas de Páramo (Chacón *et al*, 2009; Quichimbo *et al*, 2012).

### 5.11. Saturación de la Capacidad de intercambio catiónico total del suelo (V)

El rango promedio del porcentaje de saturación de bases ( $V$ ) del suelo (entre 1,2 y 70 % para la temporada seca, y entre 4 y 141 % para la temporada lluviosa) es comparable con el rango de valores reportados para cada una de las diferentes zonas Alto-andinas de Ecuador (véase la comparación más adelante).

El factor zona de estudio afecta directamente a  $V$ , siendo este porcentaje mayor en el Chimborazo que en todas las otras zonas de estudio, a saber, Cotopaxi, Ángel, Cajas, Oña-Yacuambi y Loja. Está claro que  $V$  depende directamente de la zona de estudio debido a la influencia que tienen los factores ambientales (variables en cada zona) sobre los flujos y mecanismos de conservación de nutrientes.

Los  $V$  determinados en este estudio para Pino y Páramo del Ángel (2,9 y 7,7 %) son consistentes con los valores reportados para esta zona (3,1 y 7,6 %; I.E.E., 2013: PN2-207, PN2-209, PN2-210). El  $V$  determinado en esta investigación para los sitios de la zona del Cotopaxi en la estación seca (43,9 y 46,3 %) y en la estación lluviosa (113 %) son similares a los reportados por el I.E.E. (2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 2013e) para cada una de esas temporadas climáticas (secas: 30,6 y 57,5 %; lluvias: 89,0 %).

La saturación de bases para la zona del Chimborazo es consistente con los valores reportados por el I.E.E. para la zona 56,3 (IEE, 2012b), 90,2 (IEE, 2012c), 89,1 (IEE, 2012d) y 38,9 % (IEE, 2012e). Además, otros trabajos (como el de Poulenard *et al.*, 2002) también reportaron valores de  $V$  entre 99 y 100 %, para la zona del Chimborazo y Cotopaxi, los cuales son cercanos a los determinados en esta investigación.

Los valores de  $V$  encontrados en la estación seca para la zona de Oña-Yacuambi (1,5 y 2,8) son cercanos a los reportados para esta zona por el I.E.E. (2013i; 3,6 %). Sin embargo, los valores de  $V$  determinados en la estación lluviosa fueron más altos (7,6 a 9,8 %).

Por su parte, el rango de valores de  $V$  encontrados para la zona de Loja (1,3 a 16,7 % para la estación seca y 7,0 y 38,7 % para la estación lluviosa) son cercanos a los valores reportados por el I.E.E. (2013f; 2013g; 2013h) para esta misma zona (14,7 a 27,7%).

El porcentaje de saturación de bases está relacionado con la acidez del suelo: Cuanto mayor sea la acidez del suelo menor será  $V$  (Beery y Wilding, 1971). Esto es lo que se observa en la mayor parte de los resultados; las zonas con valores más elevados de pH (como es el caso de las zonas de Chimborazo y Cotopaxi) tuvieron valores altos de  $V$  (superiores al 50 %).

Es preciso advertir que la razón por la que parecen, a veces, resultados de  $V$  superiores a 100 % es por la disolución de, generalmente,  $\text{Ca}^{2+}$  procedente de minerales semialterados y

que contaminan la muestra, por lo que se dan valores más altos que el real en la suma de bases; ello suele suceder en suelos casi neutros y casi siempre en suelos calizos.

El factor anidado CVUT también tuvo un efecto significativo sobre  $V$ . Los sitios bajo la CVUT de Bosque secundario (Ángel, Cajas y Oña-Yacuambi) y Pastizal (Ángel y Loja) tuvieron mayor porcentaje de saturación de bases que los sitios bajo las otras clases de CVUT (incluido el Páramo) de cada una de sus zonas de estudio. Los suelos bajo Pastizal tuvieron elevados  $V$ , lo cual concuerda con la menor acidez de estos sitios (posiblemente producida por los encalados que son comunes en los pastizales de los Andes ecuatorianos). Sin embargo, los suelos bajo Bosque secundario, a pesar de tener suelos bastante ácidos, tuvieron también elevado  $V$ ; esto mismo fue observado, por ejemplo, por Gallardo *et al* (1980) en los horizontes superficiales de los suelos forestales españoles, consecuencia del ciclo biogeoquímico (cesión de bases de la hojarasca que son adsorbidas por el horizonte más superficial).

De forma contradictoria con lo usual, la  $V$  fue más alta en la época lluviosa que en la seca. Esto coincide con los altos valores de  $V$  también reportados para época lluviosa en los perfiles de suelo de la base de datos del I.E.E. (2012a; 2012b; 2012c; 2012d; 2012e; 2013a; 2013b; 2013c; 2013d). Se plantea la hipótesis de que ello es posible debido a la llegada al suelo de los nutrientes que provienen del lavado de la hojarasca y/o del dosel arbóreo, y a la mayor activación de los mecanismos de conservación de nutrientes que tiene lugar con la llegada del agua de la lluvia.

#### **5.12. Relación de factores Zona de estudio y CVUT con la variable COS ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ )**

Como era esperable los resultados de evaluar el efecto del factor CVUT sobre la variable MOS (%) fueron bastantes similares (casi idénticos) a los resultados de evaluar el efecto de la CVUT sobre la variable COS expresada en valores absolutos ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ). Sin embargo, existieron dos grandes diferencias que en la variable MOS (%) no se evidenciaron; utilizando la variable COS se observó significativamente diferente cantidad de COS entre el Páramo y Pino del Cotopaxi, pero no se observó diferencias entre las CVUT de Loja. Ello se debe, por supuesto, al factor  $D_{ap}$ , que influye directamente sobre la masa total de suelo y, por ello, sobre el valor del contenido absoluto de COS. Estas diferencias pueden tener un efecto sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo que están asociados no sólo al porcentaje de MOS, sino también a la cantidad de, por ejemplo, la humedad del suelo, la retención de nutrientes y variables relacionadas.

### **5.13. Carbono Orgánico Lábil (COL) del suelo (porcentaje en relación con el COS)**

En los Andes ecuatorianos no hay estudios previos que reporten el porcentaje de COL edáfico (en relación con el total de COS), lo cual hace este aspecto novedoso. Sin embargo, el rango promedio del porcentaje de COS que corresponde a COL determinado en este estudio (entre 0,2 y 2,3 %) es comparable y guarda relación de magnitud con los valores reportados para la biomasa microbiana de algunos sitios de los Andes sur de 3,5 mg C g<sup>-1</sup> (Postthat *et al*, 2012) y el Carbono orgánico disuelto (COD) evaluado en los lixiviados de varios bosques montanos y pastizales de la sierra ecuatoriana, que osciló desde 56 a 180 mg C kg<sup>-1</sup> (Wilcke *et al*, 2001).

El principal factor que influyó significativamente sobre el COL fue la zona de estudio. Los suelos con mayor contenido de COL (% en relación al COS) fueron los suelos de la zona del Chimborazo y los suelos de la zona de Loja. Esto podría ser porque los suelos del Chimborazo han tenido y tienen un fuerte uso de la tierra, sobre todo para cultivos y pastoreo (Samaniego y Romero, 2012; Castro, 2016); mientras que los suelos de Loja (que tienen mayor fracción de arcilla), a pesar de estar unos pocos años en recuperación, han sido gravemente perturbados por la roza, tumba y quema (Ochoa-Cueva *et al*, 2013). Estas clases de perturbaciones pueden verse reflejadas con cambios en la proporción de las fracciones lábiles de la MOS (Blair *et al*, 1995 Pimentel *et al*, 2013; Rodríguez *et al*, 2004).

El factor anidado CVUT también tiene un efecto significativo sobre la variable COL (%). En todas las zonas de estudio los sitios bajo la CVUT de Páramo tienen el menor porcentaje de COL, lo que indica que existe menor actividad microbiana (sobre todo menor mineralización en los sitios bajo esta CVUT); esto es comprensible porque los Páramos se caracterizan por ser ecosistemas con un metabolismo muy lento (Podwojewski, 1999; Tonneijck *et al*, 2010). Por su parte, los suelos bajo las CVUT de Bosque secundario, Pastizal, Pino y Páramo degradado tienen mayores cantidades de COL, lo que sugiere que tienen mayor actividad microbiana y que el COS presente en estos suelos tiene mayor probabilidad de convertirse en CO<sub>2</sub>, caso que cambien las condiciones de manejo. Estos resultados son consistentes con los resultados de los dos estudios que existen al respecto, las cuales evidencian que la transformación de los ecosistemas nativos andinos hacia sitios antropizados puede producir un aumento de las fracciones de C lixiviado (Wilcke *et al*, 2001) y biomasa microbiana (Postthat *et al*, 2012).

### **5.14. Nitrógeno total del suelo (NTS)**

Los rangos promedio de NTS (entre 2,58 y 22,3 Mg N ha<sup>-1</sup> para la temporada seca, y entre 2,72 y 22,4 Mg N ha<sup>-1</sup> para la temporada lluviosa) estuvieron conforme al rango de valores reportados para los suelos de diferentes ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador de 0,08 a 19,6 Mg N ha<sup>-1</sup> por Wilcke *et al.* (2001), de 5,44 Mg N ha<sup>-1</sup> por Wilcke *et al.*, (2002), de 1,44 Mg N ha<sup>-1</sup> por Podwojewski y Germain (2005) y de 2,30 a 7,29 Mg N ha<sup>-1</sup> por Henry *et al* (2012). Además de esto, los rangos de datos coinciden con los valores reportados por los perfiles edáficos citados por el I.E.E. (2012a; 2012b; 2012c; 2012d; 2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 2014a; 2014b; 2014c).

El factor Zona de estudio, así como el factor anidado CVUT, tienen un efecto significativo sobre la variable la NTS, la cual, además, siguió un patrón idéntico a la variable contenido de MOS (%) lo que sugiere que el contenido de N está directamente relacionado con contenido de MOS y, a su vez, también con la Zona de estudio la CVUT.

Las zonas con mayor contenido de N fueron las zonas del Cajas y el Angel, las cuales son también las que tienen mayor porcentaje de MOS. Esto es consistente con la importancia que ejerce la MOS sobre el N; se ha comprobado que el 55 % del NTS de los diferentes flujos es orgánico (Goller *et al*, 2006).

Por otra parte, el factor atmosférico que ocurre en cada zona de estudio también es muy importante: si bien el ingreso de N por precipitación es bajo, se ha visto que el flujo de N que ingresa por deposición atmosférica (gaseosa y en polvo) puede ser muy significativo (16 a 29 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Wilcke *et al*, 2001).

Existe un aumento de N en la temporada lluviosa, el cual se pudo evidenciar de forma significativa bajo Pastizal y bajo Bosque secundario en la zona del Ángel, y bajo Pino y bajo Bosque secundario en la zona de Oña-Yacuambi. Estos cambios están de acuerdo con los resultados de Goller *et al* (2006), quienes documentan que el secado y rehumectación del suelo pueden promover la liberación y el flujo de N inorgánico disuelto (NID), sobre todo en los sistemas más productivos.

En la zona del Ángel el hecho de que los sitios bajo Páramo tengan menor NTS que los sitios Pino, Pastizal y Bosque secundario, y que el Bosque secundario tenga mayor NTS que el Pino sugiere que el NTS en esta zona estaría principalmente influenciado por la producción de biomasa y acumulación de necromasa.

En la zona del Chimborazo el resultado de que el N haya sido significativamente mayor en los suelos bajo Pastizal y que, también, el Páramo degradado menor que el Páramo y Pino contribuye a la hipótesis de que gran parte del N total en los flujos del ecosistema se

realiza por los componentes orgánicos del suelo, debido a que en esta zona el Pastizal también tiene alto contenido de MOS en relación con las demás CVUT.

En la zona del Cajas los resultados indican que los suelos bajo Páramo tuvieron significativamente más NTS que Pino, Bosque secundario. Esto es congruente con que el NTS está directamente asociado con la MOS, pues siguió el mismo patrón; y también es consistente con los resultados de Farley y Kelly (2004), quienes documentaron que el cambio de uso de suelo de natural a antropizado puede provocar disminución del NTS (de 0,17 a 0,08 %) por conversión de Páramo a Pino en 25 años. Por otra parte, el hecho de que el Pastizal haya presentado mayor N que el suelo Bosque secundario, es congruente con los resultados de Hamer *et al* (2013), quienes evidencian que después de rozar, tumbar y quemar el Bosque montano para convertirlo en Pastizal, éste aumenta la cantidad de N y otros nutrientes.

En la zona de Loja el hecho de que el Bosque secundario tenga menor NTS que el Páramo, Pino y Pastizal (que son ecosistemas que han sufrido quemas; Ochoa-Cueva *et al*, 2013) también es congruente con el aumento de N reportado en sitios que han sido antropizados y quemados (Hamer *et al*, 2013).

Los resultados de esta investigación evidencian que el recurso NTS estaría siendo influenciado principalmente por la MOS y sus mecanismos de conservación de nutrientes, por lo que probablemente es un recurso limitante en los ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador, tal como sostienen Martinzón *et al* (2012).

### **5.15. Nitratos del suelo**

El contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo (entre 1,0 y 1150  $\text{kg N ha}^{-1}$  para la temporada seca y entre 0,4 y 36  $\text{kg N ha}^{-1}$  para la temporada lluviosa) es consistente con las tasas de mineralización que se conocen para las zonas Alto-Andinas de Ecuador por deposición atmosférica neta (polvo y gaseosa), que puede oscilar entre 2,9 a 9,4  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Wilcke *et al*, 2001); mientras que, por los mecanismos de mineralización de la MOS, puede ser de 28,8  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (2.000 m s.n.m.; Unger *et al*, 2012). Además, si bien es mayor, guarda relación con el rango de valores estimado para algunos suelos Alto-Andinos de Ecuador, entre 1,1 y 6,8  $\text{kg N ha}^{-1}$  (Hamer *et al.*, 2009; considerando una  $D_{\text{ap}}$  promedio de 0,85  $\text{g cm}^{-3}$ ; I.E.E., 2013), y entre 0,008 a 0,01  $\text{kg N ha}^{-1}$  (Chacón *et al*, 2009).

El factor Zona de estudio y el factor anidado CVUT afectan el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo de forma similar al efecto sobre la MOS y el NTS. Las zonas y CVUT con mayor contenido de MOS también tienen mayor contenido de nitratos. Esto sugiere que la MOS estaría influenciando de manera directa la disponibilidad de este nutriente y también la



actividad de los microorganismos que actúan en la mineralización; ello es congruente con la afirmación de que la MOS es el principal factor que afecta los ciclos de N de suelo (un 55 % de los flujos de N es orgánico; Gunter *et al*, 2009).

La estación climática tiene un efecto importante sobre el contenido de nitratos del suelo. Este fenómeno de los nitratos del suelo que desaparecen por efecto del agua se debe a la anoxia (falta de O<sub>2</sub>; García-Novo y Crawford, 1973; Tiedje, 1988) y/o, bien, a un lavado del nutriente como también evidencia Goller *et al* (2006) en los Andes sur de Ecuador.

Por su parte, los resultados del factor anidado CVUT indicaron que los suelos bajo la CVUT de Páramo tuvieron la menor cantidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> edáfico (Tabla 5.2.); esto sugiere que estos ecosistemas favorecen la conservación del N, es decir, la acumulación de N más que su mineralización. Además, es consistente con los resultados de Kelly y Farley (2004) y Potthaas *et al* (2012), quienes evidencian que en los ecosistemas nativos andinos hay menor contenido de de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo.

Tabla 5.2. Resumen de diferencias de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo bajo diferente CVUT

1. Ángel (Seca y lluvias):  
Pastizal > Páramo Pino; Bosque secundario > Páramo y Pino.
2. Cotopaxi (seca):  
Pino > Páramo
3. Chimborazo (dos estaciones):  
Pastizal > Páramo, Pino y Páramo degradado; y Pino > Páramo y Pastizal
4. Cajas (Lluvias):  
Pino > Páramo, Pastizal y Bosque secundario.
5. Oña-Yacuambi
  - a) Seca:  
Páramo < Pino y > Bosque secundario y Pino > Bosque secundario;
  - b) Lluvias:  
Pino > Páramo y Bosque secundario.
6. Loja (Seca):  
Pastizal > Páramo, Pino y Bosque secundario

## 5.16. Nitritos del suelo

El rango promedio del contenido de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo (0,10 y 0,93  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$  para la temporada seca y entre 0,0 y 0,001  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$  para la temporada lluviosa). No se encontraron reportes con datos de  $\text{N-NO}_2^-$  del suelo para los ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador para poder comparar esos resultados.

En la estación lluviosa no existió contenido de  $\text{kg N-NO}_2^- \text{ ha}^{-1}$ ; esto podría ser por el hecho del lavado de nutrientes que ocurre luego de la acumulación en cada periodo seco (Wilcke *et al*, 2001; Goller *et al*, 2006) y su rápida transformación a nitratos por la microbiología edáfica-

El factor Zona de estudio, así como el factor anidado CVUT, tienen un efecto significativo sobre la variable  $\text{NO}_2^-$  del suelo con un patrón muy parecido al efecto sobre contenido de Amonio y Nitratos; es decir, los suelos de Loja y Oña-Yacuambi presentaron los mayores valores de Nitritos, cómo también los suelos de Cajas tuvieron valores significativamente mayores que Cotopaxi y Chimborazo. Esto sugiere que, si bien los mecanismos de conservación de nutrientes de la MOS influyen en la disponibilidad de elementos, también existen otros mecanismos como la deposición atmosférica que tendrían gran importancia. Aunque no se tiene datos al respecto es posible que el aporte de nitritos por deposición atmosférica sea también fundamental, al igual como lo es para nitratos y amonio (Goller *et al*, 2006).

En todas las zonas, con excepción de Loja, los nitritos del suelo son menores en suelo bajo Páramo, lo cual podría estar favoreciendo la acumulación de N, dado que su formación limitada en medio anaerobio. Además, también los nitritos son mayores principalmente en las CVUT de Bosque secundario, Pino y Pastizal. En Loja es posible que, debido a los incendios recurrentes, se haya liberado el N de la biomasa quemada en los sitios donde está actualmente el Páramo.

### **5.17. Amonio del suelo**

El rango promedio del contenido de  $\text{NH}_4^+$  de suelo (entre 36 y 334  $\text{kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$  para la temporada seca y entre 12 y 84  $\text{kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$  para la temporada lluviosa) es consistente con las tasas de mineralización de  $\text{N-NH}_4^+$  que se conocen para las zonas Alto-Andinas de Ecuador; se cita que por deposición atmosférica neta (polvo y gaseosa) cae de 0,0 a 4,6  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Wilcke *et al*, 2001) y por mineralización de la MOS unos 288  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Unger *et al*, 2012), siendo significativamente mayor que el contenido estimado para varias zonas andinas de país, por ejemplo, de 0,002 y 0,01  $\text{kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$  en la zona de Loja

(considerando una  $D_{ap}$  promedio de  $0,85 \text{ g cm}^{-3}$ ; I.E.E., 2013) según Hamer *et al* (2009) y de  $0,005$  a  $0,03 \text{ kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$  considerando los datos de Chacón *et al* (2009).

La estación climática tuvo efectos significativos sobre el contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  edáfico, siendo significativamente mayor en la temporada seca; ello se debe posiblemente a que en la estación lluviosa el contenido de Amonio también es lavado desde el dosel y la necromasa hacia el suelo, tal como ocurre también con los Nitratos (Goller *et al*, 2016).

El factor Zona de estudio tiene un efecto muy significativo sobre la variable  $\text{N-NH}_4^+$ , teniendo un comportamiento similar al NTS. Además, el  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo es alto en sitios donde la MOS es alta (aunque no la más alta). La zona de Oña-Yacuambi tiene significativamente los mayores valores de  $\text{N-NH}_4^+$ . También los valores de Loja y Cajas son altos. Es decir, el  $\text{N-NH}_4^+$  del suelo no sigue exactamente la misma pauta que la MOS; ello se puede deber a que la tasa de acumulación de amonio sigue mecanismos diferentes que los mecanismos de conservación de la MOS, como, por ejemplo, la deposición atmosférica (gaseosa y en polvo), que puede ser bastante significativa (hasta  $4,6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ; Wilcke *et al*, 2001).

El factor anidado CVUT también tiene un efecto muy significativo sobre la variable  $\text{N-NH}_4^+$ . En la mayor parte de zonas de estudio (Ángel, Cotopaxi, Chimborazo y Oña-Yacuambi) los sitios bajo Páramo tuvieron un significativo más bajo contenido de amonio que los sitios bajo las otras CVUT adyacentes. Mientras que los sitios bajo Pino (Ángel, Cotopaxi, Chimborazo, Oña-Yacuambi y Loja) tuvieron mayor contenido de amonio. También los sitios bajo Pastizal (Ángel, Chimborazo y Loja) tuvieron altos contenidos de amonio, significativamente mayores a los sitios bajo las CVUT nativas adyacentes. Estos resultados son consistentes con varias investigaciones realizadas en los Altos-Andes de Ecuador, donde se evidencia que los sitios de vegetación nativa tienen metabolismo más lento y menor mineralización que los sitios antropizados (Chacón *et al*, 2009; Gunter *et al*, 2009; Quichimbo *et al*, 2012).

El único lugar donde el Páramo tuvo un significativamente más alto contenido de amonio que el Pastizal y Bosque secundario fue en la zona de Loja, lo cual posiblemente se debe a la gran cantidad de incendios que han perturbado esta zona (Ochoa-Cueva *et al*, 2008; Piedra *et al*, 2016) que pudieron haber producido liberación de nutrientes y, con ello, cambios en la dinámica y almacén de ellos.

### **5.18. Relación Nitratos: Amonio del suelo**

El rango promedio de la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo determinado en esta investigación fue entre 0,01 y 9,8 para la temporada seca y entre 0,1 y 1,1 para la temporada lluviosa. En la sierra ecuatoriana no se tienen estudios que presenten datos sobre esta relación; sin embargo, con los promedios publicados de algunas investigaciones recientes que reportan el contenido de nitrato y amonio del suelo se estimó la relación, siendo de 0,2 a 0,7 para los Andes sur de la Cuenca del río Paute (Chacón *et al*, 2009), de 0,5 a 0,7 para varios sitios de la zona Alto-Andina de Loja (Hamer *et al*, 2009) y de 1,2 a 6,3 para material atmosférico sedimentado en la zona montañosa entre Loja y Zamora (Wilcke *et al*, 2002), lo que indica cómo la presencia de agua (anoxia) reduce el valor de la relación.

La estación climática tuvo un efecto significativo sobre relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo, siendo principalmente el resultado del cambio de estado, de seco a húmedo, lo que influyó sobre los contenidos de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  del suelo (esto es, sobre la relación). Estos resultados también consistentes con la acción de la lluvia, quien realiza el lavado de los nutrientes acumulados en forma de polvos atmosféricos (Goller *et al*, 2006), siendo luego retenidos en el suelo por los mecanismos de adsorción por la MOS o las arcillas (Matus y Maire, 2000; Martínez *et al*, 2008; Berhe y Kleber, 2013).

El factor Zona de estudio tuvo un efecto significativo sobre la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo. En estación seca la zona del Cajas tuvo significativamente relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  del suelo más alta que las zonas del Ángel, Chimborazo, Oña-Yacuambi y Loja; mientras que en la estación lluviosa la zona del Ángel tuvo significativamente menor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  que las zonas del Ángel, Chimborazo, Oña-Yacuambi y Loja (clara influencia de la escasez o abundancia de agua). Estas diferencias significativas entre zonas de estudio son el resultado, principalmente, de la influencia de los regímenes climáticos que tiene cada zona de estudio y, también, del contenido de MOS, factores que rigen la dinámica de lavado, mineralización y conservación de nutrientes en el ecosistema alto andino (Wilcke *et al*, 2001; Zehetner *et al*, 2003; Goller *et al*, 2006).

El factor anidado CVUT también tuvo un efecto significativo sobre la variable relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  edáfica. Los sitios bajo la CVUT de Páramo (Ángel, Chimborazo, Oña-Yacuambi y Loja) tuvieron significativamente menor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo que los sitios bajo las CVUT adyacentes. Los sitios bajo Pastizal (Ángel, Chimborazo y Loja en secas) tuvieron significativamente mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo que los sitios bajo las CVUT adyacentes; mientras que los sitios bajo Bosque secundario (Ángel y Oña-Yacuambi) tuvieron también mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de suelo que los sitios bajo las CVUT adyacentes de Páramo y Pino. Todos estos resultados son consistentes con la hipótesis y trabajos

realizados en los Andes ecuatorianos, que sostienen que los sitios bajo Páramo tienen una mineralización limitada y menos nutrientes disponibles que los sitios intervenidos (Goller *et al*, 2009; Chacón *et al*, 2009; Quichimbo *et al*, 2012).

