

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA



DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL,  
PARASITOLOGIA, ECOLOGIA, EDAFOLOGIA Y QUIMICA  
AGRICOLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES

Evaluación del potencial de los bosques de  
*Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* como  
sumideros de carbono en el entorno del Parque  
Nacional Huascarán (Perú).

ROY COLLINS CÁRDENAS RENGIFO

2016



El Parque Nacional Huascarán (PNH) está localizado en la zona norte – centro del país ocupando parte de las provincias de Huaylas, Yungay, Carhuaz, Huaraz, Recuay, Bolognesi, Huari, Asunción, Mariscal Luzuriaga y Pomabamba en el departamento de Ancash, y tiene una extensión de 340,000 hectáreas. El PNH es uno de los más emblemáticos del país puesto que protege una de las zonas con la mayor diversidad biológica y cultural que tiene el Perú.

En su interior protege la eco región de la Puna Húmeda de los Andes Centrales. Fue creado en 1975 y en 1977 fue declarado Reserva de Biosfera por la UNESCO; y en 1985 fue incluido en la lista de Patrimonio Natural de la Humanidad de la UNESCO. El territorio del PNH es accidentado y comprende el flanco oriental de la Cordillera Blanca en la zona del callejón de Conchucos y el occidental en la zona del callejón de Huaylas. Presenta cumbres nevadas con altitudes que oscilan entre los 5,000 m.s.n.m. y 6,768 m.s.n.m. (Huascarán); quebradas profundamente encajonadas como resultado de la erosión fluvio glaciar; y un gran número de lagunas.

El PNH se encuentra ubicado en una zona eminentemente tropical, albergando los nevados más altos del mundo en esta región geográfica. Dentro de sus límites existe cerca de 660 glaciares y 300 lagunas de origen glaciar. Es por eso que la importancia del PNH también se refleja en el potencial hidrológico pues sus nevados alimentan la cuenca de los ríos Santa, Marañón y Pativilca.



VNIVERSIDAD  
D SALAMANCA

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

Departamento de Biología Animal, Parasitología,  
Ecología, Edafología y Química Agrícola



Evaluación del potencial de los bosques de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* como sumideros de carbono en el entorno del Parque Nacional Huascarán (Perú).

**Roy Collins Cárdenas Rengifo**

**Enero, 2016**

## AGRADECIMIENTOS

Al todo poderoso y omnipotente, Señor Jesús, por haber generado la oportunidad y permitido terminar este trabajo de investigación; con mucha satisfacción y alegría, debo confesar que, nunca hubo desánimo o una falta de aliento, ante las circunstancias limitantes y difíciles en la consecución de esta logro personal; y es que Dios, en su infinita bondad y misericordia, puso personas, amigos y conocidos, para colaborar y ser parte esencial de éste propósito académico, y finalmente, me bendijo con su materialización y defensa; no obstante, puso a prueba mi perseverancia, mi amor por El, por mi familia y por la ciencia.

Aprovecho este espacio para agradecer a mis directores de Tesis Dr. Juan Fernando Gallardo Lancho y Co-Director Dr. Oscar Loli Figueroa, por la conducción acertada y atinados consejos.

Agradecer a mi familia, especialmente a mi Sra. esposa Xandra Amada Saavedra Contreras, mis hijas Emmhy, Nicoll, Camila y Jheriel, por ser una fuente inagotable de alegría, luz, amor y unidad.

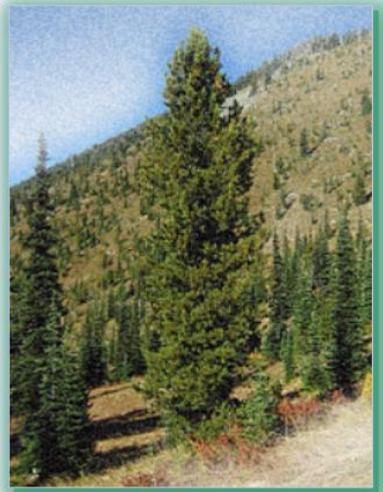
A mis padres Néstor Tercero y Simona, aún cuando mi madre no esté con nosotros, guardo con mucho cariño y amor, sus enseñanzas y sabios consejos.

Al Ing. Juan Chura Chuquiya, por la precisión y ayuda oportuna en materia estadística, al Ing. Manuel Fabián Valencia Ramos por su colaboración en materia de suelos.

A la Empresa *Environment Nature Conservation* (CARSAA-ENC CONSULTING SRL) por su importante apoyo económico y logístico.

Finalmente, agradecer a los propietarios de los bosques forestales evaluados, a los señores presidente de las Comunidades Campesinas de "Catac" y "Siete Imperios" y a la señora Zoila Sotelo Sal y Rosas por su valiosa colaboración.

*Roy Collins*



## **ABREVIATURAS**

# ABREVIATURAS

# ABREVIATURAS

Las abreviaturas y siglas utilizadas en este trabajo se especifican a continuación. Para los nombres de unidades y símbolos utilizados se ha seguido el Sistema Internacional de Unidades. Las sustancias químicas se rigen según el sistema de nomenclatura de la IUPAC

BA	Biomasa arborea
BAV	Biomasa arborea viva
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BSub	Biomasa subterránea
BTAV	Biomasa total de árboles vivos
BTa	Biomasa total aérea
C	Carbono
°C	Grado centígrados
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COS	Carbono Orgánico del Suelo
CRYRZA	Comisión de Rehabilitación y Reconstrucción de la Zona Afectada.
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
Eg	Exagramo (10 <sup>18</sup> g)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación
FAOSTAT	<i>The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database.</i>
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HFCs	Hidrofluoruro carburos
ha	Hectárea
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
INE-MX	Instituto Nacional de Ecología, México
INGEMMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú

# ABREVIATURAS

INDECI	Instituto de Defensa Civil, Perú
INRENA	Instituto Nacional de los Recursos Naturales
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
Mg	Megagramo (10 <sup>6</sup> g)
MOS	Materia Orgánica del suelo.
MS	Materia seca
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de sodio
ND	Niveles Digitales
NPP	Producción Primaria Neta.
pH	Potencial de hidrógeno.
PFC	Perfluorocarburo
PFT	Peso fresco total de la muestra
Pg	Petagramo ( 10 <sup>15</sup> g)
ppm	Partes por millón, mg kg <sup>-1</sup>
ppb	Partes por billón, mg Mg <sup>-1</sup>
PPB	Producción Primaria Bruta.
SF6	Hexafluoruro de azufre
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Perú
SIG	Sistema de Información Geográfica
TMR <sub>M</sub>	Tiempo medio de residencia del mantillo
K <sub>M</sub>	Velocidad de descomposición del matillo
TMR <sub>sh</sub>	Tiempo medio de residencia de las sustancias húmicas
Mg ha <sup>-1</sup>	Mega gramo por hectárea (10 <sup>6</sup> g).



# ÍNDICE



# ÍNDICE

.....	<b>INTRODUCCIÓN</b>
1.- CAMBIO CLIMÁTICO.....	3
2.- ALMACENAMIENTO Y FIJACION DEL CARBONO.....	3
2.1.- El Carbono en el ecosistema forestal.....	6
2.2.- Carbono en la vegetación .....	9
2.3.- Carbono en el sistema suelo. ....	9
2.4.- Carbono en hojarasca. . ....	11
2.5.- Carbono en las raíces. ....	12
3.- OPCIONES DE MITIGACIÓN PARA LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO .....	12
3.1.- Plantaciones forestales.....	12
3.2.- Los bosques y selvas como sumideros de carbono. ....	13
4.- EMPLEO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (GIS) Y TELEDETECCCIÓN EN LA EVALUACIÓN BIOFISICA ESTACIONAL DE LA VEGETACION .....	15
4.1.- Determinación del Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) para evaluar condiciones del estrés climático e hídrico en la vegetación forestal .....	16
.....	<b>ANTECEDENTES Y OBJETIVOS</b>
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	18
.....	<b>MATERIALES Y TÉCNICAS</b>
1.- UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN .....	25
1.1.- UBICACIÓN .....	25
1.2.- LOCALIZACIÓN .....	25
2.- CARACTERIZACION AMBIENTAL DE LOS AMBITOS GEOGRAFICOS	