### **5.19. Relación Carbono:Nitrógeno del suelo (C/N edáfico)**

Los valores de la relación C/N del suelo (entre 12,0 y 18,7 para la temporada seca y entre 13,1 y 21,0 para la temporada lluviosa) son similares a los valores reportados para varias zonas Alto-Andinas de Ecuador; por ejemplo, de 8,5 a 13,2 para la zona de Loja y Zamora (Wilcke *et al*, 2001), de 13 a 38 para una zona del Cajas (Bech *et al*, 2002), de 7,6 para una zona en los Andes norte cerca de Quito (Podwojewski y Germain. 2005) y de 10,8 a 15,7 para una zona de los Andes centrales (Henry *et al*, 2012); algunas de las relaciones tan bajas mostradas por estos autores indican que algunos de estos suelos son intensamente cultivados (Gallardo, 2016).

La estación climática tuvo un efecto sobre la relación C/N en la mayoría de los sitios de estudio, lo cual es consistente con los cambios que ocurrieron sobre las formas de N (véanse antes) por efectos de la lluvia.

El factor Zona de estudio tiene efecto significativo sobre la relación C/N, siendo esta relación mayor en las zonas de Loja, Cotopaxi y Oña-Yacuambi. Estos resultados coinciden con los bajos capitales de N reportados para estas zonas en esta investigación.

El factor anidado CVUT también tuvo un efecto significativo sobre la relación C/N del suelo. Los sitios bajo Pino (Ángel, Cotopaxi, Chimborazo, Oña-Yacuambi y Loja) tuvieron significativamente mayor relación C/N edáfica (Tabla 5.2.) que los sitios bajo CVUT adyacentes. En las zonas del Ángel, Chimborazo y Cajas los sitios bajo Páramo tuvieron significativamente mayor relación C/N (Tabla 5.2.) que los sitios bajo las demás CVUT adyacentes (excluyendo al Pino); mientras que, en las zonas de Cotopaxi, Oña-Yacuambi y Loja, los sitios de Páramo tuvieron, por el contrario, menor relación C/N del suelo que los sitios bajo las CVUT adyacentes. Estos resultados también son consistentes con los niveles de NTS determinados en esta investigación para las diferentes CVUT.

Gallardo (2016) estableció que relaciones C/N bajas (12 a 14) indican formas de *humus* tipo *mull* (que en este caso sería de carácter ácido, llamado también forestal), mientras que relaciones superiores a 17 indicarían formas de humus de tipo *mor*, que indica serias limitaciones para la vida microbiana (por pobreza de nutrientes, fuerte acidez o hidromorfía).

En este estudio se observa que los Pastizales tienden, como era de esperar, a tener formas de humus tipo *mull* por el alto impacto antropozógeno que sufren; sin embargo, se

observa que en el Ángel en la época lluviosa el encharcamiento frena la mineralización, elevándose significativamente la relación a 16 (forma de *humus* de tipo *moder*). Similar proceso ocurre en el Páramo degradado del Chimborazo, elevándose significativamente de valores de 13 (*mull*) a 15 (*moder*).

Los Pinares conforman netas formas de *humus mor* en el Ángel, Cotopaxi (que se agudiza en la época de lluvia) y Loja (que durante la época de lluvia tiende significativamente a turberizarse, alcanzando valores de C/N edáfico promedio de 20). Por otra parte, tendrían formas de *humus moder* los Pinares de Chimborazo y Cajas; es peculiar el caso de Oña-Yacuambi, dado que mientras que la forma de *humus* también es *moder* en seca, en lluvia el exceso de agua significativamente limita la vida microbiana, pasando significativamente a ser *mor*.

En el caso de Páramo las formaciones de *humus* son netamente *mor* en el Ángel y Loja, mientras que *moder* en Cotopaxi (que se agudiza durante la época lluviosa), el Cajas, Chimborazo y Cajas; por último, el Páramo de Oña-Yacuambi posee una elevada actividad microbiana durante la época seca (*mull ácido*), pero el exceso de agua del periodo de lluvia ralentiza significativamente, con lo cual la forma de *humus* se corresponde claramente con *moder*.

Como se observa, el periodo de lluvia suele incrementar la anoxia, ocasionando una limitación de actividad microbiana, reduciéndose la emisión de CO<sub>2</sub>, con lo cual la relación C/N se incrementa significativamente en algunos sitios, como se ha indicado.

Si se excluyen los Pastizales (por su alto impacto antropozógeno), está claro que tienden hacia la distrofia los sitios de El Ángel, Cotopaxi y Loja (donde los Pinares siempre muestran claramente *humus mor*), mientras que Chimborazo y Oña-Yacuambi muestran mesotrofia, dado que es difícil la formación de la citada forma de *humus mor*, incluso en el Páramo. Que en Oña-Yacuambi el Bosque secundario muestre tuberización (en periodo de lluvias la razón C/N promedio es 21) es señal de que este sistema indica lugares abandonados por su baja fertilidad, dado que contrasta con los otros lugares. Por el contrario, las relaciones C/N del Bosque secundario de El Ángel precisa que son Pastizales abandonados no hace mucho e invadidos por la vegetación arbórea (pues aún se mantienen las características del *humus mull ácido*).

Tabla 5.2. Resumen de diferencias significativas de la relación C/N del suelo entre clases de CVUT en las zonas Alto Andinas de estudio.

Ángel

Seca: Páramo (17) < Pino (18) > Pastizal (12) y Bosque secundario (13)  
 Lluvias: Páramo (18) > Pastizal (16) y Bosque secundario (14)  
 Pino (18) > Pastizal (16) y Bosque secundario (14)

Cotopaxi

Seca: Páramo (15) < Pino (18)  
 Lluvias: Páramo (17) < Pino (19)

Chimborazo

Seca: Páramo (15) > Pastizal (12) y Páramo degradado (13)  
 Pino (16) > Pastizal (12) y Páramo degradado (13)  
 Lluviosa: Páramo (15) > Pastizal (13)  
 Pino (16) > Pastizal (13) y Páramo degradado (15)

Cajas

Seca: Páramo (17) > Pastizal (14) y Bosque secundario (15)  
 Lluviosa: Pastizal (15) < Páramo (16), Pino (16) y Bosque secundario (16)

Oña-Yacuambi

Seca: Páramo (13) < Bosque secundario (19)  
 Pino (14) < Bosque secundario (19)  
 Lluviosa: Páramo (15) < Pino (17) y Bosque secundario (21)  
 Pino (17) < Bosque secundario (21).

Loja

Seca: Pastizal (14) < Páramo (18), Pino (18) y Bosque secundario (19)  
 Lluviosa: Pastizal (15) < Páramo (20), Pino (20) y Bosque secundario (19)

**5.20. P asimilable del suelo ( $P_{as}$ )**

Los rangos promedio de  $P_{as}$  (16,2 y 65,1 kg P ha<sup>-1</sup> para la temporada seca y entre 6,8 y 53,9 kg P ha<sup>-1</sup> para la temporada lluviosa), estuvieron de acuerdo con los valores reportados para los suelos de diferentes ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador por Hamer *et al* (2013; de 8,0 a 27 kg ha<sup>-1</sup>), Wilcke *et al* (2002; de 134 kg P ha<sup>-1</sup>); Farley y Kelly (2004; de 23,1 a 46,1 kg P ha<sup>-1</sup>); considerando una densidad promedio de 0,85 g cm<sup>-3</sup>);

El factor Zona de estudio tuvo un efecto significativo sobre la variable  $P_{as}$  del suelo; sin embargo, la variable  $P_{as}$  por zona de estudio no sigue el mismo patrón que la variable MOS; esto se debe, a que si bien la MOS tiene mecanismos de conservación de nutrientes (por ejemplo, retención de hasta un 68 % de P en suelos de los Andes ecuatorianos; Buytaert *et al*, 2007), el  $P_{as}$  depende principalmente de la deposición atmosférica (Goller *et al*, 2006) y, su vez, del contenido de P orgánico que existe en los suelos de cada zona (Hobbie, 1992; Binkley *et al*, 2000).

El  $P_{as}$  es significativamente más alto en las zonas del sur de los Andes de Ecuador (Oña-Yacuambi y Loja), donde la geología se caracteriza por la presencia de minerales de arcilla (formación Zamora; IGM, 1982); la MOS en estas zonas, si bien es alta, no lo es tanto como las zonas del Cajas y el Ángel; ello sugiere que más allá de la influencia que tiene el contenido de MOS sobre el  $P_{as}$ , el principal factor que estaría afectando su contenido es el material parental, para el caso de los Andes ecuatorianos se ha sugerido que la arcilla juega un papel fundamental en la conservación del P (Espinoza, 2004; Espinoza, 2008), esto explicaría que las zonas del sur con altos contenidos de arcilla como Loja, presenten mayor  $P_{as}$ .

Por su parte, el contenido de  $P_{as}$  fue significativamente mayor en la estación seca (cuando no es tomado por las plantas), dado que en la estación lluviosa este recurso, limitante, se toma por las plantas más fácilmente, es decir, es utilizado inmediatamente por los organismos vivos que compiten por este recurso (Cuevas y Medina, 1998; Tiessen *et al*, 1998; Lawrence y Foster, 2002).

Se ha visto que en los ecosistemas andinos ecuatorianos existe una gran demanda biológica de P, caracterizada por una retranslocación por parte de las especies vegetales de hasta un 65 % (Feheshe *et al*, 2002) y la inmovilización de hasta un 39 % del total de P orgánico por parte de los microorganismos (Hamer *et al*, 2013). Entonces, tal inmovilización es menor en la temporada húmeda, debido a que el  $P_{as}$  está siendo retenido por los diferentes mecanismos de conservación de nutrientes que tienen los organismos vivos del sistema, los cuales se ha visto que actúan principalmente en función de la humedad y el pH (Gunter *et al*, 2009).

Además, si bien se conoce que hasta un 66 % del P total del ecosistema andino puede estar en formas orgánicas (Gunter *et al*, 2009), también se ha visto en estos mismos ecosistemas que el  $P_{as}$  depende principalmente de la deposición atmosférica (Goller *et al*, 2006), principalmente en forma de polvo o material particulado, por lo que el que discurre con el agua de lluvia es imperceptible (Wilcke *et al*, 2002); por este motivo también debe existir menos  $P_{as}$  en la temporada lluviosa.



El factor anidado CVUT también tuvo un efecto muy significativo sobre la variable  $P_{as}$  edáfico. Los sitios bajo Pino tuvieron significativamente más  $P_{as}$  que los sitios bajo las CVUT adyacentes de Páramo (Cotopaxi y Chimborazo) y del Bosque secundario y Pastizal (Ángel). Por su parte, los sitios bajo Páramo tuvieron también significativamente más  $P_{as}$  que los sitios adyacentes bajo Pastizal y Bosque secundario (Ángel) y que los sitios adyacentes bajo Pino y Pastizal (Loja). Esto sugiere que, en los sitios bajo Páramo, a diferencia de los otros nutrientes el  $P_{as}$  estaría siendo retenido por la MOS al no ser absorbidos por las escasas plantas.

### **5.21. Calcio asimilable del suelo ( $Ca_{as}$ )**

El rango promedio de contenido de Ca asimilable ( $Ca_{as}$ ) del suelo (14 y 8.866 kg Ca  $ha^{-1}$ ) es comparable con los valores reportados para los ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador; por ejemplo, de 1.220 a 5.470 kg Ca  $ha^{-1}$  según Wilcke *et al* (2001).

El factor Zona de estudio tiene un efecto significativo sobre la variable  $Ca_{as}$  edáfico. Los sitios de las zonas del Chimborazo y Cajas tienen significativamente mayor contenido de  $Ca_{as}$  del suelo, lo cual es consistente con los valores de  $Ca^{2+}$  intercambiable determinados en esta misma investigación y los altos valores reportados de  $Ca^{2+}$  intercambiable para estas zonas de estudio (IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE, 2012c; IEE, 2012d; Podwojewski *et al*, 2002).

El factor anidado CVUT tuvo también efecto sobre la variable  $Ca_{as}$ ; los sitios bajo Bosque secundario (Ángel, Cajas y Oña-Yacuambi) y bajo Pastizal (Chimborazo y Loja) presentaron significativamente mayor cantidad de  $Ca_{as}$  que las otras clases de CVUT. Estos resultados son consistentes con varias investigaciones que destacan que en la zona Andina de Ecuador los Bosques secundarios y Pastizales tienen los valores significativamente más altos del elemento  $Ca_{as}$  (Gunter *et al*, 2009; Quichimbo *et al*, 2012).

### **5.22. Magnesio asimilable del suelo ( $Mg_{as}$ )**

El rango promedio del contenido de Mg asimilable ( $Mg_{as}$ ) del suelo (entre 26 y 1.792 kg Mg  $ha^{-1}$ ) es comparable con los valores reportados para este nutriente en algunas zonas de los Altos-Andes de Ecuador como, por ejemplo, de 2.070 a 4.130 kg Mg  $ha^{-1}$  en las zonas de Loja y Zamora (Wilcke *et al*, 2001).

El factor Zona de estudio afecta directamente el  $Mg_{as}$  edáfico; los sitios de la zona del Chimborazo son los que significativamente más alto valores tienen, lo cual es consistente con los valores de  $Mg^{2+}$  intercambiable de este mismo estudio y con los altos valores reportados para este elemento en esa zona de estudio (IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE, 2012c; IEE, 2012d;

Podwojewski *et al*, 2002). Por su parte, los sitios de Oña-Yacuambi presentaron significativamente los menores valores de  $Mg_{as}$ , lo cual se puede deber también a la reserva de nutrientes del material de la zona.

El factor anidado CVUT también tuvo un efecto significativo sobre la variable  $Mg_{as}$  del suelo. Los sitios bajo la CVUT de Bosque secundario (Ángel y Cajas) y bajo Pastizal (Ángel, Chimborazo y Loja) presentaron significativamente mayor contenido de  $Mg_{as}$  que los sitios bajo las demás clases de CVUT. Estos resultados son consistentes con los datos de Quichimbo *et al* (2012), quien reporta mayores contenidos de  $Mg_{as}$  en los Bosques y Pastizales que en el Páramo.

Tabla 5.3. Resumen de diferencias entre CVUT de Mg asimilable suelo.

1. Ángel:  
Bosque secundario > Páramo, Pino y Pastizal; Pastizal > Páramo y Pino
2. Cotopaxi: No hay
3. Chimborazo:  
Pastizal > Páramo, Pino y Páramo degradado; Páramo degradado < Páramo y Pino
4. Cajas:  
Bosque secundario > Páramo, Pino y Pastizal; Pastizal > Páramo y Pino
5. Oña-Yacuambi: No hay
6. Loja:  
Pastizal > Páramo, Pino y Bosque secundario

### 5.23. Potasio asimilable del suelo ( $K_{as}$ )

El rango promedio de contenido de Potasio asimilable ( $K_{as}$ ) del suelo determinado en este estudio (entre 89 y 695 kg K ha<sup>-1</sup>) es significativamente más bajo, pero comparable a los valores reportados para este nutriente en los Andes de Ecuador, por ejemplo, de 50.000 a 73.900 kg K ha<sup>-1</sup> para la zona montañosa entre Loja y Zamora (Wilcke *et al*, 2001)

El factor Zona de estudio tuvo un efecto significativo sobre esta variable, siendo el  $K_{as}$  mayor en la zona de Chimborazo y menor en las zonas de Cotopaxi y Oña-Yacuambi. Esto es consistente con los valores de  $K^+$  intercambiable determinados en este estudio y con los altos valores de este elemento reportados para la zona de Chimborazo, así como bajos para

Cotopaxi y Oña Yacuambi (IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE, 2012c; IEE, 2012d; IEE, 2013a; IEE, 2013b; IEE, 2013c; IEE, 2013d; IEE, 2013i).

En todas las zonas que tuvieron Pastizal (Ángel, Chimborazo, Cajas y Loja) el  $K_{as}$  fue significativamente mayor bajo esa CVUT (Tabla 5.4.); ello puede deberse a que este sistema utiliza bastante de este nutriente, así como a los posibles manejos a los cuales están sometidos.

Tabla 5.4. Resumen de las diferencias entre CVUT del  $K_{as}$  del suelo.

1. Ángel:  
Pastizal > Pino
2. Cotopaxi: No hay
3. Chimborazo:  
Pastizal > Páramo, Pino y Páramo degradado
4. Cajas:  
Pastizal > Páramo, Pino y Bosque secundario
5. Oña-  
Yacuambi: No hay
6. Loja:  
Pastizal > Páramo, Pino y Pastizal

#### 5.24. Respiración potencial del suelo ( $R_{ps}$ )

El rango promedio de emisión potencial de  $CO_2$  ( $R_{ps}$ ) hacia la atmósfera estuvo entre 3,2 y 11,0 mg C kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; esta cantidad es algo superior al único trabajo que ha reportado las  $R_{ps}$  de los suelos de los Andes ecuatorianos (3,0 a 7,4 mg C kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, McNigh *et al*, 2016) y comparable con la respiración *in situ* estimada para raíces finas en lugares Alto-Andinos de Ecuador (0,06 a 0,13 mg C kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) por Potthast *et al* (2012).

La  $R_{ps}$  estuvo influenciada principalmente por el factor Zona de estudio. Los suelos de la zona del Cajas tuvieron significativamente los mayores valores de  $R_{ps}$ , ocasionado porque es también la zona que más COS tiene. Mientras que la zona de Loja, a pesar de tener sitios con grandes cantidades de COL, no presentó significativamente mayor  $R_{ps}$  que las demás zonas de estudio, lo que explica la acumulación de COL, más si existe un efecto de protección por parte del alto contenido en arcillas (Ochoa-Cueva *et al*, 2012; I.E.E., 2013; INERHI *et al*,

1999). Estos resultados son consistentes con varias investigaciones que evidencian que tanto la cantidad de COS almacenada en el suelo, como las condiciones particulares de cada zona, influyen de manera directa la  $R_{ps}$  (Ikkonen *et al*, 2004; Cueva *et al*, 2016).

El factor anidado CVUT también tuvo un efecto significativo sobre la  $R_{ps}$ . En varias zonas de estudio (Chimborazo, Cajas y Loja) los sitios bajo Páramo presentaron significativamente la menor  $R_{ps}$  respecto a las demás CVUT (con excepción de la zona del Ángel donde, por el contrario, el Páramo mostró mayor respiración potencial). El diferente comportamiento de la  $R_{ps}$  que ocurre de una misma CVUT en una zona Alto-Andina de estudio distinta se debe, posiblemente, a las características físicas (humedad) y fisicoquímicas (pH) edáficas, así como a las características de la MOS de cada zona (McNighth *et al*, 2017), en especial la relación C/N edáfica (Gallardo, 2016).

Los suelos bajo Pastizal (Chimborazo y Cajas), bajo Bosque secundario (Cajas) y bajo Pino (Cajas) son las CVUT que presentaron significativamente las mayores  $R_{ps}$  de todos los sitios examinados. El hecho de que estos ecosistemas Alto-Andinos transformados y perturbados presenten los mayores valores de  $R_{ps}$  es consistente con los resultados de Potthast *et al* (2001), quienes evidencian un aumento en la respiración de las raíces del suelo al transformar los ecosistemas andinos nativos en antropizados.

Lo mostrado anteriormente sugiere que el cambio de Páramo hacia otras CVUT podría favorecer el incremento de la  $R_{ps}$ , pasando el  $CO_2$  a la atmósfera, por lo que antes de cambiar los manejos se debería realizar un estudio previo para prever los posibles impactos.

### 5.25. Análisis de componentes principales

Los tres componentes principales encontrados en el análisis estadístico (Tabla 5.25.), que pueden llegar a explicar hasta el 65,3 % de variabilidad de los datos, son los siguientes:

El *Componente principal I* que explica el 36 % de la distribución de los datos (Fig. 5.5.) está altamente correlacionado de forma inversa con la MOS ( $r = 0,87$ ), la CIC ( $r = 0,89$ ), la Conservación ( $r = 0,87$ ), el NTS ( $r = 0,69$ ), el promedio anual de lluvia ( $r = 0,78$ ); y de forma positiva con el pH ( $r = 0,77$ ), la saturación de bases ( $r = 0,79$ ) y la densidad del suelo ( $r = 0,64$ ). Es decir, al parecer este Componente está asociado con la abundancia de MOS o, en relación directa, con su carencia, bien por menor pluviosidad, bien por mayor degradación.

El *Componente principal II* que explica el 18,3 % de la distribución de los datos (Fig. 5.25.1) y está altamente correlacionado inversamente con la relación C/N ( $r = 0,62$ ) y de

forma positiva con el contenido de Ca ( $r = 0,79$ ) y Mg asimilables ( $r = 0,73$ ) y la relación nitratos/nitritos del suelo ( $r = 0,62$ ). Esto es, el Componente II está asociado con la eutrofia del medio o, de manera inversa, con medios distróficos; incluye a la vez mayor contenido en bases como mejor calidad húmica.

El *Componente principal III* explica el 11,3 % de los datos (Fig. 5.25.1) y está relacionado positivamente con la altitud ( $r = 0,64$ ), el contenido de arenas ( $r = 0,71$ ) y de forma inversa está con el contenido de arcilla ( $r = 0,67$ ). Por tanto, este Componente III se relaciona con la altitud, con suelos menos desarrollados y menor contenido en arcillas (más arenas).

Las variables más altamente correlacionadas con el Componente I han sido propuestas como los factores más influyentes en los suelos Alto-Andinos de Ecuador, por ejemplo, Buytaert *et al* (2002) sugieren que más allá del contenido de arcillas y minerales alófonos, el contenido de MOS es el factor con mayor influencia sobre las propiedades de suelos andinos del Ecuador; por su parte, Hofstede *et al* (2002a) evidencian que características de los suelos de la sierra ecuatoriana están función del estado de conservación; mientras que Tonnijiek *et al* (2010) y Zethener *et al* (2003) indican que otro factor determinante es el promedio anual de lluvia.

Las variables más con mayor correlación con el Componente principal II son consistentes con la propuesta de Podjowesky y Poulenard (2000) quienes destacan la importancia de las variables mineralógicas y químicas en la génesis y clasificación de los suelos Alto-Andinos del Ecuador.

Finalmente, las principales covariables del Componentes principal III coinciden con los estudios de Podwojewski y Germain (2005); Buytaert *et al* (2005); Batoli *et al* (2007), quienes evidencian que la textura, la altitud y el contenido de arcillas son también variables que influyen de manera determinante las condiciones de suelos en los Andes ecuatorianos.