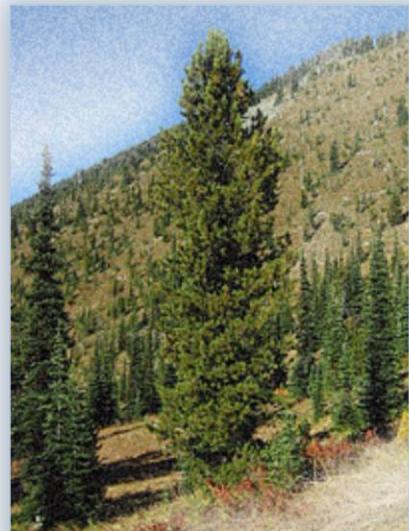
# ÍNDICE

ESTUDIADOS .....	26
2.1.- Geología Regional.....	26
2.1.1.-Geomorfología.....	26
2.2.- Geología estructural.....	27
2.3.- Geología local.....	28
2.3.1 Fisiografía.....	31
2.4.- Suelos.....	33
2.5.- Clima.....	35
a.- Temperatura .....	36
b.- Precipitación pluvial .....	36
c.- Humedad relativa .....	36
d.- Horas de sol .....	37
e.- Nubosidad .....	37
f.- Evaporación .....	37
g.- Vientos .....	37
2.6.- Formaciones ecológicas.....	38
2.7.- Vegetación.....	39
2.8.- Uso de la Tierra.....	40
2.9 Sistemas forestales adoptados.....	41
3.- PRUEBA ESTADISTICA .....	42
3.1.- Componentes en estudio .....	42
3.2.- Tratamientos en estudio .....	42
3.3.- Diseño experimental .....	42
3.3.1.- Modelo estadístico .....	43
4.- ESPECIES FORESTALES UTILIZADAS.....	44
4.1.- Plantaciones forestales exóticas.....	44
4.1.1.- Plantación forestal ubicada en el distrito de Catac .....	44
4.1.2.- Plantación ubicada en el distrito de Huaraz .....	45
4.1.3.- Plantación forestal ubicada en el distrito de Marcará.....	45
5.- DETERMINACION DE LAS CANTIDADES DE CARBONO EN LA BIOMASA AEREA Y SUELO .....	46

5.1.-Diseño del muestreo.....	47
5.1.1.- Descripción de las fuentes medibles.....	50
a.- Biomasa aérea.....	50
b.- Biomasa subterránea. ....	50
c.- Hojarasca y materia vegetal muerta. ....	50
d.- Suelo.....	50
5.2.- Procedimiento.....	51
5.2.1.- Biomasa arbórea viva (BAV).....	51
5.2.2.- Biomasa arbustiva (B_arb) y herbácea (B_herb).....	52
5.2.3.- Biomasa de hojarasca (B_hoj).....	52
5.2.4.- Biomasa de árboles muertos en pie.....	53
5.2.5.- Biomasa de árboles caídos muertos .....	53
5.2.6.- Muestreo de Suelos.....	53
5.2.6.1.- Determinación de la densidad aparente.....	53
5.2.6.2.- Determinación de la textura del suelo.....	54
5.2.6.3.- Determinación del carbono orgánico .....	54
5.2.6.4.- Caracterización de suelos.....	55
5.3.- Detalles de Cálculo.....	55
5.3.1.- Cálculo de la biomasa vegetal parcial a nivel de sub parcelas.....	55
5.3.1.1.- Biomasa arbórea (BA) en kg/árbol.....	55
5.3.1.2.- Biomasa arbórea viva (B_av) en Mg ha <sup>-1</sup> .....	56
5.3.1.3.- Biomasa arbustiva (B_arb) y herbácea (B_herb) en MS ha <sup>-1</sup> .....	56
5.3.1.4.- Biomasa de hojarasca (B_hoj) en Mg MS ha <sup>-1</sup> .....	57
5.3.1.5.- Biomasa subterránea y carbono orgánico total .....	57
5.4.- Cálculo de la biomasa vegetal total (Mg MS ha <sup>-1</sup> ).....	59
5.5.- Cálculo de carbono en la biomasa vegetal total (Mg C ha <sup>-1</sup> ).....	59
5.6.- Cálculo de carbono orgánico en el suelo (Mg C ha <sup>-1</sup> ).....	60

# ÍNDICE

5.7.- Cálculo de carbono orgánico en el Sistema de Uso de la Tierra - SUT (Mg C ha <sup>-1</sup> ).....	60
6.- EMPLEO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (GIS) Y TELEDETECCCIÓN EN LA EVALUACIÓN BIOFISICA DE LA VEGETACION.....	61
6.1.- Determinación del Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) y su relación con la biomasa forestal producida bajo condiciones de estrés climático e hídrico .....	63
6.2.- Procedimiento.....	64
.....	
..... <b>RESULTADOS</b>	
RESULTADOS.....	66
.....	
..... <b>DISCUSION</b>	
DISCUSION.....	103
.....	
..... <b>CONCLUSIONES</b>	
CONCLUSIONES.....	115
.....	
..... <b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
BIBLIOGRAFÍA.....	119
.....	
..... <b>ANEXOS</b>	
ANEXOS.....	139



# INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

## 1.- CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio global del clima del planeta Tierra es un hecho incuestionable. Tyndall y Arrhenius (1896), postularon la relación directa entre la concentración de CO<sub>2</sub> (uno de los gases más importantes que ocasionan el efecto invernadero) y la temperatura global del planeta. Se dice que las grandes emisiones de gases de efecto invernadero (como el C) han ocasionado un incremento de la temperatura entre 0,3 y 0,6 °C del planeta en los últimos 100 años (Carson, 1996). Este calentamiento global ha podido inducir un cambio climático, e influenciar la ocurrencia de eventos climáticos extraordinarios como sequías, inundaciones, y temperaturas extremas en las últimas décadas (Smith, 1996).

En el último informe del Panel de Internacional sobre el Cambio Climático (*IPCC*, 2007) dejó constancia que la concentración atmosférica del gas de efecto invernadero más importante, tras el vapor de agua, el CO<sub>2</sub> pasó de 280 ppm en volumen hasta 379 ppm en volumen en el año 2015, superando las cifras más elevadas de los últimos 650.000 años. La principal causa de este aumento ha sido el uso de combustibles fósiles y, en menor medida, el cambio de uso de la Tierra (Vicari, 2006).

Según Hagedorn *et al.* (2001) el Protocolo de Kioto consideró prioritario y casi imprescindible reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera para evitar un cambio climático que amenaza la conservación de los ecosistemas actuales y la biodiversidad biológica, con consecuencias dramáticas para la vida de nuestro planeta; en este contexto los sistemas forestales juegan un papel fundamental en la consecución de tales objetivos, favoreciendo la reducción de emisiones de gases invernadero a través de la biomasa vegetal y la captura de C por la materia orgánica del suelo (MOS).

## 2.- ALMACENAMIENTO Y FIJACION DEL CARBONO

Desde el año 1800 la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre se ha incrementado desde 280 ppm (en volumen), hasta el valor actual de más de 370 ppm. Este incremento coincide con la industrialización de la sociedad y es la mejor evidencia de que está causado por las emisiones de CO<sub>2</sub> ligadas a las actividades humanas.