Tabla 5.25. Correlación entre los componentes principales (I, II y III) y las 20 variables de estudio más representativas

| <b>Variables</b>   | <b>Componente I</b> | <b>Componente II</b> | <b>Componente III</b> |
|--|---------------------|----------------------|-----------------------|
| MOS (%)  | <b>-0,87</b>        | 0,31                 | 0,03                  |
| D <sub>ap</sub>  | <b>0,64</b>         | 0,03                 | -0,22                 |
| C/N  | -0,12               | <b>-0,62</b>         | -0,26                 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | -0,03               | <b>0,62</b>          | -0,06                 |
| Respiración potencial                                      | -0,41               | 0,43                 | 0,33                  |
| Saturación bases (%)                                       | <b>0,80</b>         | 0,49                 | -0,07                 |
| P <sub>as</sub>  | -0,43               | 0,03                 | -0,02                 |
| pH   | <b>0,78</b>         | 0,45                 | -0,06                 |
| Mg <sub>as</sub>   | 0,33                | <b>0,74</b>          | -0,16                 |
| Ca <sub>as</sub>   | 0,10                | <b>0,80</b>          | -0,17                 |
| CIC total  | <b>-0,89</b>        | 0,34                 | -0,06                 |
| Humedad gravimétrica del suelo (%)                         | -0,29               | 0,40                 | 0,20                  |
| NTS  | <b>-0,69</b>        | 0,59                 | -0,04                 |
| COL(%)   | 0,15                | 0,26                 | -0,45                 |
| Arena (%)  | 0,43                | -0,19                | <b>0,71</b>           |
| Arcilla (%)  | -0,56               | 0,00                 | <b>-0,67</b>          |
| Altitud  | 0,26                | 0,41                 | <b>0,64</b>           |
| Días de lluvia   | <b>-0,79</b>        | -0,15                | -0,18                 |
| Promedio lluvia anual                                      | <b>-0,88</b>        | -0,02                | 0,3                   |
| Conservación   | <b>-0,88</b>        | 0,13                 | 0,35                  |

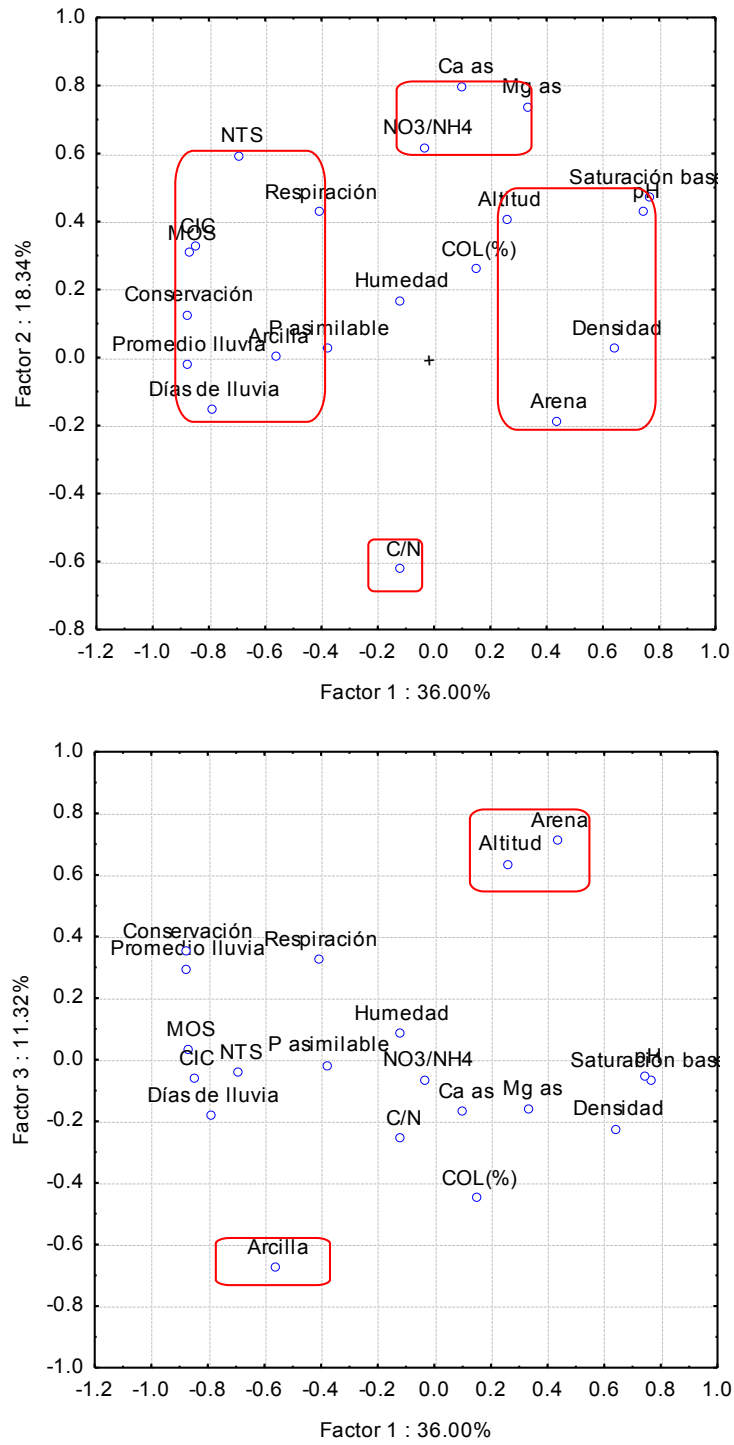


Figura 5.25.1. Factores principales (I, II y III) y su correlación con las variables más significativas

### ***Grupos de suelos y sus principales características en función del Análisis de Componentes Principales (ACP)***

Si se analizan los sitios de estudio en función del ACP y las variables que están directamente correlacionadas con los mismos se pueden agrupar los suelos examinados en siete grandes grupos (Fig. 5.25.2):

a) Suelos del Cajas.- Estos se encuentran agrupados y localizados en el plano superior izquierdo del eje de coordenadas del ACP (Fig. 5.25.2.), lo que indica que están caracterizados por altos contenidos de MOS, altos contenidos de NTS, alta CIC, acidez, menor  $D_{ap}$  y bajo valor de  $V$  (Fig. 5.6.); en cierta manera, dentro de ser netamente un medio distrófico, es relativamente eutrófico si se le compara con los otros sitios. Estos resultados coinciden con los resultados de los *Anovas* y con las características físicoquímicas descritas para los suelos de esta zona de estudio (Buytaert *et al*, 2007; Quinteros *et al*, 2012; Quichimbo *et al*, 2015).

b) Suelos de Oña-Yacuambi.- Los sitios se encuentran agrupados y localizados, considerando el eje vertical del ACP, entre los suelos del Cajas y los suelos de Loja (Fig. 5.25.2.), lo que indica que tienen menor relación C/N que Loja, pero mayor que la del Cajas; además, según el eje horizontal están también caracterizados por altos contenidos de MOS, acidez y bajo valor de  $V$ . Los resultados son consistentes con los del *Anovas* de esta investigación y con la información reportada para esta zona de estudio (Villaruel *et al*, 2010; I.E.E., 2013i). Sus características serían intermedias a los demás sitios.

c) Suelos de Loja.- Los sitios se encuentran agrupados y localizados en el plano inferior izquierdo del eje de componentes principales I y II (Fig. 5.25.2.). El eje horizontal indica que también están caracterizados por altos contenidos de MOS, acidez y bajo  $V$ , mientras que el eje vertical indica que tienen mayor relación C/N, menor cantidad de Ca y Mg, y menor relación nitratos/amonio que los demás suelos. Tales datos abundan en clasificar al sitio de Loja como el más distrófico. Estos resultados son consistentes con los resultados de los *Anovas* y la información reportada para esta zona de estudio (IEE, 2013f; IEE, 2013g; IEE, 2013h; Ochoa-Cueva *et al*, 2013)

4) Suelos de Chimborazo.- Se encuentran agrupados y localizados en el plano superior derecho del eje de coordenadas del ACP (Fig. 5.25.2.); sin embargo, en función del eje vertical se diferencian de los sitios de Cotopaxi porque tienen más Ca y Mg asimilables y menor relación C/N; se trataría de un sitio menos distrófico que Loja. En función del eje horizontal tienen varias características en común con los suelos de Cotopaxi, como son menor cantidad de MOS, bajo contenido de NTS, alta saturación bases, pH altos y alta densidad



(características negativas; la baja desaturación es motivada por el bajo valor de la CIC). En el eje III se coloca a la derecha por su alto porcentaje de arena (escaso desarrollo). Los resultados coinciden con los resultados de los *Anovas* y los reportes realizados para esta zona de estudio (IEE, 2012a; IEE, 2012b; IEE 2012c; IEE 2012d; Cunalata *et al*, 2013).

5) Suelos bajo Pastizal del Chimborazo.- Corresponden a los sitios que en el ACP están en el extremo vertical superior, muy cerca de unos sitios del Cajas (Fig. 5.25.2.). Se caracterizan por altos contenidos de MOS y, según el eje vertical del ACP, estos *Histosoles* se diferencian de los de Oña-Yaacaumbi (dado que los de Chimborazo tienen menor relación C/N, mayor contenido de  $Mg_{as}$  y  $Ca_{as}$  y mayor relación Nitratos/amonio; es decir, son significativamente menos distróficos). Estos resultados coinciden con los resultados del ACP y la información que reporta la presencia de turbas en este sitio de estudio (MAGAP, 2012; Cunalata *et al*, 2013; Muñoz-Jácome *et al*, 2015).

6) Suelos de Cotopaxi.- Se encuentran agrupados y localizados en el plano inferior derecho del eje de coordenadas del ACP (Fig. 5.25.2.). En función del eje horizontal se caracterizan por tener escasa cantidad de MOS, escaso N, alta saturación bases, poca acidez, alto porcentaje de arena y alta densidad; es decir, es netamente distrófico (se aproxima bastante a las características del grupo 4). Por otra parte, en función del eje vertical se diferencian de los de Chimborazo por tener menos  $Mg_{as}$  y  $Ca_{as}$  y mayor relación C/N, lo cual confirma su distrofia. También estos resultados son consistentes con los resultados de los *Anovas* y los parámetros que han sido reportados para esta zona de estudio (IEE, 2013a; IEE, 2013b; IEE, 2013c; IEE, 2013d; IEE 2013e; MAE, 2010).

7) Los suelos del Ángel.- Se muestran agrupados y localizados, (considerando el eje horizontal o componente principal I) entre los sitios del Cajas y los sitios de Cotopaxi y Chimborazo (más cerca de los del Cajas; Fig. 5.26.2.); ello indica que poseen altos contenidos de MOS y CIC (aunque no tanto como el Cajas, pero significativamente más que los de Chimborazo y Cotopaxi); además, esa localización indica que tienen menor  $D_{ap}$  que los suelos del Cotopaxi y Chimborazo, pero mayor que los suelos del Cajas, Loja y Oña-Yacuambi. En función del eje vertical estos suelos tienen principalmente menor relación C/N que los de Oña-Yacuambi y Loja, lo que confirma que no serían tan distróficos. Estos resultados son consistentes con los resultados de los *Anovas* y también con las características descritas para esta zona de estudio (Podjowesky y Polunenard, 2004; Tonneijk *et al.*, 2008; IEE, 2014a; IEE, 2014b; IEE, 2014c; IEE, 2014d; Villarroel-Herrera, 2015).

Por otra parte, si analizamos los sitios de estudio bajo diferente CVUT en función de los componentes principales I y II (Fig. 5.25.3.), se puede comprobar que sólo una parte de

los Pastizales y los Bosques secundarios están relacionados entre sí (conformando un mismo grupo), y que éstos se caracterizan por altos contenidos de  $Ca_{as}$  y  $Mg_{as}$  y una alta relación  $NO_3^-/NH_4^+$ ; (esto es, son relativamente eutróficos, a la vez que indica que los Bosques secundarios se ha desarrollados a partir de los pastizales) y que se separan de los lugares netamente distróficos en el quedan incluidos los Páramos. Al primer grupo corresponden los sitios de Pastizal y Bosques secundario del Ángel, Chimborazo y Cajas.

En todo caso lo que se evidencia y confirma es que la MOS es un indicador y predictor de la calidad de sitios de primer orden, como ha sido señalado por Gallardo (2016), a la vez que arrastra otras variables más o menos dependientes.

Además de la MOS, las otras variables que están altamente correlacionadas con los Componentes principales I (CIC, Promedio de lluvia anual, estado de conservación, saturación de bases), II (relación C/N, relación  $NO_3^-/NH_4^+$ ) y III (contenido de arcillas y altitud), también pueden ser consideradas cómo indicadores de la calidad de sitios en ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador ya que, cómo se evidenció, tuvieron la capacidad de mostrar con gran claridad los 7 grupos de suelos que existen en las parcelas de estudio y sus principales características.

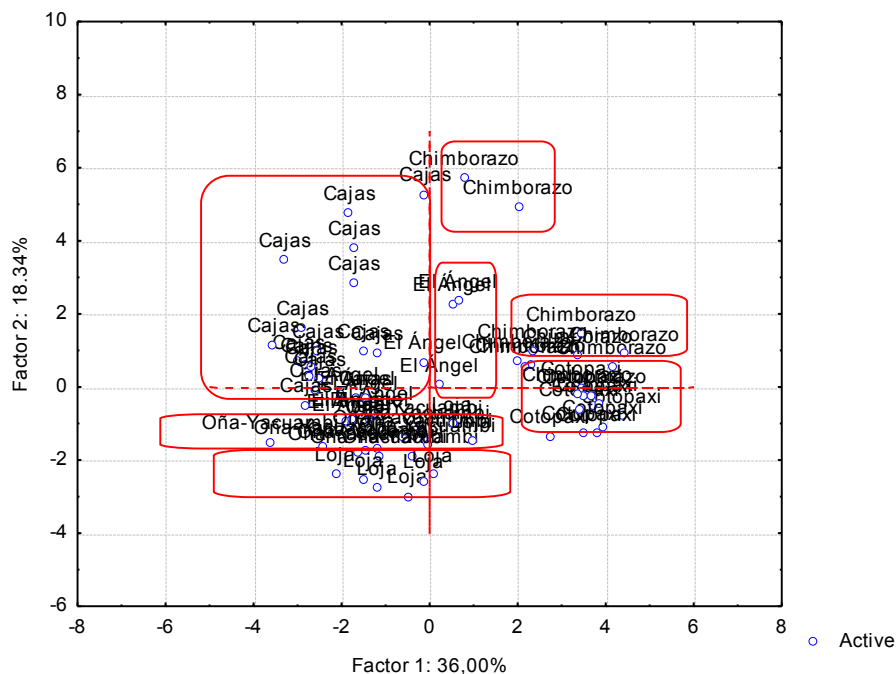


Figura 5.25.2. Sitios de estudio por zona en función del ACP (I y II)

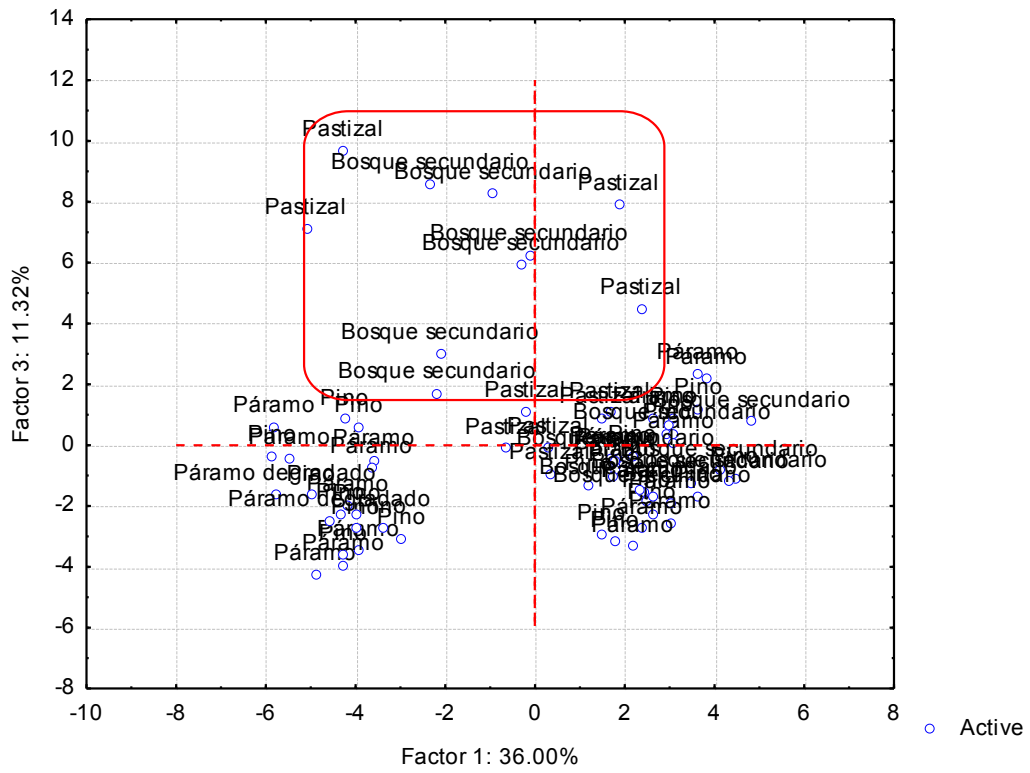


Figura 5.25.3 Sitios bajo diferente CVUT en función del ACP (I y III).

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES**



Los resultados de esta investigación permiten emitir las siguientes conclusiones:

1) La zona de estudio (y sus características ambientales) es el principal factor que influye sobre el contenido y calidad de la MOS, siendo las diferencias entre zonas significativas.

2) Los suelos de los sitios de estudio se pueden agrupar en seis diferentes clases de suelo (una clase por cada zona, con excepción de Chimborazo que tiene dos):

- a) Suelos del Ángel, que se corresponden con *Andosoles* alofánicos;
- b) Suelos del Cotopaxi, que se corresponden con *Andosoles* jóvenes;
- c) Suelos del Chimborazo, que corresponden con *Andosoles* vítricos e *Histosoles*;
- d) Suelos del Cajas, que se corresponden con *Andosoles* no alofánicos;
- e) Suelos de Oña Yacuambi, que se corresponden con *Histosoles*; y
- f) Suelos de Loja que se corresponden con *Entisoles*.

3) El factor anidado CVUT también afecta el contenido y calidad de la MOS y otros parámetros del suelo. Sin embargo, la interrelación entre la MOS y la zona de estudio es más fuerte que la interrelación entre la MOS y el tipo de CVUT.

4) La estación climática influye sobre la mayor parte de nutrientes del suelo (N inorgánico y P asimilable), así como también sobre la CIC total y el contenido de cationes de intercambio (Ca, Mg, Na y K).

5) Los sitios bajo Páramo muestran menor contenido de COL en todas las zonas de estudio, lo que indica una débil actividad microbiana que favorece la acumulación y conservación del COS, permitiendo la adsorción de nutrientes. Mientras que, por su parte, los sitios transformados (Bosques secundarios y Pastizales) presentan mayor COL y mayor lixiviación de nutrientes de N y bases intercambiables (Ca, Mg, Na y K).

6) Los resultados de la respiración potencial edáfica sugieren que el cambio del Páramo hacia otros sistemas estaría produciendo un aumento de la emisión de CO<sub>2</sub> del suelo hacia la atmosfera debido a la parcial mineralización de la MOS, dado que en todas las zonas de estudio evaluadas se evidencia que el cambio de CVUT hacia ecosistemas antropizados produce una disminución del contenido de MOS (oscilante entre el -4 al -18 %, dependiendo de la zona de estudio).

7) En todas las zonas de estudio (independientemente de su estado de conservación) los sitios transformados presentan menor contenido de MOS que los sitios con vegetación nativa (del 2 al 19%), lo que indica que la antropización de los ecosistemas naturales ha provocado significativas pérdidas de MOS y mayor emisión de CO<sub>2</sub>.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**





- Acevedo-Sandoval, O.; Cruz-Chávez, E.; Cruz-Sánchez, M.; Prieto-García F. y J. Prieto-Méndez. 2014. Sesquióxidos de hierro en bosques templado húmedos del estado de Hidalgo, México. *Rev. Fca Uncuyo*, 46(1), 109-123.
- Acosta, Y.; Paolini, J. 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo Calciothids enmendado con residuos orgánicos. *Agron. Trop*, 55(2), 217-232.
- Acosta-Solís, M. 1984. Los páramos andinos del Ecuador. *Publicaciones Científicas MAS*, Quito.
- Adams, K.; Fowler, A. 2006. Improving empirical relationships for predicting the effect of vegetation change on annual water yield. *Journal of hydrology*, 321(1-4), 90-115.
- Aguirre-Mendoza, Z.; Aguirre, N.; Merino, B.; Ochoa, I. 2015. Los páramos del Parque Nacional Podocarpus: una aproximación a su diversidad ecosistémica y florística. Pag: 65-104. En Aguirre, N.; Ojeda-Luna, T.; Eguiguren, P; Aguirre-Mendoza, Z. (Editores). 2015. Cambio climático y biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. *Programa de biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Universidad Nacional de Loja*. Ecuador. 272 pp.
- Ahn, M.; Zimmerman, A.; Comerford, N.; Sickman, J.; Grunwald, S. 2009. Carbon mineralization and labile organic carbon pools in the sandy soils of a North Florida watershed. *Ecosystems*, 12(4), 672-685.
- Alexandre, A.; Meunier, J.; Colin, F.; Koud, J. 1997. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(3), 677-682.
- Alippi, A.; López, A.; Balatti, P. 2011. Métodos para la detección de *Agrobacterium* a partir de muestras de material vegetal, suelo y agua. *Revista argentina de microbiología*, 43(4), 278-286.
- Almendáriz, A.; Orcés, G. 2004. Distribución de algunas especies de la herpetofauna de los pisos: altoandino, temperado y subtropical. *Politécnica* 25 (1) Biología 5: 97-150. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4791>
- Almendros, G. 2008. Revisión analítica de sustancias húmicas en suelos y compost. *II Conferencia internacional sobre eco-biología del suelo y el compost* 239-253. [http://www.soilace.com/pdf/pon2008/d26/Cas/04\\_GAlmendros.pdf](http://www.soilace.com/pdf/pon2008/d26/Cas/04_GAlmendros.pdf)
- Almendros, G. 2016. De la materia orgánica al suelo (Prologo). Pag. 21-35 en Gallardo, J.F. 2017. LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO. Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono. *RED POCAIBA. SiFyQA*. Salamanca, 388 pp.
- Alvarado, A.; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94. <http://www.redalyc.org/pdf/436/43629109.pdf>
- Apezteguía, H.; Sereno, R. 2011. Pérdida y recuperación de la materia orgánica edáfica en Córdoba (R. Argentina). 33-59. En: Turrión-Nieves M., García-Oliva, F. (eds). *Materia orgánica del suelo y sedimentos*. RED POCAIBA. SiFyQA, Salamanca. 281 pp.
- Aran, D.; Gury, M.; Jeanroy, E. 2001. Organo-metallic complexes in an Andosol: A comparative study with a Cambisol and Podzol. *Geoderma* 99, 65-79.

- Azpilicueta, C.; Aruani, M.; Reeb, P.; Sánchez, E. 2008. Structure of the soil nematode community under two levels of nitrogen fertilization in Alto Valle del Río Negro, Argentina. *Nematropica* 38:75-86.
- Baca, B.; Soto-Urzuza, L.; Pardo-Ruiz, P. 2000. Fijación biológica de nitrógeno. *Elementos* 38: 43-49. <http://www.elementos.buap.mx/num38/pdf/43.pdf>
- Badía, D.; Martí, C.; Aznar, J. y F. León. 2013. Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environments. *Geoderma*, 193-194, 13-21.
- Badii, M.; Guillen, A.; Abreu, J. 2014. Aplicación de ANOVA Anidada en la Investigación Científica (Nested ANOVA Application in Scientific Research). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 9(2), 12-17. [http://www.spentamexico.org/v9-n2/A2.9\(2\)12-17.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n2/A2.9(2)12-17.pdf)
- Bain, D.; Mellor, A.; Robertson-Rintoul, M.; Buckland, S. 1993. Variations in weathering processes and rates with time in a chronosequence of soils from Glen Feshie, Scotland. *Geoderma*, 57(3), 275-293.
- Baquero, F.; Sierra, R.; Ordóñez, L.; Tipán, M.; Espinosa, L.; Belen Rivera, M.; Soria, P. 2004. La vegetación de los Andes del Ecuador. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015040481>
- Barral, M.; Arias, M.; Díaz – Fierros, F. 1997. Influencia del hierro y aluminio en el contenido de materia orgánica del suelo. *Nova Acta Científica Compostelana*, 7,137-146.
- Barriga, R.; Ternaus, E. 2005. Primer hallazgo de una población paleoendémica del pez *Grundulus* cf. *bogotensis* (Humboldt, 1821) en los altos Andes del Ecuador. *Politécnica 26 (1) Biología* 6: 7-19. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5083>
- Bartoli, F.; Poulenard, A.; Schouller, B. 2007. Influence of allophane and organic matter contents on surface properties of Andosols. *European journal of soil science*, 58(2), 450-464.
- Basile-Doelsch, I.; Amundson, R.; Stone, W.; Masiello, C.; Bottero, J.; Colin, F.; Masin, F.; Borschneck, D.; Meunier, J. 2005. Mineralogical control of organic carbon dynamics in a volcanic ash soil on La Reunion. *Eur. J. Soil Sci.*, 56, 689-703.
- Bautista-Cruz, A.; Etchvers - Barra, J. del Castillo, R. y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas*, 13(2).
- Beakes, G. W., Honda, D., & Thines, M. (2014). 3 Systematics of the Straminipila: Labyrinthulomycota, Hyphochytriomycota, and Oomycota. In Systematics and evolution (pp. 39-97). Springer Berlin Heidelberg. [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-55318-9\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-55318-9_3)
- Bech, J.; Sokolovska, M.; Petrova, L.; Tonon, L.; Lansac, A. 2002. Humus nature of the soils in the upper Western Andes (Southern Ecuador). In 17. *World congress of soil science, Bangkok (Thailand), 14-21 Aug 2002*.
- Beery, M.; Wilding, L. 1971. The relationship between soil pH and base-saturation percentage for surface and subsoil horizons of selected mollisols, alfisols, and ultisols in Ohio.

- Beltrán, A.; Mendieta, P.; Vanegas, J. 2013. Calidad del agua y contaminantes en el río Tarqui. *Galileo*, (23): 115-121.  
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/galileo/article/view/171>
- Beltrán, K.; Salgado, S.; Cuesta, F.; León-Yáñez, S.; Romoleroux, K.; Ortiz, E.; Velástegui, A. 2009. Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. *EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA*. Quito.  
<http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43576.pdf>
- Bending, G. D.; Putland, C.; Rayns, F. 2000. Changes in microbial community metabolism and labile organic matter fractions as early indicators of the impact of management on soil biological quality. *Biology and Fertility of Soils*, 31(1), 78-84.
- Benitez, A.; Prieto, M.; Aragón, G.; Gradstein, R. (2011). Adiciones a la flora de briófitas del Ecuador. *Cryptogamie, Bryologie*, 32(1), 65-74.
- Berhe, A.; Kleber, M. 2013. Erosion, deposition, and the persistence of soil organic matter: mechanistic considerations and problems with terminology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(8), 908-912.
- Berthrong, S. T.; Jobbágy, E.; Jackson, R. 2009. A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, carbon, and nitrogen with afforestation. *Ecological Applications*, 19(8), 2228-2241.
- Binkley, D.; Giardina, C.; Baskin, M. 2000. Soil phosphorus pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia facaltaria*. *Forest Ecology and Management* 128: 241-247.
- Bireescu, G.; Bireescu, L.; Anton, I.; Dana, D. 2008b. Pedo-biological and pedo-ecological researches on the quality of soil resources. *Lucrări Științifice – vol. 51, seria Agronomie*: 173-178.  
[http://www.revagrois.ro/PDF/2008\\_1\\_173.pdf](http://www.revagrois.ro/PDF/2008_1_173.pdf).
- Bireescu, L.; Bireescu, G.; Anton, J.; Dana, D.; Teodorescu-soare, E. 2008a. Ecopedological researches on soil resources from natural and anthropogenic ecosystems from Moldavian plain. *Lucrări Științifice – vol. 51, seria Agronomie*: 165-172.  
[http://www.revagrois.ro/PDF/2008\\_1\\_165.pdf](http://www.revagrois.ro/PDF/2008_1_165.pdf)
- Blair, G.; Lefroy, R.; Lisle, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian journal of agricultural research*, 46(7), 1459-1466.
- Blanca-Mena, J. 2004. Alternativas de análisis estadístico en los diseños de medidas repetidas. *Psicothema*, 16(3). <http://www.redalyc.org/html/htmlmL/727/72716326/>
- Blankinship, J.; Fonte, S.; Six, J.; Schimel, J. 2016. Plant versus microbial controls on soil aggregate stability in a seasonally dry ecosystem. *Geoderma*, 272, 39-50.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706116301069>

- Blume, H.; Brümmer, G.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Wilke, M. 2016. Introduction: Soils—The Earth's Skin. In Scheffer/Schachtschabel Soil Science (pp. 1-6). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-30942-7\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-30942-7_1)
- Bockheim, J.; Gennadiyev, A.; Hammer, R.; Tandarich, J. 2005. Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*, 124, 23–36.
- Bollag, J.; Dec, J.; Huang, P. 1997. Formation mechanisms of complex organic structures in soil habitats. In Advances in Agronomy (Vol. 63, pp. 237-266). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S006521130860245X>
- Bonilla-Correa, C.; López, D.; de Prager, M. 2002. El suelo: los organismos que lo habitan. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. [http://www.uneditorial.net/uflip/El-suelo-los-organismos-que-lo-habitan\\_Uflip.pdf](http://www.uneditorial.net/uflip/El-suelo-los-organismos-que-lo-habitan/pubData/source/El-suelo-los-organismos-que-lo-habitan_Uflip.pdf)
- Bosch, J.; Hewlett, J. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of hydrology*, 55(1-4), 3-23.
- Boudot, J. 1992. Relative efficiency of complexed aluminum, noncrystalline Al hydroxide, allophane and imogolite in retarding the biodegradation of citric acid. *Geoderma*, 52, 29-39.
- Boudot, J.; Hadj Brahim, A.; Chone, T. 1986. Carbon mineralization in andosols and aluminium- rich highland soils. *Soil Biol. Biochem.*, 18, 457-461.
- Braun-Blanquet, J. 1972. Plant sociology: the study of plant communities (Fac simile of the edition of 1932, translated by Fuller GD and Conrad HS).
- Braun-Blanquet, J.; Fuller, G.; Conard, H. 1932. Plant sociology. The study of plant communities. Plant sociology. The study of plant communities. Authorized English translation PFLANZENSOZIOLOGIE. Editorial McGraw-Hill, 439 pp. New York and London. <http://krishikosh.egranth.ac.in/bitstream/1/22218/1/BPT7871.pdf>
- Bremer, E.; Ellert, B.; Janzen, H. 1995. Total and light-fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59: 1398-1403.
- Bretón, V. 2008. From Agrarian Reform to Ethnodevelopment in the Highlands of Ecuador. *Journal of Agrarian Change*, 8, 583-617. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1471-0366.2008.00181.x>
- Broquen, P.; Lobartini, J.; Candan, F.; Falbo, G. 2005. Allophane, aluminum, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash soils of Argentina. *Geoderma*, 129, 167-177.
- Brussaard, L. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, 563-570.
- Bustos, A.; Bustos, E. 2007. La protección de la microcuenca del río Chimborazo a través de la implementación del plan de manejo ambiental, participativo y sustentable de los recursos agua y suelo. CEAS. Riobamba-Ecuador. 24 pp.

- Buytaert, W.; Celleri, R.; Willems, P.; De Bievre, B.; Wyseure, G. (2006b). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of hydrology*, 329(3-4), 413-421.
- Buytaert, W.; De Bièvre, B.; Celleri, R.; Cisneros, F.; Wyseure, G.; Deckers, S. 2008. Comment on “Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes”(Carol P. Harden, *Geomorphology* 79, 249–263). *Geomorphology*, 96(1-2), 239-242.
- Buytaert, W.; Deckers, J.; Dercon, G.; De Bievre, B.; Poesen, J.; Govers, G. 2002. Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use & Management*, 18: 94-100.
- Buytaert, W.; Deckers, J.; Wyseure, G. 2006. Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo). *Geomorphology*, 73(3), 207-221.
- Buytaert, W.; Deckers, J.; Wyseure, G. 2007. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena*, 70, 143-154.
- Campos, A.; Oleschko, K.; Cruz - Huerta, L.; Etchevers, J.; Hidalgo, M. 2001. Estimación de alofano y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. *Terra*, 19, 105-116.
- Carbajal, M.; Iglesias, M.; Zalocar, Y. 2000. Degradación de celulosa y presencia de algas y cianobacterias en cuatro suelos arroceros de la Provincia de Corrientes. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Carmer, S.; Swanson, M. 1971. Detection of Differences Between Means: A Monte Carlo Study of Five Pairwise Multiple Comparison Procedures 1. *Agronomy Journal*, 63(6), 940-945. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/63/6/AJ0630060940>
- Carmer, S.; Walker, W. 1982. Baby Bear's Dilemma: A Statistical Tale 1. *Agronomy Journal*, 74(1), 122-124. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/74/1/AJ0740010122>
- Carrión, J. 2000. Breves consideraciones sobre la avifauna paramera del Ecuador. *Serie Páramo (Biodiversidad)*, 7, 23-30.
- Castaldi, P.; Santona, L.; Melis, P. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. *Chemosphere*, 60(3), 365-371. [https://ac.els-cdn.com/S0045653504012068/1-s2.0-S0045653504012068-main.pdf?\\_tid=bf3f61a-7243-4f1a-a42e-ab63e1984506&acdnat=1520974519\\_97f660515328741b7298249e5f082865](https://ac.els-cdn.com/S0045653504012068/1-s2.0-S0045653504012068-main.pdf?_tid=bf3f61a-7243-4f1a-a42e-ab63e1984506&acdnat=1520974519_97f660515328741b7298249e5f082865)
- Castillo, D.; Carrasco, J.; Quevedo, L.; Ricaurte, C.; Gavilanes, A.; Borz, S. 2017. Diversity, composition and structure of andean high forest in Ecuador, South America. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II*, 10(2), 1-16. [http://webbut.unitbv.ro/Bulletin/Series%20II/2017/BULETIN%20I/01\\_Castillo-MARE.pdf](http://webbut.unitbv.ro/Bulletin/Series%20II/2017/BULETIN%20I/01_Castillo-MARE.pdf)
- Cayuela, L. 2010. Modelos lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA. Eco Lab, Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada. *Notas de clase*, 1-57.

[https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_asignaturas/asig202218/informacion\\_academica/2-Modelos%20lineales.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig202218/informacion_academica/2-Modelos%20lineales.pdf)

- Celleri, R. 2010. La regulación hídrica en los páramos de la provincia de Chimborazo. Pag.: 57-59 y Anexo 6. En Bustamante, Alban y Arguello (edts) 2011. Los páramos de Chimborazo. Un estudio socioambiental para la toma de decisiones. *Gobierno Autónomo descentralizado del Chimborazo/ECOCIENCIA/CONDESAN/Programa BioAndes/ Proyecto Paramo Andino Quito*. 154 pp.
- Cepáková, Š.; Tošner, Z.; Frouz, J. 2016. The effect of tree species on seasonal fluctuations in water-soluble and hot water-extractable organic matter at post-mining sites. *Geoderma*, 275, 19-27. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706116301537>
- Chacón, G.; Gagnon, D.; Paré, D. 2009. Comparison of soil properties of native forest, *Pinus patula* plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects? *Soil use & Management*, 25: 247-433.
- Chacón, G.; Gagnon, D.; Paré, D. 2015 Soil Agricultural Potential in Four Common Andean Land Use Types in the Highlands of Southern Ecuador as Revealed by a Corn Bioassay. *Agricultural Sciences*, 6, 1129-1140. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.610108>
- Chacón, G.; Gagnon, D.; Paré, D. 2016. Quinoa biomass production capacity and soil nutrient deficiencies in pastures, tree plantations and native forests in the Andean Highlands of Southern Ecuador. DOI:10.17163/lgr.n24.2016.02
- Chang, C. W. 1961. Effects of Saline Irrigation Water and Exchangeable Sodium on Soil Properties and Growth of Alfalfa. *Soil Science*, 91(1), 29-37.
- Chapela, I.; Osher, L.; Horton, T.; Henn, M. 2001. Ectomycorrhizal fungi introduced with exotic pine plantations induce soil carbon depletion. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(12-13), 1733-1740.
- Chapin III, F.; Chapin, M.; Matson, P.; Vitousek, P. 2011. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer.
- Chapin, F.; Matson, P.; Mooney, H. 2002. *Terrestrial decomposition* (pp. 151-175). Springer New York.
- Chenu, C.; Le Bissonnais, Y.; Arrouays, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1479-1486.
- Chiaradia, M.; Fontboté, L.; Beate, B. 2004. Cenozoic continental arc magmatism and associated mineralization in Ecuador. *Mineralium Deposita*, 39(2), 204-222.
- Chorover, J.; Amistadi, M.; Chadwick, O. 2004. Surface charge evolution of mineral-organic complexes during pedogenesis in Hawaiian basalt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(23), 4859-4876.
- Ciarlo, E.; Cosentino, D.; Heredia, O.; Conti, M. 2004. Efecto del uso del suelo sobre fracciones de la materia orgánica y cantidad de agregados estables. *Revista Científica Agropecuaria*, 8(2): 15-23.

- Cierjacks, A.; Rühr, N.; Wesche, K.; Hensen, I. 2008. Effects of altitude and livestock on the regeneration of two tree line forming *Polylepis* species in Ecuador. *Plant Ecology*, 194(2), 207-221.
- Clapperton, C. 1993. Glacier readvances in the Andes at 12 500–10 000 YR BP: Implications for mechanism of Late- glacial climatic change. *Journal of Quaternary Science*, 8(3), 197-215. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jqs.3390080303>
- Clarholm, M. 1985. Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(2), 181-187.
- Cleef, A.; Van der Hammen, T.; Hooghiemstra, H. 1993. The savanna relationship in the Andean paramo flora. La relación de la sabana en la flora de páramo andino. *Opera Botanica* (121), 285-290. <http://kdb.kew.org/kdb/detailedresult.do?id=299559>
- Colmet - Daage, F.; Kimpe, C.; Delaune, M.; Sieffermann, G.; Gautheyrou, J.; Gautheyrou, M.; Koukoui, M. 1969. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques: 3ème partie. Comparaison de l'évolution de quelques sols des régions tropicales chaudes et tempérées froides d'altitude. *Cahiers ORSTOM. Serie Pedologie*, 7(4), 495-560.
- Coltorti, M.; Ollier, C. 2000. Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes. *Geomorphology*, 32(1-2), 1-19.
- Conn, H. 1916. A possible function of Actinomycetes in soil. *Journal of bacteriology*, 1(2), 197.
- Coppus, R.; Endara, L.; Nonhebel, M.; Mera, V.; León-Yáñez, S.; Mena Vásconez, P.; Wolf, J.; Hofstede, R. 2001. El estado de salud de algunos páramos en el Ecuador: una metodología de campo. Pp 219-240 en Mena Vásconez, P; Medina, G.; Hofstede, R (eds.): Los páramos del Ecuador: Particularidades, problemas y perspectivas. *Abya Yala/Proyecto Páramo*. Quito
- Cotopaxi en Cifras. 2005. Biodiversidad y Población. 2005. EcoCiencia/HCP. Quito-Ecuador. Citado por Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). 2010. Plan de Manejo del Parque Nacional Cotopaxi. Quito-Ecuador. 122 pp.
- Craswell, E.; Lefroy, R. 2001. The role and function of organic matter in tropical soils. In *Managing Organic Matter in Tropical Soils: Scope and Limitations* (pp. 7-18). *Springer*, Dordrecht. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2172-1\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2172-1_2)
- Crews, T. E. 1999. The presence of nitrogen fixing legumes in terrestrial communities: evolutionary vs ecological considerations. *Biogeochemistry* 46: 233-246.
- Crews, T.; Kitayama, K.; Fownes, J.; Riley, H.; Herbert, D.; Mueller-Dombois, D.; Vitousek, P. 1995. Changes in soil phosphorus fractions and ecosystem dynamics across a long chronosequence in Hawaii. *Ecology*, 76(5), 1407-1424.
- Cuesta, F; Báez, S; Muriel, P; Salgado, S. 2014. La vegetación de los páramos del Ecuador. En: Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, *CONDESAN*, 106-143p. <http://pucedspace.puce.edu.ec/handle/23000/1052>



- Cueva, A.; Zazueta, C.; Payan, J. G.; Yépez, A. 2016. Soil respiration in Mexico: Advances and future directions. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 34(3), 253-269.
- Cueva, S.; Rodríguez, C.; Cruz, N.; Contreras, J.; Miranda, J. 2016. Changes in bacterial populations during bioremediation of soil contaminated with petroleum hydrocarbons. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(3), 9
- Cuevas, E.; E. Medina. 1998. The role of nutrient cycling in the conservation of soil fertility in tropical forest ecosystems. Pag. 263-278. En Gopal, B. Pathak, P. S. y G. Saxena. (Eds.). *Ecology Today: An Anthology of Contemporary Ecological Research*. Internacional Scientific Publications. New Delhi, India.
- Cummins, K.; Sedell, J.; Swanson, F.; Minshall, G.; Fisher, S.; Cushing, C.; Vannote, R. 1983. Organic matter budgets for stream ecosystems: problems in their evaluation. In *Stream ecology* (pp. 299-353). *Springer*, Boston, MA.
- Cunalata, C.; Inga, C.; Álvarez, G.; Recalde, C.; Echeverría, M. 2013. Determinación de carbono orgánico total presente en el suelo y la biomasa de los páramos de las comunidades de chimborazo y shobol llinllin en Ecuador. *Boletín Grupo especial Carbón*, 10-13.
- Czerniak, A.; Poszyler-Adamska, A. 2007. Soil and assimilatory organs of trees as indicators in dioxin monitoring of the forest environment. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (3). <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-64a784dc-b76f-4e49-9c69-9fc764ba5412>
- Czylok, A.; Szymczyk, A. 2009. Sand quarries as biotopes of rare and critically endangered plant species. En Mirek; Z.; Nikel, A. Eeds) 2009. Rare, relict and endangered plants and fungi in Poland. W. Szafer Institute of Botany, *Polish Academy of Sciences*, Kraków, pp. 187–192. <https://chamo.bj.uj.edu.pl/uj/lib/item?id=chamo:788153&fromLocationLink=false&theme=sistem>
- Dahlgren, R.; Saigusa, M. 1994. Aluminum release rates from allophanic and nonallophanic Andosols. *Soil science and plant nutrition*, 40(1), 125-136.
- Dahlgren, R.; Saigusa, M.; Ugolini, F. 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy*, 82, 113-182.
- Davidson, E.; Janssens, I. A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440(7081), 165.
- DeForest, J. L. 2009. The influence of time, storage temperature, and substrate age on potential soil enzyme activity in acidic forest soils using MUB-linked substrates and L-DOPA. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6), 1180-1186.
- Degens, E. 1967. Diagenesis of organic matter. In *Developments in Sedimentology* (Vol. 8, pp. 343-390). *Elsevier*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S007045710870846X>
- Deng, S.; Tabatabai, M. 1996. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 22(3), 202-207.

- DEUCHIM (Departamento de Estadística de la Universidad Carlos III de Madrid). Sin año. Modelo de diseños anidados y cruzado-anidados. Pp: 1-29. Consulta 13/06/2017. <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema5de.pdf>
- Dighton, J.; White, J.; Oudemans, P. (eds). 2005. "The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem." 3rd ed. Taylor & Francis, Boca Raton. [1st ed. (1981), D. T. Wicklow, and G. C. Carroll, eds., Dekker, New York, and 2nd ed. (1992), G. C. Carroll, and D. T. Wicklow, eds., Dekker, New York, are both useful and independent volumes.] Disponible en <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qG5dDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+Fungal+Community:+Its+Organization+and+Role+in+the+Ecosystem&ots=A-ZVmKbU1U&sig=qaWwIsvhK3mYZh-IJazYRKtRnxE#v=onepage&q=The%20Fungal%20Community%3A%20Its%20Organization%20and%20Role%20in%20the%20Ecosystem&f=false>
- Diovisalvi, N.; Studdert, G.; Domínguez, G.; Eiza, M. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. *Ciencia del suelo*, 26(1), 1-11.
- Domínguez, J.; Aira, M.; Gómez-Brandón, M. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Revista Ecosistemas*, 18(2): 20-31.
- Drever, J.; Vance, G. 1994. Role of soil organic acids in mineral weathering processes. In *Organic acids in geological processes* (pp. 138-161). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-78356-2\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-78356-2_6)
- Ducrottoy, J. 2010. The use of biotopes in assessing the environmental quality of tidal estuaries in Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(3), 317-321. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771409002613>
- Eguiguren, P.; Santín, A.; Vidal, E.; Aguirre, N. 2015. Reservorios de carbono en los páramos del Parque Nacional Podocarpus. Pag. 211-225. En Aguirre, N.; Ojeda-Luna, T.; Eguiguren, P.; Aguirre-Mendoza, Z. (Editores). 2015. Cambio climático y biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. Programa de biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 272 pp. [http://www.citiab.com/uploads/5/0/9/8/50985453/libro\\_biodiversidad\\_cambio\\_climatico\\_marzo\\_2016.pdf](http://www.citiab.com/uploads/5/0/9/8/50985453/libro_biodiversidad_cambio_climatico_marzo_2016.pdf)
- Ekelund, F. 1998. Enumeration and abundance of mycophagous protozoa in soil, with special emphasis on heterotrophic flagellates. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10-11), 1343-1347.
- Escobar, C.; Horna, Y.; Carreño, C.; Mendoza, G. 2011. Caracterización de cepas nativas de *Azotobacter* spp. y su efecto en el desarrollo de *Lycopersicon esculentum* Mill. "tomate" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 2(1).

- Espín-Dueñas, V.; Espinoza-León, M. 2011. Manejo integral de la microcuenca hidrográfica del río El Ángel, localizada entre las poblaciones de La Libertad y El Angel en la provincia del Carchi. Universidad Pontificia Católica del Ecuador. 145 pp.  
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/3590>
- Espinosa, J. 2004. Suelos volcánicos, dinámica del fosforo y producción de papa. In *Memorias del XVI congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. SCCS, Cartagena, Colombia*.
- Espinosa, J. 2008. Distribución, uso y manejo de los suelos de la Región Andina. In XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. *Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo*, Quito, Ecuador.
- Espinosa, J.; Rivera, D. 2016. Variations in water resources availability at the Ecuadorian páramo due to land-use changes. *Environmental Earth Sciences*, 75(16), 1173.
- Eswaran, H.; Van Den Berg, E.; Reich, P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil science society of America journal*, 57(1), 192-194.
- ETAPA, Corporación Municipal Parque Nacional Cajas y Comité Promotor para la nominación ante UNESCO. 2012. Propuesta para la declaratoria de la Reserva de Biosfera dirigida a la UNESCO denominada: Área de Biosfera del Macizo Cajas. 230 pp.
- Ettinger, S.; Manville, V.; Kruse, S.; Paris, R. 2014. GPR-derived architecture of a lahar-generated fan at Cotopaxi volcano, Ecuador. *Geomorphology*, 213, 225-239.
- Ewel, J.; Berish, C.; Brown, B.; Price, N.; Raich, J. 1981. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. *Ecology*, 62(3), 816-829.
- Eyherabide, M.; Saínz Rozas, H.; Barbieri, P.; Echeverría, H. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672014000100002&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672014000100002&script=sci_arttext&tlng=en)
- Falkowski, P.; Fenchel, T.; Delong, E. 2008. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science*, 320(5879), 1034-1039.  
[http://eebweb.arizona.edu/faculty/saleska/SWES.410.510/Readings/Falkowski.2008\\_Microbes\\_biogeochemistry\\_Science.pdf](http://eebweb.arizona.edu/faculty/saleska/SWES.410.510/Readings/Falkowski.2008_Microbes_biogeochemistry_Science.pdf)
- Falkowski, P.; Scholes, R.; Boyle, E.; Canadell, J.; Canfield, D.; Elser, J.; Mackenzie, F. T. 2000. The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. *Science*, 290(5490), 291-296.  
<http://science.sciencemag.org/content/290/5490/291>
- Farley, K.; Bremer, L.; Harden, C.; Hartsig, J. 2013. Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services. *Conservation Letters*, 6(1), 21-27.
- Farley, K.; Kelly, E. 2004. Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology & Management*, 195: 281–290.

- Farley, K.; Kelly, F.; Hofstede, R. 2004. Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems*, 7(7), 729-739.
- FCNYM (Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad de la Plata en Argentina). 2016. Cátedra de ecología de comunidades y ecosistemas. Tema: Métodos de Clasificación - Método del relevé. 7 pp. <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN4a.pdf>
- Fehse, J.; Hofstede, R.; Aguirre, N.; Paladines, C.; Kooijman, A.; Sevink, J. 2002. High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink?. *Forest Ecology and Management*, 163(1-3), 9-25.
- Fernández Linares, L.; Avelizapa, R.; Carrillo, R.; Islas, R.; Elenacoaut, M. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados (No. C/631.41 M3). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México*, 184 p. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>
- Filgueira, R.; Pachepsky, Y.; Fournier, L.; García, M.; Sarli, G. 2006. Sedimentación de partículas con distribución de tamaño fractal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10.
- Fitter, A.; Gilligan, C.; Hollingworth, K.; Kleczkowski, A.; Twyman, R.; Pitchford, J. 2005. Biodiversity and ecosystem function in soil. *Functional Ecology*, 19(3), 369-377.
- Florentino, A. 2006. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. *Venesuelos*, 14(1), 48-70. <http://www.venesuelos.org.ve/index.php/venesuelos/article/view/105/105>
- Foissner, W. 1994. Soil protozoa as bioindicators in ecosystems under human influence. In: Soil Protozoa. Darbyshire, J.F. (ed.). CAB International, Wallingford, UK, pp. 147-194.
- Fontaine, S.; Barot, S.; Barré, P.; Bdioui, N.; Mary, B.; Rumpel, C. 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature*, 450(7167), 277-280.
- Fontaine, S.; Mariotti, A.; Abbadie, L. 2003. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition?. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 837-843. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071703001238>
- Gabriels, D.; Lobo, D. 2006. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14(1), 37-48. <http://venesuelos.org.ve/index.php/venesuelos/article/view/104>
- GAD de Oña (Gobierno Autónomo Descentralizado de Oña). 2014. Plan de ordenamiento territorial del cantón Oña. Azuay - Ecuador. 461 pp.
- GAD de Urdaneta (Gobierno Autónomo Descentralizado de Urdaneta). 2015. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Urdaneta 2014 – 2019. Loja – Ecuador. 288 pp.
- Galantini, J. ; Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, 25(1), 41-55.
- Galantini, J.; Rosell, R.; Brunetti, G.; Senesi, N. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo*, 20(1), 17-26.