## INTRODUCCIÓN

El C del planeta se almacena en cinco grandes compartimentos, esto es, las reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos, y la biomasa vegetal. Los sistemas terrestres acumulan muy diferente cantidad de C orgánico edáfico (COS), dependiendo fundamentalmente de las diferentes condiciones climáticas, que a su vez afectan la actividad de los microorganismos del suelo responsables de la descomposición de los restos vegetales y la MOS, independientemente de la cantidad de biomasa vegetal (García Oliva *et al.*, 2006). Los bosques tropicales ejercen una gran influencia sobre el ciclo global del C. Estos cubren aproximadamente el 10% de la biosfera terrestre y contribuyen con 35% a la producción primaria neta (PPN) y al C almacenado en plantas más suelos (Sabine *et al.*, 2004). La magnitud de su PPN y la capacidad de almacenamiento de C pueden explicarse en términos de tres factores biogeoquímicos: a) el suministro de nutrientes para las plantas; b) los flujos y distribución del C y los nutrientes limitantes entre los diferentes componentes del ecosistema; y c) la alteración en las relaciones estequiométricas en estos componentes (Rastetter *et al.*, 1992; Cebrián, 1999; Torn *et al.*, 1997; Telles *et al.*, 2003).

Los mecanismos principales de intercambio del carbono son la fotosíntesis la respiración y la oxidación (Molina *et al.*, 2002 a). En general, las plantas verdes absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis para transformarlos en elementos de importancia para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. El carbono se incorpora en el follaje, tallos y sistema radicular, y principalmente, en el tejido leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles. Por esta razón los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>).

Al incorporarse el CO<sub>2</sub> atmosférico a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, este gas participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que la planta pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer ésta incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa), así como su altura y el grosor de su tronco. Los componentes de la copa aportan residuos orgánicos al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente a la atmósfera (Ordóñez, 1998).

## INTRODUCCIÓN

Durante el tiempo en que el CO<sub>2</sub> se encuentra constituyendo alguna estructura de la planta o el suelo (hasta que es enviado nuevamente a la atmósfera), se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) se emite como CO<sub>2</sub> para regresar al ciclo de carbono.

Los bosques de trópicos húmedos de la cuenca Amazónica de Sudamérica son actualmente los más extensos. En la Región montañosa de la sierra del Perú no presentan bosques naturales, pues la vegetación nativa arbórea está en proceso de extinción; existen plantaciones forestales y sistemas de cultivos intensivos durante los periodos de lluvias en las zonas altas o irrigadas en los valles interandinos fértiles. En este ecosistema de montaña el carbono no está acumulado en la biomasa, sino en el suelo (Alegre *et al.*, 2002).

Es conocido que el comportamiento del suelo (como COS) puede almacenar más de tres veces el equivalente al C contenido en la vegetación y, además, de la forma más estable (Stevenson, 1986). Este secuestro de C puede afectar el balance de C, así como el ciclo de otros bioelementos como el nitrógeno (Schimel, 1998; Oren *et al.*, 2001) y controlar el contenido CO<sub>2</sub> de la atmósfera (Gallardo y González, 2005).

Los bosques son los mayores ecosistemas terrestres con capacidad para secuestrar C (Marek y Lal, 2001), pero hay diversos factores que influyen sobre el mismo de manera que no todas las especies forestales tienen la misma capacidad de secuestro, influyendo la densidad del arbolado (Jandl, 2001). Existe abundante bibliografía referente al almacenamiento de C en la biomasa forestal (Sampson, 2001; Montagnini y Nair, 2004), pero menos se refieren a los diversos manejos forestales (Unruh *et al.*, 1993; Dixon, 1995; Lal, 2003).

Si bien los componentes leñosos contienen gran parte de la biomasa del bosque no se incluyen en muchos como parte del ciclo de la materia orgánica y nutriente debido a que se considera muy lenta su descomposición (Campos y Sancholuz, 1998).

El carbono orgánico edáfico (COS) es el principal componente del ciclo terrestre del C (Batjes, 1996). Los suelos contienen globalmente más C que la cantidad total

correspondiente a los vegetales y a la atmósfera. En consecuencia, los suelos son la mayor reserva de C y un importante sumidero (Swift, 2001).

El contenido de COS resulta del equilibrio entre las entradas y salidas de C al suelo, condicionadas por el factor descomposición microbiana; a su vez, la mineralización puede estar influenciada por el drenaje, manejo de suelo, vegetación, etc. (Bravo *et al.*, 2007).

Los sistemas terrestres usualmente se fraccionan en cuatro componentes principales: Biomasa aérea, sistemas radiculares, mantillo y COS (Locatelli y Leonard, 2001; Snowden *et al.*, 2001).