- Gallardo, A.; Covelo, F.; Morillas, L.; Delgado, M. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Revista Ecosistemas*, 18(2).
- Gallardo, J.; Cuadrado, S.; Prat, L. 1980. Características de los suelos forestales de la Sierra de Gata. *Studia Oecol.*, 1: 261-264.
- Gallardo, J.F. 2016. LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO. Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono. RED POCAIBA. SiFyQA. Salamanca, 388 pp.
- Gange, A. C.; Brown, V.; Farmer, L. 1990. A test of mycorrhizal benefit in an early successional plant community. *New Phytologist*, 115(1), 85-91.
- García-Montiel, D.; Binkley, D. 1998. Effects of Eucalyptus saligna and Albizia facaltaria on soil processes and nitrogen supply in Hawaii. *Oecologia* 113: 547-556.
- García-Novo, F.; Crawford, R. 1973. Soil aeration, nitrate reduction and flooding tolerance in higher plants. *New Phytologist*, 72(5), 1031-1039.
- García-Novo, F.; Crawford, R. 1973. Soil aeration, nitrate reduction and flooding tolerance in higher plants. *New Phytologist*, 72(5), 1031-1039.
- Garrett, S. 1951. Ecological groups of soil fungi: a survey of substrate relationships. *New Phytologist*, 50(2), 149-166. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1951.tb05179.x/pdf>
- George, M.; Anjumol, A.; George, G.; Hatha, A. 2012. Distribution and bioactive potential of soil actinomycetes from different ecological habitats. *African Journal of Microbiology Research*, 6(10), 2265-2271. <http://www.academicjournals.org/journal/AJMR/article-full-text-pdf/C60536A23392>
- Ghani, A.; Dexter, M.; Perrott, K. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil biology and biochemistry*, 35(9), 1231-1243. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003807170300186X>
- Gil-Sotres, F.; Trasar-Cepeda, C.; Leirós, M.; Seoane, S. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(5), 877-887.
- Goller, R.; Wilcke, W.; Fleischbein, K.; Valarezo, C.; Zech, W. 2006. Dissolved nitrogen, phosphorus, and sulfur forms in the ecosystem fluxes of a montane forest in Ecuador. *Biogeochemistry*, 77(1), 57-89.
- Gondard, P. 1976. Zonas agrícolas de la Sierra. *Boletín del Instituto Panamericano de Geografía e Historia–Sección nacional del Ecuador*, (9-10), 1-7. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_02-03/03644.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_02-03/03644.pdf)
- González-Gairud, C. 2010. Problemas de ordenamiento territorial, relacionados con el Marco geológico, geomorfológico y los recursos hídricos de la cuenca del río Ángel. Carchi, Ecuador. Citado por Espín-Dueñas, V.; Espinoza-León, M. 2011. Manejo integral de la microcuenca hidrográfica del río El Ángel, localizada entre las poblaciones de La Libertad y El Ángel en la

- provincia del Carchi. Universidad Pontificia Católica del Ecuador. 145 pp.  
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/3590>
- González-Naranjo, V.; Leal, M.; Lillo, J.; De Bustamante, I.; Palacios, M. 2012. Guía de caracterización edáfica para actividades de regeneración de aguas residuales en usos ambientales. Gobierno de España. *Consolider Tragua Ediciones*. 42pp.  
[http://eprints.imdea-agua.org:13000/51/1/guia\\_caracterizacion\\_edafica.pdf](http://eprints.imdea-agua.org:13000/51/1/guia_caracterizacion_edafica.pdf)
- Goodfellow, M.; Williams, S. 1983. Ecology of actinomycetes. *Annual Reviews in Microbiology*, 37(1), 189-216.  
<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.mi.37.100183.001201?journalCode=micr>
- Griffiths, B. 1994. Microbial-feeding nematodes and protozoa in soil: Their effect on microbial activity and nitrogen mineralization in decomposition hotspots and the rhizosphere. *Plant and Soil*, 164(1), 25-33.
- Grubb, P. J. 1995. Mineral nutrients and soil fertility in tropical rain forest. Pag. 308 – 330. En: Lugo A. E. y C. Lowe (Eds.). *Tropical Forest: Management and Ecology*. Ecological Studies 112. Springer-Verlag. USA.
- Guerra, A. 1994. The effect of organic matter content on soil erosion in simulated rainfall experiments in W. Sussex, UK. *Soil use and management*, 10(2), 60-64.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.1994.tb00460.x/full>
- Günter, S.; González, P.; Álvarez, G.; Aguirre, N.; Palomeque, X.; Haubrich, F.; Weber, M. 2009. Determinants for successful reforestation of abandoned pastures in the Andes: soil conditions and vegetation cover. *Forest Ecology and Management*, 258(2), 81-91.
- Guo, L.; Gifford, R. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, 8(4), 345-360.
- Hall, K.; Thorn, C.; Sumner, P. 2012. On the persistence of ‘weathering’. *Geomorphology*, 149, 1-10.
- Hall, M. 1977. El volcanismo en el Ecuador. IPGH, Sección Nacional del Ecuador. 120 pp.
- Hall, M. y J. Calle. 1982. Geochronological control for the main tectonic-magmatic events of Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 18(3), 215-239.
- Hamer, U.; Potthast, K.; Burneo, J.; Makeschin, F. 2013. Nutrient stocks and phosphorus fractions in mountain soils of Southern Ecuador after conversion of forest to pasture. *Biogeochemistry*, 112(1-3), 495-510.
- Hamer, U.; Potthast, K.; Makeschin, F. 2009. Urea fertilisation affected soil organic matter dynamics and microbial community structure in pasture soils of Southern Ecuador. *Applied Soil Ecology*, 43(2), 226-233.
- Harden, C. 2007. Two soil toposequences in a tropical glacial trough, southern Ecuador. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 51(2), 139-152.

- Hättenschwiler, S.; Tiunov, A.; Scheu, S. 2005. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 36, 191-218.
- Havlicek, E.; Mitchell, E. 2014. Soils supporting biodiversity. In *Interactions in Soil: Promoting Plant Growth* (pp. 27-58). *Springer*, Dordrecht.  
[http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloadaddocument/9789](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9789)
- Hawkes, C. 2003. Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. *Revista Ecosistemas* 2003/2 (URL:  
<http://www.aeet.org/ecosistemas/032/investigacion3.htm>)
- Hayes, M.; Clapp, C. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*, 166, 723 – 737.
- Henry, A.; Mabit, L.; Jaramillo, R.; Cartagena, Y.; Lynch, J. 2012. Land use effects on erosion and carbon storage of the Río Chimbo watershed, Ecuador. *Plant & Soil*. DOI 10.1007/s11104-012-1478-Y.
- Heritage, J.; Evans, E.; Killington, R. 1999. *Microbiology in action*. *Cambridge University Press*. 307 pp.
- Herve, D. 1996. Algunos métodos de investigación en suelos. ORSTOM. La Paz-Bolivia. 54pp.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/39853297.pdf>
- Hiscock, K.; Tyler-Walters, H. 2003. Assessing the sensitivity of seabed biotopes to human activities and natural events. In: *Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information SubProgramme*. *Marine Biological Association of the United Kingdom, Plymouth*. Available from: (accessed 13.06.05). [http://plymsea.ac.uk/7021/1/Biotope\\_sens\\_brochure.pdf](http://plymsea.ac.uk/7021/1/Biotope_sens_brochure.pdf)
- Hobbie, S. 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. *Trends Ecology and Evolution* 7: 336-339.
- Hoffmann, L. 1989. Algae of terrestrial habitats. *The Botanical Review*, 55(2), 77-105.
- Hofstede, R. 2001. El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. Los páramos del Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. *Abya Yala/Proyecto Páramo*, Quito, Ecuador, 161-185.  
[http://www.portalces.org/sites/default/files/references/095\\_Hofstede%202001%20Paramo%20Ecuador%20impacto.pdf](http://www.portalces.org/sites/default/files/references/095_Hofstede%202001%20Paramo%20Ecuador%20impacto.pdf)
- Hofstede, R. 2004. Health state of Páramos: an effort to correlate science and practice. *Lyonia a journal of ecology and application*, 6(1), 61-73.  
[http://www.lyonia.org/articles/rbusmann/article\\_266/pdf/article.pdf](http://www.lyonia.org/articles/rbusmann/article_266/pdf/article.pdf)
- Hofstede, R.; Aguirre, N. 1999. Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la Sierra del Ecuador. *El Páramo Como Espacio de Mitigación de Carbono Atmosferico, Serie Páramo*, 1, 29-51.
- Hofstede, R.; Copus, R.; Vásquez, P.; Segarra, P.; Wolf, J.; Sevink, J. 2002a. El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos*, 15(1), 3-18.

- Hofstede, R.; Groenendijk, J.; Coppus, R.; Fehse, J. Sevink, J. 2002b. Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development* 22 (2): 159-167
- Hofstede, R.; Lips, J.; Jongsma, W. 1998. Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador: Revisión de literatura.  
[http://www.portalces.org/sites/default/files/references/036\\_Hofstede%20et%20al%201998.pdf](http://www.portalces.org/sites/default/files/references/036_Hofstede%20et%20al%201998.pdf)
- Hoorman, J. 2011. The role of soil protozoa and nematodes. Fact Sheet: Agriculture and Natural Resources.(Smith KL), The Ohio State University Extension, Columbus, Ohio.  
<http://ny24000991.schoolwires.net/cms/lib03/NY24000991/Centricity/Domain/10/the%20role%20of%20soil%20nemotodes%20and%20protozoa%20%20OSU%20fact%20sheet.pdf>
- Hörmann, P.K.; Pichler, H. 1982. Geochemistry, petrology and origin of the Cenozoic volcanic rocks of the Northern Andes in Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 12 (3–4), 259–282.
- Horwath, W. 2007. Carbon Cycling and Formation of Soil Organic Matter. 303-339. En Paul, E. (Ed). 2007. Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry. Tercera Edición. *Academic Press is an imprint of Elsevier* . USA and UK. 535 pp.
- Hungerbühler, D.; Steinmann, M.; Winkler, W.; Seward, D.; Egüez, A.; Peterson, D.; Hammer, C. 2002. Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1), 75-124.
- Huygens, D.; Boeckx, P.; van Cleemput, O.; Oyarzun, C.; Godoy, R. 2005. Aggregate and soil organic carbon dynamics in South Chilean Andisols. *Biogeosciences*, 2, 159-174.
- IBM. 2013. IBM SPSS Advanced Statistics 22. 14 pp  
[.http://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/22.0/es/client/Manuals/IBM\\_SPSS\\_Advanced\\_Statistics.pdf](http://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/22.0/es/client/Manuals/IBM_SPSS_Advanced_Statistics.pdf)
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2012a. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Perfil de suelo No. PM1-P039, fecha: 2012-06-04 autor(es): Yáñez, D. 4 pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM1-P039.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2012b. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Perfil de suelo No. PM4-P034, fecha: 2012-06-04 autor(es): Yáñez, D. 4 pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM4-P034.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2012c. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Perfil de suelo No. PM4-P035, fecha: 2012-06-04 autor(es): Yáñez, D. 4 pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM4-P035.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2012d. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Perfil de suelo No. PM4-P036, fecha: 2012-06-04 autor(es): Cazar, C.; Moncayo, P. 4 pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM4-P036.pdf>



- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2012e. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Perfil de suelo No. PN8-P035, fecha: 2012-06-04 autor(es): Cazar, C.; Moncayo, P. 4 pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PN8-P035.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013a. Perfil de suelo No. PM2 - P132. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Autor(es): Merlo, J.; Díaz, G. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM2-P132.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013b. Perfil de suelo No. PM2 - P133. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Merlo, J.; Díaz, G. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM2-P133.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013c. Perfil de suelo No. PM2 - P135. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Merlo, J.; Díaz, G. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM2-P135.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013d. Perfil de suelo No. PM2 - P137. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Merlo, J.; Díaz, G. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM2-P137.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013e. Perfil de suelo No. PM5 – P033. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Merlo, J.; Díaz, G. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM5-P033.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013f. Perfil de suelo No. PM8 – P170. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Casante, G.; Villarreal, W. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM8-P170.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013g. Perfil de suelo No. PM8 – P171. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Casante, G.; Villarreal, W. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM8-P171.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013h. Perfil de suelo No. PM8 – P172. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Casante, G.; Villarreal, W. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PM8-P172.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2013i. Perfil de suelo No. PM8 – P172. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Casante, G.; Villarreal, W. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PN8-P163.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2014a. Perfil de suelo No. PN2 – P207. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Autor(es): Díaz, D. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PN2-P207.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2014b. Perfil de suelo No. PN2 – P209. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Autor(es): Díaz, D. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PN2-P209.pdf>

- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2014c. Perfil de suelo No. PN2 – P210. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Autor(es): Díaz, D. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PN2-P210.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2014d. Perfil de suelo No. PN4 - P176. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Autor(es): Collaguazo, J. 3pp. <http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/suelos/PN4-P176.pdf>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2018. Capa de morfología y Fichas de geoformas. <http://geoportal.sigtierras.gob.ec:8080/GeoserverViewer/>
- IGM (Instituto Geográfico Militar -Ecuador- y SECSUELO (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del suelo). 1986. Mapa general de suelos del Ecuador. Cartas de suelos 1:200000 y 1:500000. Realizado por Mejía-Vallelo, L.
- IGM (Instituto Geográfico Militar -Ecuador-). 1982. National Geological Map of the Republic of Ecuador. Escala 1:100000.
- Ikkonen, E.; Ángeles-Cervantes, E.; García-Calderón. 2004. Producción de CO<sub>2</sub> en Andosoles afectados por incendios forestales en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 425-431
- INAHMI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2013. Mapa de Isotermas media anual serie 81-2010, Escala 1: 3000000. UTM, WGS84, Zona 17S. Quito-Ecuador.
- INAHMI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2016. Boletín climatológico anual 2015. Quito-Ecuador. 31 pp. [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wpcontent/MapasBiblioteca/mapa%20de%20Isotermas%20anual%2081\\_2010.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wpcontent/MapasBiblioteca/mapa%20de%20Isotermas%20anual%2081_2010.pdf)
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología); IRD (Institut de Recherche pour le Développement); IG-EPN (Instituto de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional); INGEOMINAS (Instituto Colombiano de Geología y Minería). 2004. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL CASQUETE DE HIELO DEL VOLCÁN COTOPAXI. Informe técnico de los principales resultados. 54 pp. [http://www.geofisica.unam.mx/popoc/colaboracion/GTNH/files/public\\_ecuador/Informe-Cotopaxi-2004.pdf](http://www.geofisica.unam.mx/popoc/colaboracion/GTNH/files/public_ecuador/Informe-Cotopaxi-2004.pdf)
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2002. Anuario Meteorológico. Número 42. Quito-Ecuador. 200 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2003. Anuario Meteorológico. Número 43. Quito-Ecuador. 202 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2004. Anuario Meteorológico. Número 44. Quito-Ecuador. 196 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2005. Anuario Meteorológico. Número 45. Quito-Ecuador. 200 pp.

- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2006. Anuario Meteorológico. Número 46. Quito-Ecuador. 200 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2007. Anuario Meteorológico. Número 47. Quito-Ecuador. 121 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2008. Anuario Meteorológico. Número 48. Quito-Ecuador. 123 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2009. Anuario Meteorológico. Número 49. Quito-Ecuador. 102 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2010. Anuario Meteorológico. Número 50. Quito-Ecuador. 139 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2011. Anuario Meteorológico. Número 51. Quito-Ecuador. 149 pp.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorología e Hidrología -Ecuador-). 2012. Anuario Meteorológico. Número 51. Quito-Ecuador. 153 pp.
- INHERI; PREDESUR; CONADE; 1994. Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja. OEA. 257 pp.
- Ingham, E. 2004. The Soil Foodweb: It's Role in Ecosystem Health. *The Overstory Book: Cultivating Connections with Trees*, 62. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SAJQhK1fWDoC&oi=fnd&pg=PA62&dq=Elaine+Ingham&ots=RmkX7FoqeE&sig=pCij\\_sxqhDodGpNUUWaQdxW-sxY#v=onepage&q=Elaine%20Ingham&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SAJQhK1fWDoC&oi=fnd&pg=PA62&dq=Elaine+Ingham&ots=RmkX7FoqeE&sig=pCij_sxqhDodGpNUUWaQdxW-sxY#v=onepage&q=Elaine%20Ingham&f=false)
- Ingham, R.; Trofymow, J.; Ingham, E.; Coleman, D. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological monographs*, 55(1), 119-140.
- Irisarri, P.; Gonnet, S.; Deambrosi, E.; Monza, J. 1999. Diversidad de cianobacterias con heterocistos en suelos cultivados con arroz. *Agrociencia*, 3(1), 31-37.
- Jackson, M. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p. Citado por Martínez, E.; Fuentes, J.; Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr*, 8 (1): 68-96.
- Jaillard, E.; Laubacher, G.; Bengtson, P.; Dhondt, A. V.; Bulot, L. 1999. Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 12(1), 51-68. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/b\\_fdi\\_51-52/010019734.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010019734.pdf)
- Janos, D. P. 1980. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 56-64.
- Jansen, B.; Nierop, K.; Hageman, J.; Cleef, A.; Verstraten, J. 2006. The straight-chain lipid biomarker composition of plant species responsible for the dominant biomass production along two altitudinal transects in the Ecuadorian Andes. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1514-1536.

- Jara, L. 2005. Metodología para la estimación de carbono en plantaciones jóvenes en el Ecuador. *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1 No 1.  
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6569/DOC4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jara, L.; Gutierrez, F.; Paspuel, A.; Ordoñez, G.; Asimabya, P. 2001. Monitoreo de plantaciones forestales para fijación de carbono en el Ecuador. *IUFRO, World Series Vol. 13. - Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*, 101-113.  
[www.iufro.org/download/file/6975/153/ws13contenido\\_pdf/](http://www.iufro.org/download/file/6975/153/ws13contenido_pdf/)
- Jastrow, J.; Amonette, J.; Bailey, V. 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic Change*, 1(80), 5-23.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-006-9178-3>
- Jayasinghe, B.; Parkinson, D. 2008. Actinomycetes as antagonists of litter decomposer fungi. *Applied soil ecology*, 38(2), 109-118.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139307001175>
- Jenkinson, D.; Rayner, J. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil science*, 123(5), 298-305.
- Jennrich, R.; Schluchter, M. 1986. Unbalanced repeated-measures models with structured covariance matrices. *Biometrics*, 805-820  
[http://www.jstor.org/stable/2530695?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/2530695?seq=1#page_scan_tab_contents)
- Jobbágy, E.; Jackson, R. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*, 10(2), 423-436.
- Joergensen, R.; Castillo, X. 2001. Interrelationships between microbial and soil properties in young volcanic ash soils of Nicaragua. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(12), 1581-1589.
- Johnson, M.; Levine, E.; Kern, J. 1995. Soil organic matter: distribution, genesis, and management to reduce greenhouse gas emissions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 82(3-4), 593-615.
- Jones, C.; McConnell, C.; Coleman, K.; Cox, P.; Falloon, P.; Jenkinson, D.; Powlson, D. 2005. Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil. *Global Change Biology*, 11(1), 154-166.
- Jorgensen, P.; Leon-Yanez, S. (Eds.). 1999. Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador (Vol. 75, pp. 633-668). *Missouri Botanical Garden*.  
<http://www.mobot.org/MOBOT/research/ecuador/welcomesp.shtml>
- Jorgensen, P.; Ulloa, C. 1994. Seed plants of the high Andes of Ecuador: A checklist (No. 34).  
<http://kdb.kew.org/kdb/detailedresult.do?id=306077>
- Jørgensen, P.; Ulloa, C.; Valencia, R.; Madsen, J. 1995. A Floristic Analysis of the High Andes of Ecuador. Pp. 221-237 in Churchill, S.; Balslev, H.; Forero, E.; Luteyn, J (eds), *Biodiversity and Conservation of the Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden, New York.

- Josse, C. 2000. Introducción. Los Suelos del Páramo. *GTP/Abya-Yala. Serie Páramo No. 5*: 4-6. Quito. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010024690>
- Josse, C.; Cuesta, F.; Navarro, G.; Barrena, V.; Cabrera, E.; Chacón-Moreno, E.; Tovar, A. 2009. Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima.
- Kado, C.; Heskett, M. 1970. Selective media for isolation of agrobacterium, Corynebacterium, Erwinia, Pseudomonas and Xanthomonas. *Phytopathology*, 60(6), 969-976.
- Kalbitz, K.; Wennrich, R. "Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter." *Science of the Total Environment* 209.1 (1998): 27-39.
- Kawahigashi, M.; Sumida, H.; Yamamoto, K. 2003. Seasonal changes in organic compounds in soil solutions obtained from volcanic ash soils under different land uses. *Geoderma* 113, 381-396.
- Kelley, I.; Freeman, J.; Evans, F.; Cerniglia, C. 1993. Identification of metabolites from the degradation of fluoranthrene by *Mycobacterium* sp. strain Pyr-1. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 800-806.
- Kelly, E.; Chadwick, O.; Hilinski, T. 1998. The effect of plants on mineral weathering. *Biogeochemistry*, 42(1-2), 21-53.
- Kennedy, A. 1998. The rhizosphere and spermosphere. Principles and applications of soil microbiology (eds. Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G. y Zuberer, D.A.). Prentice Hall, Inc , New Jersey, USA. Citado por Hawkes, C.V. 2003. Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. *Ecosistemas* 2003/2 ([URL:http://www.aeet.org/ecosistemas/032/investigacion3.htm](http://www.aeet.org/ecosistemas/032/investigacion3.htm))
- Kesh, D.; Sarkar, A.; Roy, A. 1997. Succession in a three-species food-chain model. *Ecological modelling*, 96(1-3), 211-219. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380096000683>
- Khan, M.; Williams, S. 1975. Studies on the ecology of actinomycetes in soil—VIII: Distribution and characteristics of acidophilic actinomycetes. *Soil biology and Biochemistry*, 7(6), 345-348.
- Khedher, A. 2014. Configuration of burrow sites of yellow-necked field mouse (*Apodemus flavicollis argyropuli*) in field crop biotopes in Iraqi-Kurdistan. *Magyar Ápróvad Közlemények*, 12, 373-382. [http://real.mtak.hu/32060/1/13\\_Amin\\_DOI.pdf](http://real.mtak.hu/32060/1/13_Amin_DOI.pdf)
- Killham, K. 1994. "Soil Ecology." Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Killham, K.; Amato, M.; Ladd, J. 1993. Effect of substrate location in soil and soil pore-water regime on carbon turnover. *Soil Biol. Biochem.* 25, 57-62.
- Killham, K.; Prosser, J. 2014. The Bacteria and Archea, Capitulo III: 41-76 pp en Paul, A. (Ed.), 2014. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry, Academic press.

- Kirchmann, H.; Gerzabek, M. 1999. Relationship between soil organic matter and micropores in a long- term experiment at Ultuna, Sweden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162(5), 493-498. [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1522-2624\(199910\)162:5%3C493::AID-JPLN493%3E3.0.CO;2-S/full](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1522-2624(199910)162:5%3C493::AID-JPLN493%3E3.0.CO;2-S/full)
- Kleber, M.; Mikutta, R.; Torn, M.; Jahn, R. 2005. Poorly crystalline mineral phases protect organic matter in acid subsoil horizons. *Eur. J. Soil Sci.*, 56, 717-725.
- Koch, O.; Tscherko, D.; Kandeler, E. 2007. Temperature sensitivity of microbial respiration, nitrogen mineralization, and potential soil enzyme activities in organic alpine soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 21, GB4017.
- Kopeć, M.; Gondek, K.; Baran, A. 2013. Assessment of respiration activity and ecotoxicity of composts containing biopolymers. *Ecotoxicology and environmental safety*, 89, 137-142.
- Laganiere, J.; Angers, D.; Pare, D. 2010. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta- analysis. *Global change biology*, 16(1), 439-453.
- Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment international*, 29(4), 437-450.
- Lal, R.; Griffin, M.; Apt, J.; Lave, L.; Morgan, M. 2004. Managing soil carbon. *Science*, 304(5669), 393.
- Lamarque, J.; Kiehl, J.; Brasseur, G.; Butler, T.; Cameron- Smith, P.; Collins, W.; Holland, E. 2005. Assessing future nitrogen deposition and carbon cycle feedback using a multimodel approach: Analysis of nitrogen deposition. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D19). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005JD005825/epdf>
- Lampurlanés, J.; Cantero-Martinez, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*, 95(3), 526-536. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/95/3/526>
- Lauber, C.; Strickland, M.; Bradford, M.; Fierer, N. 2008. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), 2407-2415.
- Lavenu, A.; Noblet, C. y T. Winter. 1995. Neogene ongoing tectonics in the Southern Ecuadorian Andes: analysis of the evolution of the stress field. *Journal of Structural Geology*, 17(1), 47-58.
- Lavenu, A.; Noblet, C.; Bonhomme, M.; Egüez, A.; Dugas, F.; Vivier, G. 1992. New K • Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(3-4), 309-320.
- Lee, J.; Hopmans, J.; Rolston, D.; Baer, S.; Six, J. 2009. Determining soil carbon stock changes: simple bulk density corrections fail. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134(3-4), 251-256. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880909002254>

- Li, B. L. 2000. Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics. *Ecological Modelling*, 132(1-2), 33-50.
- Liski, J.; Ilvesniemi, H.; Mäkelä, A.; Westman, C. 1999. CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to climatic warming are overestimated: the decomposition of old soil organic matter is tolerant of temperature. *Ambio*, 171-174.
- Lozano, P. 2002. Los tipos de bosque en el sur de Ecuador. Pag 29-49. En Aguirre, Z.; Madsen, J.; Cotton, E.; Baslev, H. (Eds). Botánica austroecuatoriana: estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora-Chinchipec. *Abya-Yala*, Quito, 484 pp. <https://searchworks.stanford.edu/view/5377842>
- Lupwayi, N.; Arshad, M.; Rice, W.; Clayton, G. 2001. Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management. *Applied Soil Ecology*, 16(3), 251-261.
- Lupwayi, N.; Rice, W.; Clayton, G. 1999. Soil microbial biomass and carbon dioxide flux under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Canadian journal of soil science*, 79(2), 273-280.
- Luteyn, J. 1996. Redefinition of the neotropical genus *Anthopterus* (Ericaceae: Vaccinieae), including one new species. *Brittonia*, 48(4), 605-610. <https://link.springer.com/article/10.2307/2807881>
- Luteyn, J. L.; Churchill, S.; Griffin III, D.; Gradstein, S.; Sipman, H.; Gavilanes, A. 1999. A checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *New York Bot Gard*, 84, 1-278. <http://lib.icimod.org/record/10268/files/235.pdf>
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) y GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). Sin año. Plan Maestro para Áreas de Conservación y Gestión Sostenible en el Austro del Ecuador. 185 pp. <https://crocodileandy.files.wordpress.com/2015/05/8-2-plan-maestro-areas-de-conservacion-austro-6-14.pdf>
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2006. Plan Gerencial Reserva De Producción Faunística Chimborazo. 59 pp..
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2008. Plan de manejo de la Reserva Ecológica El Ángel. Quito. [http://alfresco.ambiente.gob.ec:8096/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/567c6e77-a8c3-45f8-a86b-d9f339777b67/ElAngel\\_Plan%20de%20Manejo%20REEA%202008.pdf](http://alfresco.ambiente.gob.ec:8096/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/567c6e77-a8c3-45f8-a86b-d9f339777b67/ElAngel_Plan%20de%20Manejo%20REEA%202008.pdf)
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2010. Plan de Manejo del Parque Nacional Cotopaxi. Quito-Ecuador. 122 pp. <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/31+PLAN+DE+MANEJO+COTOPAXI+1.pdf/ada6530d-ec2f-41b0-ba83-4b1391ad3445>
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2012a. Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental, Quito-Ecuador. 30 pp. Disponible en: <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Folleto%20mapa-parte1.pdf>
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2012b. Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito. 143 pp.

[http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)

- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2013. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito. 115 pp.  
<http://app.sni.gob.ec/sinlink/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2015. Plan de Manejo de la Reserva Ecológica El Ángel. Quito-Ecuador. 176 pp.  
<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/24+PLAN+DE+MANEJO+EL+ANGEL.pdf/134234ba-a47d-459c-956b-37b0155df002>
- MAGAP, 2012. Sistemas Productivos 1:25.000 del Ecuador. Portal de Datos de SIGTIERRAS. Acceso 23/01/2018. <http://metadatos.sigtierras.gob.ec:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home>
- Manlay, R.; Feller, C.; Swift, M. 2006. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3), 217-233.
- Margesin, R.; Zimmerbauer, A.; Schinner, F. 2000. Monitoring of bioremediation by soil biological activities. *Chemosphere*, 40(4), 339-346.
- Marschnera, B.; Kalbit, K. 2003. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma*, 113(3), 211-235.
- Martínez, E.; Fuentes, J.; Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr*, 8 (1): 68-96.
- Martínez, R.; Ruiz, D.; Andrade, M.; Blacutt, L.; Pabón, D.; Jaimes, E.; Euscátegui, C. 2011. Synthesis of the climate of the tropical Andes. *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*, 97-109.
- Martinson, G.; Corre, M.; Veldkamp, E. 2013. Responses of nitrous oxide fluxes and soil nitrogen cycling to nutrient additions in montane forests along an elevation gradient in southern Ecuador. *Biogeochemistry*, 112(1-3), 625-636.
- Matus, F.; Maire, G.; Christian, R. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*, 60(2), 112-126.
- Matus, F.; Maire, G.; Christian, R. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*, 60(2), 112-126.
- Matus, F.; Rumpel, C.; Neculman, R.; Panichini, M.; Mora, M. 2014. Soil carbon storage and stabilisation in andic soils: A review. *Catena*, 120, 102-110.
- McCauley, A.; Jones, C.; Jacobsen, J. 2009. Soil pH and organic matter. *Nutrient management module*, 8, 1-12.



- McDonald, J. 2014. Handbook of Biological Statistics (3rd ed.). Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland. This web page contains the content of pages 165-172 [the printed version](#).
- McKnight, J.; Harden, C.; Schaeffer, S. 2017. Soil CO<sub>2</sub> flux trends with differences in soil moisture among four types of land use in an Ecuadorian páramo landscape. *Physical Geography*, 38(1), 51-61.
- Medina, G.; Mena, V. 2001. Los páramos en el Ecuador. Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas. Proyecto Páramo. Quito. Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos.
- Mejia, M.; Bravo, J. 2014. Análisis mineralógico de la fracción arcilla de suelos tropicales del Perú por difracción de rayos X y espectroscopia Mössbauer. *Revista de Investigación de Física*, 17, 141701401. <http://www.rif-fisica.org/images/f/f7/141701401.pdf>
- Mena P.; Hofstede, R. 2006. Los páramos ecuatorianos. Botánica económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Mena, P.; Medina, G. 2000. La biodiversidad de los páramos en el Ecuador. En Josse, C.; Mena, P.; Medina, G. (eds). 2000. La Biodiversidad de los Páramos. *GTP/Abya Yala, Serie Páramo 7*. <https://utplbiodiversity.wikispaces.com/file/view/biodiversidad.pdf>.
- Metting, B. 1981. The Systematics and Ecology of Soil Algae. *The Botanical Review*, 195-312.
- Miller, A. D. 1974. *Pinus radiata* en el Ecuador, su ecología y crecimiento. Depósitos de documentos de la FAO.
- Miller, R.; Jastrow, J. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function* (pp. 3-18). Springer, Dordrecht.
- Miltner, A.; Zech, W. 1998. Carbohydrate decomposition in beech litter as influenced by aluminium, iron and manganese oxides. *Soil Biol. Biochem.*, 30, 1-7.
- Minga, D.; Rodas, F.; Verdugo, A.; Serrano, F.; Zárate, E. 2002. Diversidad forestal de la cuenca del Río Paute. Project P-BID 478. Escuela de Biología del Medio Ambiente, Universidad del Azuay. <https://web.uazuay.edu.ec/HerbarioAzuay/documentos/diforpa.pdf>. Citado por Olivera, M. 2009. Holocene upper forest line dynamics in the Ecuadorian Andes: a multiproxy study. *Phytocoenologia*, 39, 79-107.
- Ministerio del Ambiente; Universidad de Cuenca; Prefectura del Azuay; Ilustre Municipalidad del cantón Nabón; e Ilustre Municipalidad del cantón Oña. 2009. Plan de Manejo de los Recursos Naturales en las Microcuencas Altas de los ríos León, Shincata, San Felipe de Oña. 224 pp. Documento impreso.
- Molina, A.; Govers, G.; Vanacker, V.; Poesen, J.; Zeelmaekers, E.; Cisneros, F. 2007. Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. *Catena*, 71(2), 357-370.
- Morales-Betancourt, J.; Estévez-Varón, J. 2006. El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción?. *Revista Luna Azul*, (22). <http://www.redalyc.org/pdf/3217/321727224004.pdf>

- Moreno, J.; Bastida, F.; Ros, M.; Hernández, T.; García, C. 2009. Soil organic carbon buffers heavy metal contamination on semiarid soils: Effects of different metal threshold levels on soil microbial activity. *European journal of soil biology*, 45(3), 220-228.
- Morueta-Holme, N.; Engemann, K.; Sandoval-Acuña, P.; Jonas, J.; Segnitz, R.; Svenning, J. 2015. Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(41), 12741-12745.
- Moscol-Olivera, M. 2010. Holocene upper forest line dynamics in the Ecuadorian Andes: a multiproxy study. Digital Academic Repository. University of Amsterdam. 237 pp.  
<http://dare.uva.nl/search?metis.record.id=329445>
- Moscol-Olivera, M.; Cleef, 2009. Vegetation composition and altitudinal distribution of Andean rain forests in El Angel and Guandera reserves, northern Ecuador. *Phytocoenologia*, 39(2), 175-204.
- Mosquera, C.; Bravo, I.; Hansen, E. 2007. Comportamiento estructural de los ácidos húmicos obtenidos de un suelo Andisol del Departamento del Cauca. *Revista Colombiana de Química*, 36(1).
- Mothes, P.; Hall, M.; Janda, R. 1998. The enormous Chillos Valley Lahar: an ash-flow-generated debris flow from Cotopaxi Volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 59(4), 233-244.
- Mothes, P.; Hall, M.; Janda, R. 1998. The enormous Chillos Valley Lahar: an ash-flow-generated debris flow from Cotopaxi Volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 59(4), 233-244.
- Mulochau, T.; Conand, C.; Quod, J. 2007. Sea cucumbers and other echinoderms at Geyser Bank, Mayotte (Indian Ocean). *SPC Beche de Mer Information Bulletin #26*: 7-13. [https://www.researchgate.net/profile/Chantal\\_Conand/publication/259357480\\_Sea\\_cucumbers\\_and\\_other\\_echinoderms\\_at\\_Geyser\\_Bank\\_Mayotte\\_Indian\\_Ocean/links/00b4952b2c9b2cf37d000000/Sea-cucumbers-and-other-echinoderms-at-Geyser-Bank-Mayotte-Indian-Ocean.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Chantal_Conand/publication/259357480_Sea_cucumbers_and_other_echinoderms_at_Geyser_Bank_Mayotte_Indian_Ocean/links/00b4952b2c9b2cf37d000000/Sea-cucumbers-and-other-echinoderms-at-Geyser-Bank-Mayotte-Indian-Ocean.pdf)
- Muñoz-Jácome, E.; Coello, M.; Moreno, F.; Cruz, C. 2015. Metodología para la evaluación del nivel tecnológico del cultivo de Rye grass en los Andes ecuatorianos, microcuenca del río Chimborazo. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, 4(8), 1-1.
- Nannipieri, P.; Badalucco, L. 2003. Biological processes. En: Benbi, D.K., Nieder, R., (Eds.), *Handbook of processes and modeling in the soil-plant system*. Haworth press, Binghamton, New York, pp. 57-82.
- Nannipieri, P.; Kandeler, E.; Ruggiero, P. 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. *Enzymes in the environment*. Marcel Dekker, New York, 1-33.
- Nanzyo, M. 2002. Unique properties of volcanic ash soils. *Global Environmental Research-English Edition*, 6(2), 99-112.
- Nanzyo, M.; Dahlgren, R.; Shoji, S. 1993. Chemical characteristics of volcanic ash soils. En: Shoji, S., Nanzyo, M., Dahlgren, R., (Eds.), *Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization*. *Developments in Soil Science 21*. Elsevier, Amsterdam, pp. 145-187.

- Neergaard, A. 2005. Soil biology and microbiology. Land use, land cover and soil sciences, Vol 6. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Paris, France, [<http://www.eolss.net>]
- Neher, D. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of nematology*, 33(4), 161.
- Neill, D. 1999. Geografía, Pp. 8–13. En: Jørgensen, P. León-Yáñez, S. (eds.). Catalogue of the vascular plants of Ecuador. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 75. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/ecuador/welcomesp.shtml>
- Neill, D. 2007. Inventario botánico de la región de la Cordillera el Cóndor, Ecuador y Perú: actividades y resultados científicos del proyecto, 2004-2007. <http://www.mobot.org/MOBOT/Research/ecuador/cordillera/pdf/EntireSpanishReport.pdf>
- Neill, D.; Jørgensen, P. 1999. Clima. En: Jørgensen, P. León-Yáñez, S. (eds.). Catalogue of the vascular plants of Ecuador. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 75. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/ecuador/welcomesp.shtml>
- Nierop, K.; Tonneijck, F.; Jansen, B.; Verstraten, J. 2007. Organic matter in volcanic ash soils under forest and páramo along an Ecuadorian altitudinal transect. *Soil Science Society of America Journal*, 71(4), 1119-1127.
- Nishiyama, M.; Sumikawa, Y.; Guan, G.; Maremoto, T. 2001. Relationship between microbial biomass and extractable organic carbon content in volcanic and non-volcanic ash soil. *Appl. Soil Ecol.* 17, 183-187.
- Noni, G.; Trujillo G. 1986. Degradación del suelo en el Ecuador: principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso. MAG-ORSTOM. *Revista del Banco Central del Ecuador*, 8 (24): 383-394. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:26531>
- Ochoa- Cueva, P.; Fries, A.; Montesinos, P.; Rodríguez- Díaz, J.; Boll, J. 2013. Spatial estimation of soil erosion risk by land- cover change in the Andes of southern Ecuador. *Land degradation & development*, 26(6), 565-573.
- Ochoa-Cueva, P.; Martínez, F.; Maza C. 2008. Riesgo de degradación de suelos con diferente uso en la Subcuenca del río Zamora Huayco, Loja – Ecuador. *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito – Ecuador. 12 pp.
- Odum, E. 1968. Energy flow in ecosystems: a historical review. *American Zoologist*, 8(1), 11-18. <https://academic.oup.com/icb/article/8/1/11/239425>
- OEA (Organización de Estados Americanos); INERHI (Instituto Ecuatoriano de recursos hidráulicos); INECCEL (Instituto Ecuatoriano de Electrificación); CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remoto). 1994. Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. Departamento de desarrollo regional y medio ambiente, secretaria ejecutiva para asuntos económicos y sociales y secretaria general de la Organización de los Estados Americanos. Washington D.C. 257 pp

<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea02s/oea02s.pdf>

- Ojeda Ramírez, M.; Gutiérrez Reyes, G. 2005. Propuesta de un modelo lineal jerárquico para analizar una serie de experimentos. *Agrociencia*, 39(5).
- Olenin, S.; Ducrottoy, J. 2006. The concept of biotope in marine ecology and coastal management. *Marine Pollution Bulletin*, 53(1-4), 20-29.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X06000105>
- Olk, D.; Cassman, K.; Fan, T. 1995. Characterization of two humic acid fractions from a calcareous vermiculitic soil: implications for the humification process. *Geoderma*, 65(3-4), 195-208.
- Pajares, S.; Gallardo, J.; Masciandaro, G.; Ceccanti, B.; Marinari, S.; Etchevers, J. 2009. Biochemical indicators of carbon dynamic in an Acrisol cultivated under different management practices in the central Mexican highlands. *Soil Till. Res.*, 105, 156-163.
- Pajares-Moreno, S.; Gallardo-Lancho, J.; Marinari, S.; Etchevers-Barra, J. 2010. Indicadores bioquímicos de calidad en tepetates cultivados del Eje Neovolcánico mexicano. *Agrociencia*, 44, 121-134.
- Palleroni, N. 1984. Genus I: Pseudomonas. In “Bergey’s Manual of Systematic Bacteriology” (N. R. Krieg and J. G. Holt, eds.), pp. 1441–1499. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Palmer, M.; White, P. 1994. On the existence of ecological communities. *Journal of Vegetation Science*, 5(2), 279-282. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/3236162/full>
- Paul, S.; Flessa, H.; Veldkamp, E.; López-Ulloa, M. 2008. Stabilization of recent soil carbon in the humid tropics following land use changes: evidence from aggregate fractionation and stable isotope analyses. *Biogeochemistry*, 87(3), 247-263.
- Peham, T.; Bruckner, A. 2012. Optimising whole-soil multiple substrate-induced respiration (MSIR) of soil microbiota for large scale surveillance and monitoring. *European journal of soil biology*, 50, 182-190. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556312000258#bib40>
- Peña, H.; Reyes, I. 2007. Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Interciencia*, 32(8), 560-565.
- Peña-Ramírez, V.; Vázquez-Selem, L.; Siebe, C. 2009. Soil organic carbon stocks and forest productivity in volcanic ash soils of different age (1835-30,500 years B.P.) in Mexico. *Geoderma*, 149, 224-234.
- Pérez-Cordero, A.; Tuberquia-Sierra, A.; Amell-Jimenez, D. 2014. Actividad in vitro de bacterias endófitas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfatos. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2).
- Pérez-Novo, C.; Pateiro-Moure, M.; Osorio, F.; Novoa-Munoz, J.; López-Periago, E.; Arias-Estévez, M. 2008. Influence of organic matter removal on competitive and noncompetitive adsorption of copper and zinc in acid soils. *Journal of colloid and interface science*, 322(1), 33-40.

- Petruța, G. 2009. Formation and development of some concepts of ecology. *Lucrări Științifice*, vol. 52, *seria Agronomie* [http://www.revagrois.ro/PDF/2009\\_2\\_577.pdf](http://www.revagrois.ro/PDF/2009_2_577.pdf)
- Piccolo, A.; Mbagwu, J. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 63(6), 1801-1810.
- Piedra, G.; Lattke, J.; Santín, J. 2016. Patrones de diversidad de hormigas en el bosque nublado de las reservas Arcoiris y el Madrigal, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, Vol. 6. No. 2: 16 -31.
- Pimentel, M.; de Oliveira, N.; De-Polli, H. 2013. Total and labile organic carbon content in agroecological system. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 8(1).
- Pistolesi, M. 2008. Historical analysis and stratigraphy of the post-XII century pyroclastic activity at Cotopaxi volcano, Ecuador. Implication for lahar hazard assessment. *Plinius*, 34, 131-138.
- Poats, S.; Suárez, D. 2007. Descentralización y gobernanza ambiental en áreas protegidas de Carchi, Ecuador: Lecciones de la Reserva Ecológica El Ángel y el Bosque Protector Golondrinas. *Revista Virtual REDESMA*, 1, 87.
- Podwojewski, P. 1999. Los suelos de las altas tierras andinas: los páramos del Ecuador. *Bol Soc Ecuador Cie Suelo*, 18(9), 14.  
[http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/b\\_fdi\\_51-52/010019247.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010019247.pdf)
- Podwojewski, P.; Poulenard, J. 2000. Los suelos de los páramos del Ecuador. En: Mena, P.; Josse, C.; Medina, G. (eds.). 2000. Los suelos del páramo. *GTP/Abya-Yala. Serie Páramo 5:7-26*. Quito.  
<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010024690>
- Podwojewski, P.; Poulenard, J. 2004. Stockage du carbone dans les sols des paramos andins et conséquence des mises en usage sur les teneurs en carbone et l'érosion. *Bulletin du Réseau Erosion*, 23, 262-273. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010034987>
- Podwojewski, P.; Germain, N. 2005. Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua) in Ecuador. *European journal of soil science*, 56(1), 39-51.
- Podwojewski, P.; Poulenard, J. 2011. Los suelos de los páramos de Ecuador. 2011. 63-97. En: P. Mena Vásconez, J. Campaña, A. Castillo, S. Flores, R. Hofstede, C. Josse, S. Lasso, G. Medina, N. Ochoa y D. Ortiz (Eds.). *Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. EcoCiencia/ Abya-Yala/ECOBONA. Quito. 388pp.
- Podwojewski, P.; Poulenard, J.; Zambrana, T.; Hofstede, R. 2002. Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use & Management*, 18: 45-55.
- Potthast, K.; Hamer, U.; Makeschin, F. 2012. Land-use change in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador affects soil microorganisms and nutrient cycling. *Biogeochemistry*, 111(1-3), 151-167.

- Potthast, K.; Hamer, U.; Makeschin, F. 2012a. Land-use change in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador affects soil microorganisms and nutrient cycling. *Biogeochemistry*, 111(1-3), 151-167.
- Potthast, K.; Hamer, U.; Makeschin, F. 2012b. In an Ecuadorian pasture soil the growth of *Setaria sphacelata*, but not of soil microorganisms, is co-limited by N and P. *Applied Soil Ecology*. 62:103-114. doi:10.1016/j.apsoil.2012.08.003
- Poulenard, J.; Podwojewski P.; Herbillon, A. 2003. Characteristics of nonallophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117, 267–281.
- Powlowsky, J.; Shingler, V. 1994. Genetics and biochemistry of phenol degradation by *Pseudomonas* sp. CF600. *Biodegradation* 5, 219–236.
- Prasanna, R.; Nayak, 2007. Influence of diverse rice soil ecologies on cyanobacterial diversity and abundance. *Wetlands ecology and management*, 15(2), 127-134.
- Prévost, G.; Tranouez, P.; Lerebourg, S.; Bertelle, C.; Olivier, D. 2004. Ecosystem complexity described with ontological tool for a multi-scale, multi-model approaches in distributed environment. In Jordan International Conference on Computer Sciences and Engineering, Al-Salt, Jordan.
- Priess, J.; De Koning, G.; Veldkamp, A. 2001. Assessment of interactions between land use change and carbon and nutrient fluxes in Ecuador. *Agriculture, ecosystems & environment*, 85(1), 269-279.
- Qiu, L.; Gao, T.; Gunnarsson, A.; Hammer, M.; von Bothmer, R. 2010. A methodological study of biotope mapping in nature conservation. *Urban forestry & urban greening*, 9(2), 161-166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866710000075>
- Quantin, P.; Balesdent, J.; Bouleau, A.; Delaune M.; Feller, C. 1991. Premiers stades d'alteration de ponces volcaniques en climat tropical humide (Montagne Pelée, Martinique) [First stages of volcanic pumices weathering under a humid tropical climate (Montagne Pelée, Martinique)]. *Geoderma*, 50, 125-148.
- Quichimbo, P.; Tenorio, G.; Borja, P.; Cárdenas, I.; Crespo, P.; Célleri, R. 2012. Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153
- Quinteros, A.; Piercosimo, T.; Rafaella, A. 2013. Comparación química de suelos en distintas coberturas vegetales del PNC mediante métodos de clúster análisis. *Libros UPS Abya Yala*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11169>
- Quirk, J.; Schofield, R.1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *Journal of Soil Science*, 6(2), 163-178.
- Ramón, G. 2002. Visiones, usos e intervenciones en los páramos del Ecuador. *Serie Páramo (Cultura)* 12: 43-49.

- Ramos, V.; Jordan, T.; Allmendinger, R.; Mpodozis, C.; Kay, S.; Cortés, J. Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine- Chilean Andes. *Tectonics*, 5(6), 855-880.
- Ramsay, P.; Oxley, E. 2001. An assessment of aboveground net primary productivity in Andean grasslands of central Ecuador. *Mountain Research and Development*, 21(2), 161-167.
- Rao, I.; Ayarza, M.; Thomas, R.; Fisher, M.; Sanz, J.; Spain, J.; Lascano, C. 1992. Soil-plant factors and processes affecting productivity in ley farming. *Pastures for the Tropical Lowlands*, p. 145-175.  
[https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/54510/Pastures\\_for\\_the\\_Tropical\\_Lowlands.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=155](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/54510/Pastures_for_the_Tropical_Lowlands.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=155)
- Rao, P.; Green, R.; Ahuja, L.; Davidson, J. 1976. Evaluation of a Capillary Bundle Model for Describing Solute Dispersion in Aggregated Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 40(6), 815-820.
- Rawls, W.; Pachepsky, Y.; Ritchie, J.; Sobecki, T.; Bloodworth, H. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61-76.
- Registro Oficial del Gobierno de Ecuador. 2010. Registro Oficial N° 182, Ministerio del Ambiente 040. Declárese Área de Bosque y Vegetación Protectora a 57.043,67 has que conforman el área ubicada en la “Subcuenca Alta del río León y microcuencas de los ríos San Felipe de Oña y Shincata”. Quito, Jueves 29 de Abril del 2010.
- Reiss, W.; Stübel, A. 1892. Das Hochgebirge der Republik Ecuador II: Petrographische Untersuchungen. Ostkordillere; Berlin. Citado por Hall, M. L. 1977. El volcanismo en el Ecuador. IPGH, Sección Nacional del Ecuador. 120 pp.
- Restrepo, L. 2007a. Tipos de suma de cuadrados en el análisis de la varianza. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2):209-215. <http://www.redalyc.org/pdf/2950/295023034013.pdf>
- Restrepo, L. 2007b. Diagramas de estructura en el análisis de varianza. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2):202-208. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3239074>
- Rhoades, C. 1998. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems* 35:71-94.
- Rhoades, C.; Eckert, G.; Coleman, D. 2000. Soil carbon differences among forest, agriculture, and secondary vegetation in lower montane Ecuador. *Ecological Applications*, 10(2), 497-505.
- Ritchie, G.; Dolling, J. 1985. The role of organic matter in soil acidification. *Soil Research*, 23(4), 569-576.
- Ritz, K.; Young, I. 2004. Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist*, 18(2), 52-59. <https://www.cambridge.org/core/journals/mycologist/article/interactions-between-soil-structure-and-fungi/A7D00C76F8FE0F3AA1F763BAE5C85C87>
- Robin, C.; Hall, M.; Jiménez, M.; Monzier, M.; Escobar, P. 1997. Mojanda volcanic complex (Ecuador): development of two adjacent contemporaneous volcanoes with contrasting eruptive styles and magmatic suites. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(5), 345-359.