## **2.1.- El Carbono en el ecosistema forestal.**

A los ecosistemas forestales se le considera como sumideros de carbono a nivel global (Dixon *et al.*, 1994). Sin embargo, esto aún se considera incierto, ya que la relación entre fijación, almacenamiento y emisión de CO<sub>2</sub> no está del todo explicada en virtud de que son múltiples los factores que la modifican.

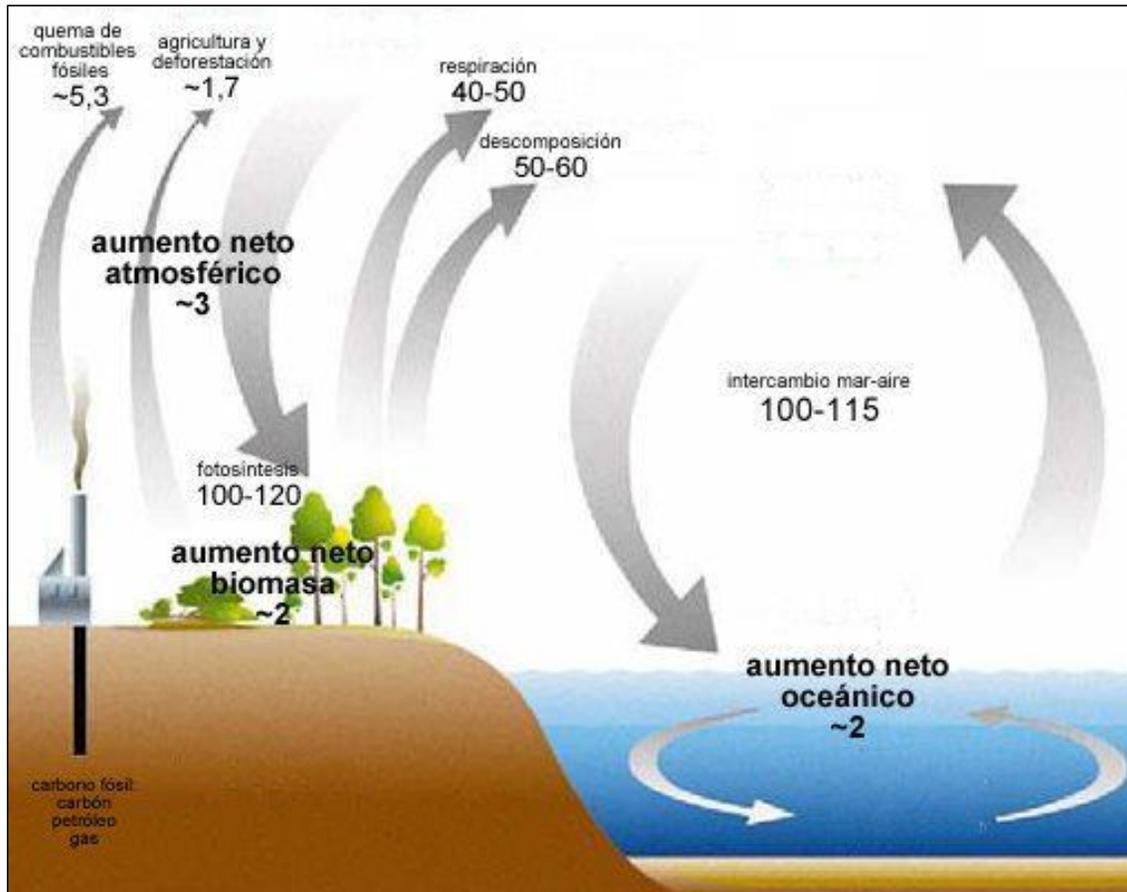
Los componentes primarios de la dinámica del carbono en los bosques son la biomasa, producción y descomposición del mantillo en el piso forestal y la MOS (Yarie y Billings, 2002). Los cambios en la dinámica de estos componentes es una función del clima, especies de plantas y la estructura de las capas de suelo orgánico y mineral (Houghton *et al.*, 2001). La relación entre producción y descomposición se determina si un ecosistema es fuente o sumidero en relación al carbono atmosférico, aunque depende de las condiciones climáticas prevaletientes (Yarie y Billings, 2002). Actualmente existe la creencia de que se requiere un sumidero de carbono de 1.6 Pg año<sup>-1</sup> para que pueda existir un balance neto en el ciclo global de carbono (Houghton *et al.*, 1998).