- Rodbell, D.; Bagnato, S.; Nebolini, J.; Seltzer, G.; Abbott, M. 2002. A late Glacial–Holocene tephrochronology for glacial lakes in southern Ecuador. *Quaternary Research*, 57(3), 343-354.
- Rodríguez, A.; Arbelo, C.; Guerra, J.; Mora, J.; Notario, J.; Armas, C. 2006. Organic carbón stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. *Catena* 66, 228-235.
- Rodríguez, R.; Arbelo, C.; Notario, J.; Mora, J.; Guerra, J.; Armas, C. 2004. Contenidos y formas de carbono orgánico en andosoles forestales: aproximación a su dinámica. *Edafología. Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, SECS*, 11(1), 67-102.
- Rodríguez-Tapia, S.; Gutiérrez, M.; Hidalgo, C.; Ortiz, C. 1999. Intemperismo en Tepetates y en cenizas volcánicas y su influencia en la formación de Andisoles. *Terra Latinoamericana*, 17(2): 97-108.
- Roig, F. 1973. El cuadro fitosociológico en el estudio de la vegetación. *Deserta*, 4, 45-67. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cibagro.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=028778>
- Ron, S.; Guayasamin, J.; Yáñez-Muñoz, M.; Merino-Viteri, A.; Ortiz, D.; Nicolalde, D. 2014. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. AmphibiaWebEcuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/DiversidadBiogeografia>
- Ross, C.; Fildes, S.; Millington, A. 2017. Land- Use and Land- Cover Change in the Páramo of South- Central Ecuador, 1979–2014. *Land*, 6(3), 46. <http://www.mdpi.com/2073-445X/6/3/46>
- Rossmann, A.; Palm, M. 2006. Why are phytophthora and other oomycota not true fungi?. *Outlooks on Pest Management*, 17(5), 217.
- Rousk, J.; Bååth, E.; Brookes, P.; Lauber, C.; Lozupone, C.; Caporaso, J.; Fierer, N. 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME journal*, 4(10), 1340.
- Rousk, J.; Bååth, E.; Brookes, P.; Lauber, C.; Lozupone, C.; Caporaso, J.; Fierer, N. 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME journal*, 4(10), 1340.
- Saggar, S.; Tate, K.; Feltham, C.; Childs, C.; Parshotam, A. 1994. Carbon turnover in a range of allophanic soils amended with <sup>14</sup>C-labeled glucose. *Soil Biol. Biochem.*, 26, 1263-1271.
- Saigusa, M.; Matsuyama, N. 1998. Distribution of allophanic Andosols and non-allophanic Andosols in Japan. *Tohoku J. Agric. Res.*, 48, 75-83
- Salamanca, A.; Sadeghian, S. 2006. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafe*, 56(4) 381-397. [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056\(04\)381-397.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056(04)381-397.pdf)
- Salgado S.; Cárate, D. 2010. Los sistemas ecológicos en los páramos de la provincia de Chimborazo. Pag: 46-47. En Bustamante, Alban y Arguello (eds) 2011. Los páramos de Chimborazo. Un estudio socio ambiental para la toma de decisiones. *Gobierno Autónomo descentralizado del*



*Chimborazo- ECOCIENCIA- CONDESAN- Programa BioAndes-Proyecto Paramo Andino.*  
Quito, Ecuador. 154 pp.

- Samaniego, E.; Romero, F. 2015. Impacto ambiental del pastoreo ovino en la Reserva Faunística Chimborazo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1(1), 27-35.  
<http://revistas.proeditio.com/REVISTAMAZONICA/article/view/153/131>
- Samaniego-Rojas, N.; Eguiguren, P.; Maita, J.; Aguirre, N. 2016. Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. Pag: 43-63. En Aguirre, N.; Ojeda-Luna, T.; Eguiguren, P; Aguirre-Mendoza, Z. (Editores). 2015. Cambio climático y biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. Programa de biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 272 p.
- Sánchez, C.; Benintende, S.; Benintende, M. 2011. Cianobacterias en diferentes estadios fenológicos del cultivo de arroz en Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del suelo*, 29(2), 181-189.
- Sánchez, F.; Pontes, A. 2010. La comprensión de conceptos de ecología y sus implicaciones para la educación ambiental. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7.  
<http://www.redalyc.org/pdf/920/92013009010.pdf>
- Santos, F. 2010. Caracterización geográfica de las Turberas y Bofedales del Sistema de Humedales de la planicie de Tres Lagunas y bajos del río Shincata. Provincias de Loja, Azuay y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) del MAE (Ministerio del Ambiente de Ecuador)*. 16 pp. Disponible  
<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/892190/Caracterizaci%C3%B3n+de+las+Turberas+y+Bofedales+del+Sistema+de+Humedales+de+las+Provincias+de+Loja+de+las+Provincias+de+Azuay+y+Zamora+Chinchipe..pdf/d185b1d1-7fd3-422e-a44f-56a121a99a2f>
- Sauer, W. 1965. Geología del Ecuador: Quito. Talleres gráficos del Ministerio de Educación. OCoLC: 646963882. 383 pp.  
<http://www.worldcat.org/title/geologia-del-ecuador/oclc/646963882?referer=br&ht=edition>
- Sauer, W. 1971. Geologie von Ecuador. Mit einem Beitrag "Mineralische Rohstoffe in Ecuador" von Hannfrit Putzer. ISBN 978-3-443-11011-6. 316 pp.  
<https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/3443110118>
- Sauvé, S.; McBride, M.; Norvell, W.; Hendershot, W. 1997. Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: effects of copper level, pH and organic matter. *Water, Air, & Soil Pollution*, 100(1), 133-149.
- Saville, D. 1990. Multiple comparison procedures: the practical solution. *The American Statistician*, 44(2), 174-180. <http://www.jstor.org/stable/pdf/2684163.pdf>
- Saville, D. 2003. Basic statistics and the inconsistency of multiple comparison procedures. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 57(3), 167.

- Saxton, K.; Rawls, W. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil science society of America Journal*, 70(5), 1569-1578.
- Schmidt, M.; Torn, M.; Abiven, S.; Dittmar, T.; Guggenberger, G.; Janssens, I; Nannipieri, P. 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), 49-56.
- Schreiber, K. 1990. The history of landscape ecology in Europe. In *Changing landscapes: an ecological perspective* (pp. 21-33). *Springer*, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612->
- Schubert, C.; Clapperton, C. 1990. Quaternary glaciations in the northern Andes (Venezuela, Colombia and Ecuador). *Quaternary Science Reviews*, 9(2-3), 123-135.
- Selifonov, S.; Grifoll, M.; Gurst, J.; Chapman, P. 1993. Isolation and characterization of (-)-1,1a-dihydroxy-1-hydrofluoren-9-one formed by angular dioxygenation in the bacterial catabolism of fluorene. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 193, 67–76.
- Sevink, J.; Tonneijck, F.; Kalbitz, K.; Cammeraat, L. 2014. Dinámica del carbono en los ecosistemas de páramo de los Andes neotropicales: revisión de literatura sobre modelos y parámetros relevantes. <http://hdl.handle.net/11245/1.415726>
- Shen, C.; Xiong, J.; Zhang, H.; Feng, Y.; Lin, X.; Li, X.; Chu, H. 2013. Soil pH drives the spatial distribution of bacterial communities along elevation on Changbai Mountain. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 204-211.
- Shoji, S.; Dahlgren, R.; Nanzyo, M. 1993. Genesis of volcanic ash soils. En: Shoji, S., Nanzyo, M., Dahlgren, R.A. (Eds.), *Volcanic ash soils genesis, properties and utilization*. *Elsevier*, New York, pp. 37-67.
- Sierra, M. 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. *Proyecto Inefan/Gef-Birf y Ecociencia*. <http://manthra.name/proyectos/download/547/>
- SIGAGRO (Sistema De Información Geográfica Para El Sector Agropecuario). 2005. Citado por Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). 2010. Plan de Manejo del Parque Nacional Cotopaxi. Quito-Ecuador. 122 pp.
- Sima, E. 2011. The agro-ecosystem as natural economic production unit in Romania. *Agricultural Economics and Rural Development, New Series*, Year VIII, no. 1, p. 91–108. [http://www.ipe.ro/RePEc/iag/iag\\_pdf/AERD1101\\_91-108.pdf](http://www.ipe.ro/RePEc/iag/iag_pdf/AERD1101_91-108.pdf)
- Simberloff, D.; Dayan, T. 1991. The guild concept and the structure of ecological communities. *Annual review of ecology and systematics*, 22(1), 115-143. <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.es.22.110191.000555>
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7-31.
- Six, J.; Conant, R.; Paul, E.; Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and soil*, 241(2), 155-176.

- Six, J.; Elliott, E.; Paustian, K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(14), 2099-2103.
- Soane, B. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research*, 16(1-2), 179-201.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879090029D>
- Socarrás, A. 2013. Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*, 36(1), 5-13.
- Soethe, N.; Lehmann, J.; Engels, C. 2007. Carbon and nutrient stocks in roots of forests at different altitudes in the Ecuadorian Andes. *Journal of Tropical Ecology*, 23(03), 319-328.
- Sollins, P.; Homann, P.; Caldwell, B. 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, 74(1-2), 65-105.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706196000365>
- Sprent, J.; P. Sprent. 1990. *Nitrogen Fixing Organisms*. Chapman & Hall, London. 256 p.
- Stern, C. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista geológica de Chile*, 31(2), 161-206. <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=s0716-02082004000200001&scri>.
- Suárez-Duque, D. 2008. Formación de un corredor de hábitat de un bosque montano alto en un mosaico de páramo en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 9-15.
- Taboada-Castro, M.; Silva-Hermo, M.; Barral-Silva, M. 1999. Relación entre formas de hierro y color rojo en suelos sobre calizas de Galicia. *Cuaternario y Geomorfología*, 13(3-4), 31-41.
- Takahashi, T.; Shoji, S. 2002. Distribution and classification of volcanic ash soils. *Global Environmental Research-English Edition*, 6(2), 83-98.
- Taylor, D.; Hollingsworth, T.; McFarland, J.; Lennon, N.; Nusbaum, C.; Ruess, R. 2014. A first comprehensive census of fungi in soil reveals both hyperdiversity and fine-scale niche partitioning. *Ecological Monographs*, 84(1), 3-20.
- Tejedor-Garavito, N.; Álvarez, E.; Caro, S.; Murakami, A.; Blundo, C.; Espinoza, T.; León, B. 2012. Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2).
- Thorn, R.; Lynch, M. 2007. Fungi and Eukaryotic Algae. Capítulo 6, 145-162. En Paul, E (Ed.). (2007). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Academic press-Elsevier. 535 pp.
- Tiedje, J. 1988. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. *Biology of anaerobic microorganisms*, 717, 179-244.
- Tiedje, J. M. 1988. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. *Biology of anaerobic microorganisms*, 717, 179-244.
- Tiessen, H.; Cuevas, E.; Chacon, P. 1994. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371(6500), 783-785.

- Tiessen, H.; Cuevas, E.; Salcedo, I. 1998. Organic matter stability and nutrient availability under temperate and tropical conditions. In *Towards Sustainable Land Use. Advances in GeoEcology* 31: 415-422.
- Tirira, D. 2011. Libro Rojo de los mamíferos del Ecuador. 2a. edición. Fundación Mamíferos y Conservación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Ministerio del Ambiente del Ecuador. *Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador* 8. Quito. <http://animalesamenazados.provita.org.ve/citas/46490/tirira-2011>
- Tischer, A.; Blagodatskaya, E.; Hamer, U. 2014. Extracellular enzyme activities in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador affected by low soil P status and land-use change. *Applied Soil Ecology*, 74, 1-11.
- Tonneijck, F.; Hageman, J.; Sevink, J.; Verstraten, J. 2008. Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador. *Geoderma* 144: 231-247.
- Tonneijck, F.; Jansen, B.; Nierop, K.; Verstraten, J.; Sevink, J.; De Lange, L. 2010. Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador. *European J. Soil Science*, 61, 392-405.
- Tonneijck, F.; Plicht, J.; Jansen, B.; Verstraten, J.; Hooghiemstra, H. 2006. Radiocarbon Dating of Soil Organic Matter Fractions in Andosols in Northern Ecuador. *Radiocarbon*, 48(3), 337-353.
- Townsend, C. 1989. The patch dynamics concept of stream community ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1), 36-50. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdfplus/10.2307/1467400>
- Trofimov, V. 2009. The ecological-geological system, its types and position in the structure of an ecosystem. *Moscow University Geology Bulletin*, 64(2), 111-115. <https://link.springer.com/article/10.3103/S0145875209020057>
- Ugolini, F.; Dahlgren, R. 2002. Soil development in volcanic ash. *Global Environmental Research-English Edition*, 6(2), 69-82.
- Ulloa, C.; Álvarez, S.; Jørgensen, P.; Minga, D. 2004. Parque Nacional Cajas-ETAPA & *Missouri Botanical Garden*. Cuenca, Ecuador. 238 pp. ISBN 9978-43-573-5.
- Unger, M.; Homeier, J.; Leuschner, C. 2012. Effects of soil chemistry on tropical forest biomass and productivity at different elevations in the equatorial Andes. *Oecologia*, 170(1), 263-274.
- USDA. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. Décima segunda edición. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos .Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 410 pp.
- Valencia, R.; Cerón, C.; Palacios, W.; Sierra, R. 1999. Las formaciones naturales de la Sierra del Ecuador. Sierra, R. (editor). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. *Proyecto INEFAN/GEF-BIRF and EcoCiencia*, Quito - Ecuador, 81-108.
- Valencia, R.; Jørgensen, P. 1992. Composition and structure of a humid montane forest on the Pasochoa Volcano, Ecuador. *Nord. Journal Bot.* 12:239-247.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1756-1051.1992.tb01301.x>

- Vallejo G.; Lozano, L. 2006. Modelos de análisis para los diseños multivariados de medidas repetidas. *Psicothema*, 18(2).
- Vallejo, I. 1997. Proyecto Población, Uso de la Tierra, Consumo de Agua y Medio Ambiente. Quito: Proyecto CARCHIPOP. Citado en MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2015. Plan de Manejo de la Reserva Ecológica El Ángel. Quito-Ecuador. 176 pp.  
<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/24+PLAN+DE+MANEJO+EL+ANGEL.pdf/134234ba-a47d-459c-956b-37b0155df002>
- Van der Maarel, E. 1975. The Braun-Blanquet approach in perspective. *Vegetatio*, 30(3), 213-219.  
[https://www.researchgate.net/profile/Eddy\\_Van\\_Der\\_Maarel2/publication/225368183\\_The\\_Braun-Blanquet\\_approach\\_in\\_perspective/links/53fce6f70cf22f21c2f4e0e8/The-Braun-Blanquet-approach-in-perspective.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Eddy_Van_Der_Maarel2/publication/225368183_The_Braun-Blanquet_approach_in_perspective/links/53fce6f70cf22f21c2f4e0e8/The-Braun-Blanquet-approach-in-perspective.pdf)
- Van Reeuwijk L. (Ed.). 1999. Procedimientos para Análisis de Suelos, versión 1995. Traducción de: Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena, Carlos Arturo Tavares Espinosa y Carlos Alberto Ortiz Solorio. Primera edición en español. Especialidad de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 145 pp. [https://www.researchgate.net/profile/Ma\\_Del\\_Carmen\\_Gutierrez-Castorena/publication/316451504\\_Procedimientos\\_para\\_analisis\\_de\\_suelos\\_clasificacion\\_y\\_correlacion/links/59b4ad4ca6fdcc3f8895a1ed/Procedimientos-para-analisis-de-suelos-clasificacion-y-correlacion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ma_Del_Carmen_Gutierrez-Castorena/publication/316451504_Procedimientos_para_analisis_de_suelos_clasificacion_y_correlacion/links/59b4ad4ca6fdcc3f8895a1ed/Procedimientos-para-analisis-de-suelos-clasificacion-y-correlacion.pdf)
- Van Veen, J.; Kuikman, P. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeochemistry*, 11(3), 213-233.
- Vanacker, V.; Govers, G.; Barros, S.; Poesen, J.; Deckers, J. 2003. The effect of short-term socio-economic and demographic change on landuse dynamics and its corresponding geomorphic response with relation to water erosion in a tropical mountainous catchment, Ecuador. *Landscape Ecology*, 18(1), 1-15.
- Vandegrift, R.; Thomas, D.; Roy, B.; Levy, M. 2018. Alcance de las concesiones mineras en Ecuador. *Rainforest Information Center, Nimbin, New South Wales, Australia*. Version 1:1. 7 pp.  
<https://ecuadorendangered.com/wp-content/uploads/2018/01/RIC-Mapping-Report-v1.1-20180117-esp.pdf>
- Varajão, A.; Da Costa, G; Varajão, C.; Meunier, J.; Colin, F. 2007. Iron-bearing phases in a peat-derived duricrust from Brazil. *European Journal of Soil Science*, 58, 1096-1106.
- Vásconez, P.; Hofstede, R. 2006. Los páramos ecuatorianos. *Botánica económica de los Andes Centrales*: 91-109.
- Vázquez, A.; Bautista, N. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua/por Antonio Vázquez Alarcón y Norberto Bautista Aroche (No. Folleto 1049). Chapingo México. Departamento de suelos. 29 pp.

- Velez-Espino, L. 2003. "Taxonomic revision, ecology and endangerment categorization of the Andean catfish *Astroblepus ubidiai* (Teleostei: Astroblepidae)." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13.4: 367-378. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11160-004-1096-8.pdf>
- Verstraete, W.; Voets, J. 1977. Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility. *Soil Biology and Biochemistry*, 9(4), 253-258.
- Villarroel, M. 2010. Almacenamiento de agua y carbono en turba en los cantones Yacuambi y Oña, sector de Tres Lagunas. *Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) del MAE*. 13 pp. Disponible en: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/892190/Almacenamiento+de+agua+y+carbono+en+turba+en+los+cantones+Yacuambi+y+O%C3%B1a%2C%20sector+de+Tres+Lagunas.pdf/063994b5-0785-4986-92df-2b2dceaf427c>
- Villarroel-Herrera, M. 2016. Medición del Almacenamiento del Agua y Fijación de Carbono en los Humedales del Sitio Ramsar Reserva Ecológica El Ángel (REEA), como metodología que evidencia la afectación del cambio de uso de suelo en el páramo alto-andino. UCE-FIGEMPA. *Resumen para ponencia en la mesa de trabajo sobre páramo del Foro de los Recursos Hídricos 2016*. 10 pp.
- Visser, S.; Parkinson, D. 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 33-37.
- Vitousek, P.; Sanford, L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:137-167.
- Vuille, M.; Bradley, R. 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophysical Research Letters*, 27(23), 3885-3888.
- Vuille, M.; Bradley, R.; Keimig, F. 2000. Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 13(14), 2520-2535. [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442\(2000\)013%3C2520:CVITAO%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442(2000)013%3C2520:CVITAO%3E2.0.CO;2)
- Walker, L.; Wardle, D.; Bardgett, R.; Clarkson, B. 2010. The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development. *Journal of Ecology*, 98(4), 725-736.
- Wallenstein, M.; McMahon, S.; Schimel, J. 2009. Seasonal variation in enzyme activities and temperature sensitivities in Arctic tundra soils. *Global Change Biology*, 15(7), 1631-1639.
- Wang, Y.; Hsieh, Y. 2002. Uncertainties and novel prospects in the study of the soil carbon dynamics. *Chemosphere* 49, 791-804.
- Warcup, J. 1951. The ecology of soil fungi. *Transactions of the British Mycological Society*, 34(3), 376-399. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007153651800652>
- White, S.; Maldonado, F. 1991. The use and conservation of natural resources in the Andes of southern Ecuador. *Mountain Research and Development*, 37-55.

- Whittaker, R.; Levin, S.; Root, R. 1973. Niche, habitat, and ecotope. *The American Naturalist*, 107(955), 321-338.
- Wikum, D.; Shanholtzer, G. 1978. Application of the Braun-Blanquet cover-abundance scale for vegetation analysis in land development studies. *Environmental management*, 2(4), 323-329. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01866672>
- Wilcke, W.; Yasin, S.; Abramowski, U.; Valarezo, C.; Zech, W. 2002. Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. *European Journal of Soil Science*, 53(1), 15-27.
- Williams, L.; Abdi, H. 2010. Fisher's least significant difference (LSD) test. *Encyclopedia of research design*, 218, 840-853.
- Williams, S.; Davies, F.; Mayfield, C.; Khan, M. 1971. Studies on the ecology of actinomycetes in soil II. The pH requirements of streptomycetes from two acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 3(3), 187-195.
- Williams, S.; Mayfield, C. 1971. Studies on the ecology of actinomycetes in soil III. The behaviour of neutrophilic streptomycetes in acid soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 3(3), 197-208.
- Wolf, T. 1892. Geografía y geología del Ecuador. Tipografía de FA Brockhaus. Citado por Hall, M. L. 1977. El volcanismo en el Ecuador. IPGH, Sección Nacional del Ecuador. 120 pp.
- Young, K. 1994. Roads and the environmental degradation of tropical montane forest. *Conservation Biology* 8: 972-976.
- Zapata, G; Branch, L. 2014. Evaluación de los factores determinantes de presencia – ausencia de los carnívoros en los Andes ecuatorianos. En: Cuesta F, Sevink J, Llambi LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, *CONDESAN*.
- Zapata, J. 2004. Microorganismos del Suelo. Blanca, 185-210. En Zúñiga, F.; Prieto, J; González, H.; Bistrain, R.; Jiménez, E.; Carranza, M. (Eds). 2004. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales (No. 333.715 T4). Universidad Nacional Autónoma de México. 509 pp. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/429.pdf#page=186>
- Zapata, S.; Benavides, H.; Carpio, C.; Willis, D. 2012. The economic value of basin protection to improve the quality and reliability of potable water supply: the case of Loja, Ecuador. *Water Policy*, 14(1), 1-13. DOI: 10.2166/wp.2011.007. <http://wp.iwaponline.com/content/14/1/1>
- Zbytniewski, R.; Buszewski, B. 2005. Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties. *Bioresource technology*, 96(4), 471-478.
- Zech, W.; Senesi, N.; Guggenberger, G.; Kaiser, K.; Lehmann, J.; Miano, T.; Schroth, G. 1997. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79(1), 117-161.

- Zehetner, F.; Miller, W.; West, L. 2003. Pedogenesis of volcanic ash soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1797-1809.
- Zelles, L.; Rackwitz, R.; Bai, Q.; Beck, T.; Beese, F. 1995. Discrimination of microbial diversity by fatty acid profiles of phospholipids and lipopolysaccharides in differently cultivated soils. In *The significance and regulation of soil biodiversity* (pp. 115-122). *Springer*, Dordrecht.
- Zhang, B.; Horn, R.; Hallett, P. 2005. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 864-871.
- Zhang, X.; Wang, H.; He, L.; Lu, K.; Sarmah, A.; Li, J.; Huang, H. 2013. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12), 8472-8483.
- Zogg, G.; Zak, D.; Ringelberg, D.; White, D.; MacDonald, N.; Pregitzer, K. 1997. Compositional and functional shifts in microbial communities due to soil warming. *Soil Science Society of America Journal*, 61(2), 475-481.
- Zwolinski, J. B. (1990). Intensive silviculture and yield stability in tree plantations: an ecological perspective. *South African Forestry Journal*, 155(1), 33-36.