Durante el proceso de fotosíntesis el CO<sub>2</sub> absorbido por las plantas verdes y se transforma en hidratos de carbono, proceso conocido como producción primaria bruta (PPB). Mediante este proceso los ecosistemas terrestres capturan, globalmente, alrededor de 120 Pg C. (Petagramo de carbono, equivalente a 1,0 Gt C, que a su vez equivale a 3,67 Gt de CO<sub>2</sub>) de carbono por año. La mitad de este volumen se incorpora

# INTRODUCCIÓN

y mantiene en los tejidos vegetales por crecimiento, la otra mitad regresa a la atmósfera por respiración autótrofa, con lo que la cantidad de carbono secuestrado anualmente por la cobertura vegetal del planeta equivale en aproximadamente 60 Pg de C. Como las emisiones antropogénicas globales ascienden en alrededor de 34 Pg CO<sub>2</sub> por año, dejando a un lado la capacidad de captura por parte de los océanos, puede decirse que éstas emisiones están excediendo en un 50% la capacidad anual de captura de la biosfera (INE y SEMARNAT, 2006).

En la Fig. 1 se observa la representación de los intercambios anuales de carbono entre el mar, el aire y la biomasa continental (vegetación y suelos) en Pg C.



**Figura 01:** Intercambios anuales del carbono (expresado en Petagramos) entre el mar, el aire y la biomasa (Fuente: *Oak Ridge National Laboratory, 1995*).

## INTRODUCCIÓN

Se ha calculado que los bosques mundiales contienen más del 80% del carbono presente sobre la superficie terrestre y aproximadamente el 40% de todo el carbono existente en el subsuelo terrestre (suelo, desperdicio, raíces). Esto equivale a casi 1.146 Pg de C.

Aproximadamente el 37% de este carbono se encuentra en las selvas, un 14% en los bosques templados de mediana latitud y un 49% en los bosques templados de alta latitud (Dixon *et al.*, 1994).

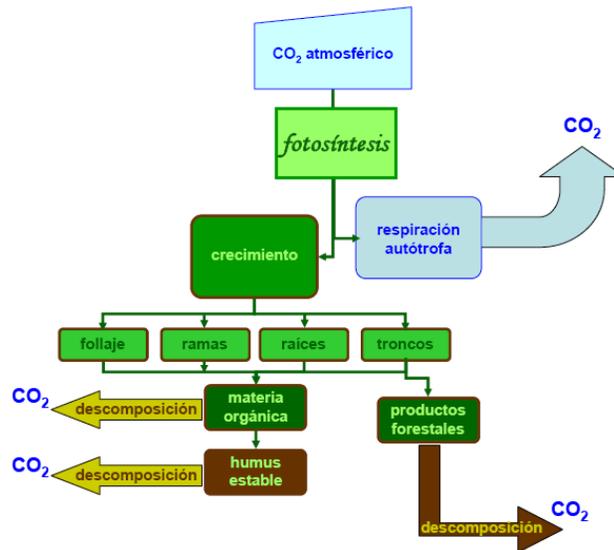
La mayor parte del carbono no está disponible; permanece integrado en las rocas y en el interior del planeta. Pero, como ya se ha indicado, una parte muy importante del CO<sub>2</sub> del planeta se encuentra secuestrado de manera temporal en la vegetación terrestre (Figueroa y Redondo, 2007). La vegetación también libera oxígeno, se estima que 1,0 km<sup>2</sup> de bosque genera 1000 Mg de oxígeno al año. El carbono se almacena en las hojas, ramas, tronco, rizomas y raíces (Figueroa y Redondo, 2007).