## Anexo I. Detalles de los datos capturados para el META-ANÁLISIS

### A) Datos tomados desde publicaciones científicas

| # dato | Autor                | # dato | Autor                | # dato | Autor                   | # dato | Autor                 | # dato | Autor                | # dato | Autor                       |
|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|-------------------------|--------|-----------------------|--------|----------------------|--------|-----------------------------|
| 1      | Chacón et al, 2009   | 41     | Molina et al, 2007   | 81     | Buytaert et al, 2007    | 121    | Fehse at al, 2002     | 161    | Rhoades et al, 2000  | 201    | Zehetner et al, 2003        |
| 2      | Chacón et al, 2009   | 42     | Molina et al, 2007   | 82     | Buytaert et al, 2007    | 122    | Fehse at al, 2002     | 162    | Rhoades et al, 2000  | 202    | Zehetner et al, 2003        |
| 3      | Chacón et al, 2009   | 43     | Molina et al, 2007   | 83     | Buytaert et al, 2007    | 123    | Fehse at al, 2002     | 163    | Rhoades et al, 2000  | 203    | Zehetner et al, 2003        |
| 4      | Chacón et al, 2009   | 44     | Molina et al, 2007   | 84     | Buytaert et al, 2007    | 124    | Fehse at al, 2002     | 164    | Rhoades et al, 2000  | 204    | Ute Hammer et al, 2012      |
| 5      | Buytaert et al, 2002 | 45     | Molina et al, 2007   | 85     | Buytaert et al, 2007    | 125    | Fehse at al, 2002     | 165    | Rhoades et al, 2000  | 205    | Ute Hammer et al, 2012      |
| 6      | Buytaert et al, 2006 | 46     | Molina et al, 2007   | 86     | Buytaert et al, 2007    | 126    | Fehse at al, 2002     | 166    | Rhoades et al, 2000  | 206    | Ute Hammer et al, 2012      |
| 7      | Buytaert et al, 2006 | 47     | Molina et al, 2007   | 87     | Poulenard et al, 2003   | 127    | Fehse at al, 2002     | 167    | Rhoades et al, 2000  | 207    | Ute Hammer et al, 2012      |
| 8      | Buytaert et al, 2006 | 48     | Molina et al, 2007   | 88     | Poulenard et al, 2003   | 128    | Fehse at al, 2002     | 168    | Rhoades et al, 2000  | 208    | Ute Hammer et al, 2012      |
| 9      | Buytaert et al, 2006 | 49     | Molina et al, 2007   | 89     | Poulenard et al, 2003   | 129    | Fehse at al, 2002     | 169    | Rhoades et al, 2000  | 209    | Podwojewski y Germain, 2005 |
| 10     | Buytaert et al, 2006 | 50     | Molina et al, 2007   | 90     | Buytaert et al, 2005    | 130    | Fehse at al, 2002     | 170    | Rhoades et al, 2000  | 210    | Potthast et al, 2012        |
| 11     | Buytaert et al, 2006 | 51     | Molina et al, 2007   | 91     | Buytaert et al, 2005    | 131    | Fehse at al, 2002     | 171    | Tonneijck et al 2010 | 211    | Potthast et al, 2012        |
| 12     | Buytaert et al, 2006 | 52     | Molina et al, 2007   | 92     | Buytaert et al, 2005    | 132    | Fehse at al, 2002     | 172    | Tonneijck et al 2010 | 212    | Potthast et al, 2012        |
| 13     | Buytaert et al, 2006 | 53     | Molina et al, 2007   | 93     | Buytaert et al, 2005    | 133    | Fehse at al, 2002     | 173    | Tonneijck et al 2010 | 213    | Rhoades et al, 1998         |
| 14     | Molina et al, 2007   | 54     | Molina et al, 2007   | 94     | Buytaert et al, 2005    | 134    | Fehse at al, 2002     | 174    | Tonneijck et al 2010 | 214    | Rhoades et al, 1998         |
| 15     | Molina et al, 2007   | 55     | Molina et al, 2007   | 95     | Buytaert et al, 2005    | 135    | Fehse at al, 2002     | 175    | Tonneijck et al 2010 | 215    | Rhoades et al, 1998         |
| 16     | Molina et al, 2007   | 56     | Molina et al, 2007   | 96     | Buytaert et al, 2005    | 136    | Fehse at al, 2002     | 176    | Tonneijck et al 2010 | 216    | Günter et al 2009           |
| 17     | Molina et al, 2007   | 57     | Molina et al, 2007   | 97     | Buytaert et al, 2005    | 137    | Fehse at al, 2002     | 177    | Tonneijck et al 2010 | 217    | Günter et al 2009           |
| 18     | Molina et al, 2007   | 58     | Molina et al, 2007   | 98     | Buytaert et al, 2005    | 138    | Fehse at al, 2002     | 178    | Tonneijck et al 2010 | 218    | Günter et al 2009           |
| 19     | Molina et al, 2007   | 59     | Molina et al, 2007   | 99     | Buytaert et al, 2005    | 139    | Fehse at al, 2002     | 179    | Tonneijck et al 2010 | 219    | Wilcke et al, 2001          |
| 20     | Molina et al, 2007   | 60     | Molina et al, 2007   | 100    | WILCKE et al, 2002      | 140    | Fehse at al, 2002     | 180    | Tian et al, 2007     | 220    | Wilcke et al, 2001          |
| 21     | Molina et al, 2007   | 61     | Molina et al, 2007   | 101    | WILCKE et al, 2003      | 141    | Fehse at al, 2002     | 181    | Tian et al, 2007     | 221    | Wilcke et al, 2001          |
| 22     | Molina et al, 2007   | 62     | Molina et al, 2007   | 102    | WILCKE et al, 2003      | 142    | Fehse at al, 2002     | 182    | Tian et al, 2007     | 222    | Wilcke et al, 2001          |
| 23     | Molina et al, 2007   | 63     | Molina et al, 2007   | 103    | WILCKE et al, 2003      | 143    | Fehse at al, 2002     | 183    | Tian et al, 2007     | 223    | Wilcke et al, 2001          |
| 24     | Molina et al, 2007   | 64     | Molina et al, 2007   | 104    | WILCKE et al, 2003      | 144    | Cierjacks et al, 2008 | 184    | Tian et al, 2007     | 224    | Paul et al 2008             |
| 25     | Molina et al, 2007   | 65     | Molina et al, 2007   | 105    | Farley et al, 2004      | 145    | Cierjacks et al, 2008 | 185    | Tian et al, 2007     | 225    | Paul et al 2008             |
| 26     | Molina et al, 2007   | 66     | Soethe et al, 2007   | 106    | Farley et al, 2004      | 146    | Cierjacks et al, 2008 | 186    | Tian et al, 2007     | 226    | Paul et al 2008             |
| 27     | Molina et al, 2007   | 67     | Soethe et al, 2007   | 107    | Farley et al, 2004      | 147    | Cierjacks et al, 2008 | 187    | Tian et al, 2007     | 227    | Paul et al 2008             |
| 28     | Molina et al, 2007   | 68     | Soethe et al, 2007   | 108    | Farley et al, 2004      | 148    | Cierjacks et al, 2008 | 188    | Tian et al, 2007     | 228    | Paul et al 2008             |
| 29     | Molina et al, 2007   | 69     | Buytaert et al, 2007 | 109    | Podwojewski et al, 2002 | 149    | Henry et al, 2012     | 189    | Tian et al, 2007     | 229    | Paul et al 2008             |
| 30     | Molina et al, 2007   | 70     | Buytaert et al, 2007 | 110    | Podwojewski et al, 2002 | 150    | Henry et al, 2012     | 190    | Tian et al, 2007     | 230    | Paul et al 2008             |
| 31     | Molina et al, 2007   | 71     | Buytaert et al, 2007 | 111    | Podwojewski et al, 2002 | 151    | Henry et al, 2012     | 191    | Tian et al, 2007     | 231    | Paul et al 2008             |
| 32     | Molina et al, 2007   | 72     | Buytaert et al, 2007 | 112    | Podwojewski et al, 2002 | 152    | Henry et al, 2012     | 192    | Zehetner et al, 2003 | 232    | Paul et al 2008             |
| 33     | Molina et al, 2007   | 73     | Buytaert et al, 2007 | 113    | Fehse at al, 2002       | 153    | Henry et al, 2012     | 193    | Zehetner et al, 2003 | 233    | Paul et al 2008             |
| 34     | Molina et al, 2007   | 74     | Buytaert et al, 2007 | 114    | Fehse at al, 2002       | 154    | Henry et al, 2012     | 194    | Zehetner et al, 2003 | 234    | Paul et al 2008             |
| 35     | Molina et al, 2007   | 75     | Buytaert et al, 2007 | 115    | Fehse at al, 2002       | 155    | Henry et al, 2012     | 195    | Zehetner et al, 2003 | 235    | Paul et al 2008             |
| 36     | Molina et al, 2007   | 76     | Buytaert et al, 2007 | 116    | Fehse at al, 2002       | 156    | Henry et al, 2012     | 196    | Zehetner et al, 2003 | 236    | Martinson et al 2012        |
| 37     | Molina et al, 2007   | 77     | Buytaert et al, 2007 | 117    | Fehse at al, 2002       | 157    | Henry et al, 2012     | 197    | Zehetner et al, 2003 | 237    | Martinson et al 2012        |
| 38     | Molina et al, 2007   | 78     | Buytaert et al, 2007 | 118    | Fehse at al, 2002       | 158    | Henry et al, 2012     | 198    | Zehetner et al, 2003 | 238    | Farley et al, 2004          |
| 39     | Molina et al, 2007   | 79     | Buytaert et al, 2007 | 119    | Fehse at al, 2002       | 159    | Rhoades et al, 2000   | 199    | Zehetner et al, 2003 | 239    | Farley et al, 2004          |
| 40     | Molina et al, 2007   | 80     | Buytaert et al, 2007 | 120    | Fehse at al, 2002       | 160    | Rhoades et al, 2000   | 200    | Zehetner et al, 2003 | 240    | Farley et al, 2004          |

B) Datos tomados desde los perfiles de suelo del portal del I.E.E. (<[www.ideportal.iee.gob.ec](http://www.ideportal.iee.gob.ec)>).

| # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE | # dato | Codigo Perfil IEE |
|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|
| 260    | PN1-P094          | 340    | PM1-P136          | 420    | PM1-P216          | 500    | PM1-P296          | 580    | CL9-P045          | 660    | CL8-P073          | 740    | CO9-P028          | 820    | PM4-P043          | 900    | PM3-P024          | 980    | PM1-P141          |
| 261    | PN1-P095          | 341    | PM1-P137          | 421    | PM1-P217          | 501    | PM1-P297          | 581    | CL9-P036          | 661    | CL7-P038          | 741    | CL7-P034          | 821    | PN5-P040          | 901    | PM3-P025          | 981    | PM1-P142          |
| 262    | PN1-P096          | 342    | PM1-P138          | 422    | PM1-P218          | 502    | PM1-P298          | 582    | PN8-P166          | 662    | CL7-P039          | 742    | CL7-P050          | 822    | PM1-P048          | 902    | PM3-P025          | 982    | PM1-P143          |
| 263    | PN1-P099          | 343    | PM1-P139          | 423    | PM1-P219          | 503    | PM1-P299          | 583    | PN1-P172          | 663    | CL7-P036          | 743    | CL7-P006          | 823    | PN8-P032          | 903    | PM3-P026          | 983    | PM1-P144          |
| 264    | PN1-P100          | 344    | PM1-P140          | 424    | PM1-P220          | 504    | PM1-P300          | 584    | PM2-P161          | 664    | CL7-P037          | 744    | CL4-P012          | 824    | PN8-P033          | 904    | PM3-P026          | 984    | PM1-P145          |
| 265    | PN1-P101          | 345    | PM1-P141          | 425    | PM1-P221          | 505    | PM1-P301          | 585    | CL1-P012          | 665    | CL7-P030          | 745    | CL4-P020          | 825    | PN8-P042          | 905    | PM3-P026          | 985    | PM1-P146          |
| 266    | PN1-P102          | 346    | PM1-P142          | 426    | PM1-P222          | 506    | PM1-P302          | 586    | CL6-P125          | 666    | CO8-P068          | 746    | CL4-P020          | 826    | PN8-P043          | 906    | PM3-P027          | 986    | PM1-P147          |
| 267    | PN1-P103          | 347    | PM1-P143          | 427    | PM1-P223          | 507    | PM1-P303          | 587    | CL9-P047          | 667    | CL7-P019          | 747    | CL4-P050          | 827    | PN8-P041          | 907    | PM3-P027          | 987    | PM1-P148          |
| 268    | PN1-P104          | 348    | PM1-P144          | 428    | PM1-P224          | 508    | PM1-P304          | 588    | CL9-P051          | 668    | PM2-P164          | 748    | CL4-P047          | 828    | PN8-P040          | 908    | PM3-P028          | 988    | PM1-P149          |
| 269    | PN1-P105          | 349    | PM1-P145          | 429    | PM1-P225          | 509    | PM1-P305          | 589    | CL9-P037          | 669    | CL8-P068          | 749    | CL4-P047          | 829    | PM1-P045          | 909    | PM3-P029          | 989    | PM1-P150          |
| 270    | PN1-P106          | 350    | PM1-P146          | 430    | PM1-P226          | 510    | PM1-P306          | 590    | PN5-P177          | 670    | PM1-P169          | 750    | CL4-P044          | 830    | PM1-P044          | 910    | PM3-P029          | 990    | PM1-P151          |
| 271    | PN1-P107          | 351    | PM1-P147          | 431    | PM1-P227          | 511    | PM1-P307          | 591    | PN5-P178          | 671    | CO9-P038          | 751    | CL4-P045          | 831    | PN7-P042          | 911    | PM3-P030          | 991    | PM1-P153          |
| 272    | PN1-P108          | 352    | PM1-P148          | 432    | PM1-P228          | 512    | PM1-P308          | 592    | PN5-P179          | 672    | CO8-P051          | 752    | CL4-P046          | 832    | PN7-P041          | 912    | PM3-P030          | 992    | PM1-P154          |
| 273    | PN1-P109          | 353    | PM1-P149          | 433    | PM1-P229          | 513    | PM1-P309          | 593    | CL9-P058          | 673    | CL7-P033          | 753    | CL4-P034          | 833    | PN8-P039          | 913    | PM3-P031          | 993    | PM1-P155          |
| 274    | PN1-P110          | 354    | PM1-P150          | 434    | PM1-P230          | 514    | PM1-P310          | 594    | PN8-P178          | 674    | CL4-P030          | 754    | CL4-P035          | 834    | PN8-P038          | 914    | PM3-P032          | 994    | PM1-P157          |
| 275    | PN1-P111          | 355    | PM1-P151          | 435    | PM1-P231          | 515    | PM2-P155          | 595    | CL9-P038          | 675    | CL4-P061          | 755    | CL4-P037          | 835    | PN8-P037          | 915    | PM4-P024          | 995    | PM1-P158          |
| 276    | PN2-P085          | 356    | PM1-P152          | 436    | PM1-P232          | 516    | PM2-P155          | 596    | CL9-P059          | 676    | CL4-P062          | 756    | PN4-P030          | 836    | PM4-P037          | 916    | PM4-P025          | 996    | PM1-P159          |
| 277    | PN2-P086          | 357    | PM1-P153          | 437    | PM1-P233          | 517    | PM2-P155          | 597    | PM2-P168          | 677    | CL6-P080          | 757    | PN4-P030          | 837    | PM4-P038          | 917    | PM4-P026          | 997    | PM1-P160          |
| 278    | PN2-P087          | 358    | PM1-P154          | 438    | PM1-P234          | 518    | PN8-P162          | 598    | CL9-P025          | 678    | CO9-P024          | 758    | PN6-P026          | 838    | PN7-P038          | 918    | PM4-P027          | 998    | PM1-P161          |
| 279    | PN2-P088          | 359    | PM1-P155          | 439    | PM1-P235          | 519    | PN1-P158          | 599    | CL6-P142          | 679    | CO8-P022          | 759    | PN2-P031          | 839    | PN7-P039          | 919    | PM4-P027          | 999    | PM1-P162          |
| 280    | PN2-P089          | 360    | PM1-P156          | 440    | PM1-P236          | 520    | PN8-P163          | 600    | CL1-P014          | 680    | CO9-P021          | 760    | CL7-P024          | 840    | PN5-P036          | 920    | PM4-P028          | 1000   | PM1-P163          |
| 281    | PN2-P090          | 361    | PM1-P157          | 441    | PM1-P237          | 521    | PM2-P156          | 601    | CL6-P101          | 681    | CO9-P021          | 761    | CL7-P025          | 841    | PN5-P035          | 921    | PM4-P028          | 1001   | PM1-P164          |
| 282    | PN2-P091          | 362    | PM1-P158          | 442    | PM1-P238          | 522    | PN1-P161          | 602    | CL9-P054          | 682    | CO8-P023          | 762    | CO8-P052          | 842    | PM1-P041          | 922    | PM4-P029          | 1002   | PM1-P165          |
| 283    | PN2-P092          | 363    | PM1-P159          | 443    | PM1-P239          | 523    | PM2-P154          | 603    | PN4-P166          | 683    | CO8-P024          | 763    | CO8-P054          | 843    | PM1-P040          | 923    | PM4-P029          | 1003   | PN9-P147          |
| 284    | PN2-P093          | 364    | PM1-P160          | 444    | PM1-P240          | 524    | PM2-P153          | 604    | PN4-P166          | 684    | CO8-P020          | 764    | CO8-P054          | 844    | PM3-P036          | 924    | PM4-P030          | 1004   | PN9-P145          |
| 285    | PN2-P094          | 365    | PM1-P161          | 445    | PM1-P241          | 525    | PN1-P159          | 605    | CL9-P055          | 685    | CO9-P015          | 765    | CO8-P055          | 845    | PN3-P037          | 925    | PM4-P031          | 1005   | PN9-P155          |
| 286    | PN2-P095          | 366    | PM1-P162          | 446    | PM1-P242          | 526    | PN8-P164          | 606    | CL6-P132          | 686    | CL7-P056          | 766    | CO8-P055          | 846    | PM4-P039          | 926    | PM4-P032          |        |                   |
| 287    | PN2-P096          | 367    | PM1-P163          | 447    | PM1-P243          | 527    | PN8-P164          | 607    | PN5-P182          | 687    | CO8-P006          | 767    | PN2-P028          | 847    | PM4-P040          | 927    | PM4-P033          |        |                   |
| 288    | PN2-P097          | 368    | PM1-P164          | 448    | PM1-P244          | 528    | PN6-P142          | 608    | PN5-P180          | 688    | CO8-P003          | 768    | PN2-P026          | 848    | PN7-P045          | 928    | PM1-P039          |        |                   |
| 289    | PN2-P098          | 369    | PM1-P165          | 449    | PM1-P245          | 529    | PN8-P165          | 609    | CL9-P056          | 689    | CO9-P026          | 769    | PN1-P033          | 849    | PM3-P038          | 929    | PM1-P048          |        |                   |
| 290    | PN2-P099          | 370    | PM1-P166          | 450    | PM1-P246          | 530    | PN6-P143          | 610    | PN4-P167          | 690    | CL7-P060          | 770    | PM1-P033          | 850    | PN5-P038          | 930    | PM2-P098          |        |                   |
| 291    | PN2-P100          | 371    | PM1-P167          | 451    | PM1-P247          | 531    | CL9-P050          | 611    | PN5-P181          | 691    | PN1-P037          | 771    | PM4-P113          | 851    | PN5-P037          | 931    | PM2-P111          |        |                   |
| 292    | PN2-P101          | 372    | PM1-P168          | 452    | PM1-P248          | 532    | PN8-P175          | 612    | PN7-P185          | 692    | CL7-P011          | 772    | PM4-P112          | 852    | PN5-P039          | 932    | PM2-P109          |        |                   |
| 293    | PN2-P102          | 373    | PM1-P169          | 453    | PM1-P249          | 533    | PN8-P175          | 613    | PN7-P186          | 693    | PM4-P163          | 773    | PM5-P009          | 853    | PM1-P042          | 933    | PM2-P118          |        |                   |
| 294    | PN2-P103          | 374    | PM1-P170          | 454    | PM1-P250          | 534    | CL6-P128          | 614    | PN7-P186          | 694    | CL7-P013          | 774    | PM5-P009          | 854    | PM1-P043          | 934    | PM2-P120          |        |                   |
| 295    | PN2-P103          | 375    | PM1-P171          | 455    | PM1-P251          | 535    | PN8-P176          | 615    | PN7-P187          | 695    | PM3-P180          | 775    | PM5-P008          | 855    | PM4-P044          | 935    | PM2-P119          |        |                   |
| 296    | PN2-P104          | 376    | PM1-P172          | 456    | PM1-P252          | 536    | PN8-P176          | 616    | PN2-P168          | 696    | PM3-P180          | 776    | PM3-P107          | 856    | PN7-P040          | 936    | PM2-P117          |        |                   |
| 297    | PN3-P096          | 377    | PM1-P173          | 457    | PM1-P253          | 537    | PM2-P160          | 617    | PN9-P165          | 697    | PM3-P179          | 777    | PM3-P107          | 857    | PM1-P047          | 937    | PM2-P116          |        |                   |
| 298    | PN3-P097          | 378    | PM1-P174          | 458    | PM1-P254          | 538    | PM2-P160          | 618    | PN9-P166          | 698    | PM3-P179          | 778    | PN8-P095          | 858    | PN5-P024          | 938    | PM2-P115          |        |                   |
| 299    | PN3-P098          | 379    | PM1-P175          | 459    | PM1-P255          | 539    | PN6-P144          | 619    | PN9-P167          | 699    | PM4-P164          | 779    | PN8-P095          | 859    | PN5-P025          | 939    | PM2-P112          |        |                   |
| 300    | PN3-P099          | 380    | PM1-P176          | 460    | PM1-P256          | 540    | PN6-P141          | 620    | PN7-P188          | 700    | PM4-P164          | 780    | PM3-P106          | 860    | PN5-P026          | 940    | PM2-P114          |        |                   |
| 301    | PN3-P100          | 381    | PM1-P177          | 461    | PM1-P257          | 541    | PN6-P141          | 621    | PN7-P189          | 701    | PM3-P162          | 781    | PM3-P106          | 861    | PN5-P027          | 941    | PM2-P113          |        |                   |
| 302    | PN3-P101          | 382    | PM1-P178          | 462    | PM1-P258          | 542    | PN1-P162          | 622    | PN9-P168          | 702    | PM3-P163          | 782    | PM3-P105          | 862    | PN5-P028          | 942    | PM2-P104          |        |                   |
| 303    | PN3-P102          | 383    | PM1-P179          | 463    | PM1-P259          | 543    | PN6-P140          | 623    | PN9-P160          | 703    | PM3-P161          | 783    | PN8-P094          | 863    | PN5-P029          | 943    | PM2-P105          |        |                   |
| 304    | PN3-P103          | 384    | PM1-P180          | 464    | PM1-P260          | 544    | PN6-P153          | 624    | PN9-P159          | 704    | CO8-P033          | 784    | PN8-P093          | 864    | PN5-P030          | 944    | PM2-P101          |        |                   |
| 305    | PN3-P104          | 385    | PM1-P181          | 465    | PM1-P261          | 545    | CL6-P130          | 625    | PN4-P152          | 705    | CO8-P032          | 785    | PM5-P007          | 865    | PN5-P031          | 945    | PM2-P100          |        |                   |
| 306    | PN3-P105          | 386    | PM1-P182          | 466    | PM1-P262          | 546    | PN1-P171          | 626    | CL6-P143          | 706    | PM3-P167          | 786    | PM5-P007          | 866    | PN7-P025          | 946    | PM2-P098          |        |                   |
| 307    | PN3-P106          | 387    | PM1-P183          | 467    | PM1-P263          | 547    | PN1-P170          | 627    | CL9-P028          | 707    | PM4-P165          | 787    | PN5-P109          | 867    | PN7-P025          | 947    | PM2-P099          |        |                   |
| 308    | PN3-P107          | 388    | PM1-P184          | 468    | PM1-P264          | 548    | PN1-P170          | 628    | PN4-P160          | 708    | PM3-P178          | 788    | PN5-P110          | 868    | PN7-P026          | 948    | PM2-P102          |        |                   |
| 309    | PN3-P108          | 389    | PM1-P185          | 469    | PM1-P265          | 549    | PN1-P163          | 629    | PN5-P166          | 709    | PM3-P178          | 789    | PN5-P111          | 869    | PN7-P027          | 949    | PM2-P103          |        |                   |
| 310    | PN3-P109          | 390    | PM1-P186          | 470    | PM1-P266          | 550    | PM2-P158          | 630    | PN5-P165          | 710    | PM3-P178          | 790    | PN6-P088          | 870    | PN7-P027          | 950    | PM2-P108          |        |                   |
| 311    | PN3-P110          | 391    | PM1-P187          | 471    | PM1-P267          | 551    | PM2-P158          | 631    | CL9-P040          | 711    | PM3-P159          | 791    | PN6-P088          | 871    | PN7-P028          | 951    | PM2-P106          |        |                   |
| 312    | PN3-P111          | 392    | PM1-P188          | 472    | PM1-P268          | 552    | PM2-P157          | 632    | CL9-P042          | 712    | PM3-P159          | 792    | PN6-P089          | 872    | PN7-P029          | 952    | PM2-P107          |        |                   |
| 313    | PN3-P112          | 393    | PM1-P189          | 473    | PM1-P269          | 553    | CL6-P129          | 633    | CL6-P137          | 713    | PM4-P172          | 793    | PN6-P089          | 873    | PN7-P029          | 953    | PM4-P124          |        |                   |
| 314    | PN3-P113          | 394    | PM1-P190          | 474    | PM1-P270          | 554    | CL6-P129          | 634    | PN8-P170          | 714    | CO8-P007          | 794    | PN5-P042          | 874    | PN7-P030          | 954    | PN5-P121          |        |                   |
| 315    | PN3-P114          | 395    | PM1-P191          | 475    | PM1-P271          | 555    | CL1-P018          | 635    | PN8-P172          | 715    | CL7-P007          | 795    | PN5-P032          | 875    | PN7-P031          | 955    | PM3-P117          |        |                   |
| 316    | PN3-P115          | 396    | PM1-P192          | 476    | PM1-P272          | 556    | CL6-P140          | 636    | PN8-P172          | 716    | PM3-P165          | 796    | PN8-P035          | 876    | PN7-P032          | 956    | PM5-P023          |        |                   |
| 317    | PN3-P116          | 397    | PM1-P193          | 477    | PM1-P273          | 557    | PN8-P167          | 637    | CL1-P023          | 717    | PM3-P171          | 797    | PN8-P034          | 877    | PN7-P034          | 957    | PM6-P100          |        |                   |
| 318    | PN1-P112          | 398    | PM1-P194          | 478    | PM1-P274          | 558    | PN8-P167          | 638    | CL7-P047          | 718    | PM3-P171          | 798    | PN8-P036          | 878    | PN8-P026          | 958    | PM5-P024          |        |                   |
| 319    | PN1-P113          | 399    | PM1-P195          | 479    | PM1-P275          | 559    | CL1-P013          | 639    | CL7-P045          | 719    | PM3-P164          | 799    | PN7-P035          | 879    | PN8-P027          | 959    | PM3-P118          |        |                   |
| 320    | PN1-P114          | 400    | PM1-P196          | 480    | PM1-P276          | 560    | PN8-P177          | 640    | CL8-P071          | 720    | PM4-P167          | 800    | PN7-P036          | 880    | PN8-P027          | 960    | PM6-P101          |        |                   |
| 321    | PN1-P115          | 401    | PM1-P197          | 481    | PM1-P277          | 561    | CL9-P023          | 641    | CL8-P071          | 721    | PM4-P169          | 801    | PN7-P037          | 881    | PN8-P028          | 961    | PM3-P119          |        |                   |
| 322    | PN1-P116          | 402    | PM1-P198          | 482    | PM1-P278          | 562    | CL9-P039          | 642    | CL1-P004          | 722    | PM4-P170          | 802    | PM1-P038          | 882    | PN8-P028          | 962    | PM3-P120          |        |                   |
| 323    | PN1-P117          | 403    | PM1-P199          | 483    | PM1-P279          | 563    | PN6-P154          | 643    | CL1-P004          | 723    | PN8-174           | 803    | PM1-P039          | 883    | PN8-P029          | 963    | PM4-P126          |        |                   |
| 324</  |                   |        |                   |        |                   |        |                   |        |                   |        |                   |        |                   |        |                   |        |                   |        |                   |