Las formaciones arbóreas son buenas secuestradoras, en general, entre 20 y 200 años. Un bosque de 200 años tiene mucho carbono histórico secuestrado, aunque su incorporación tras esa larga vida sea inferior a la que mostraba con menos años. El óptimo secuestro de carbono depende de la cantidad de árboles existentes por hectárea, su composición en especies y de la edad de los individuos, además de los factores ambientales de la zona en concreto (Figueroa y Redondo, 2007). Los bosques pueden secuestrar entre 3,5 y 35 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, en los primeros 100 años de su vida (Figueroa y Redondo, 2007).

Por lo general los ecosistemas forestales protegidos constituyen reservorios netos de carbono, porque conservan en los tejidos vegetales y en los suelos grandes cantidades de este elemento (Fig. 2), pero una vez perturbados y degradados se transforman en fuentes de emisión. Por consiguiente, su contribución a la mitigación o al incremento del cambio climático depende del uso y del cambio de uso del suelo. Por otra parte, estos ecosistemas así como las plantaciones endoenergéticas proporcionan fuentes de energía renovable como leña o carbón vegetal con lo que contribuyen a sustituir el uso

# INTRODUCCIÓN

de combustibles fósiles y, con ello, a reducir las emisiones involucradas (INE y SEMARNAT, 2006).



**Figura 02.** Esquema del flujo de carbono en un ecosistema forestal (Ordóñez Masera, 2000).

## 2.2.- Carbono en la vegetación.

El contenido de carbono en la biomasa seca es de aproximadamente 50 %. Sin embargo la densidad o gravedad específica (peso seco del volumen de material establecido) varía entre las especies y las condiciones de los lugares (Valenzuela, 2001).

Cuando los bosques son desmontados para convertirlos para la agricultura o la ganadería, gran parte de este carbono es liberado a la atmósfera, también se agregan la combustión de madera y carbón vegetal como fuentes de energía (Bautista, 2002, citado por Díaz, 2006).

## 2.3.-Carbono en el sistema suelo.

El carbono orgánico en el suelo (COS) ocupa un lugar importante en el ciclo de nutrientes. La Producción Primaria Neta (NPP, por sus siglas en inglés) es la principal

## INTRODUCCIÓN

fuentes de carbono orgánico que reflejan y controlan el desarrollo del suelo, por tanto, la productividad del sistema (Powers y Van Cleve, 1995, citado por Barranco, 2002).

Se estima que el COS a nivel mundial es de aproximadamente 1,500 Pg (1 Pg=1 x 10<sup>15</sup> g) a -1,0 m de profundidad, de 2,000 Pg a -2,0 m y 2,340 Pg a -3,0 m, o sea es tres veces más que el carbono atmosférico (estimado en 760 Pg) y 3.7 veces más que el C biótico que se estima en 760 Pg (Lal, 2002).

El COS es un indicador de la calidad de los suelos minerales y sirve para detectar los cambios de C en el tiempo (Janzen, 2003, citado por Promis, 2009). Los cambios del COS son difíciles de cuantificar en pequeñas y grandes escalas (esto es, en parcelas, regiones o el mundo) debido a factores variables en el tiempo y en el espacio (Post *et al.*, 2001).

Cerca de un tercio del contenido total de C se presenta en los suelos orgánicos (turbas), principalmente en las regiones frías (Klemedtsson *et al.*, 1999, citado por Gómez, 2008). Una parte importante de la biomasa muerta se incorpora a la MOS, donde es gradualmente metabolizada por los microorganismos, de tal modo que los suelos son también importantes sumideros de carbono (INE-SEMARNAT, 2006).

Las entradas de carbono orgánico al suelo provenientes de la producción primaria neta se clasifican en dos principales clases: El detritus o mantillo y el sistema radical, especialmente las raíces finas. Estas entradas son contrarrestadas por la mineralización de la MOS en CO<sub>2</sub>. La emisión de este último es la vía principal por la cual pierde carbono; sin embargo, hay otros flujos de C que también entran y salen del suelo (erosión, precipitación, escorrentías y lixiviación) pero en menor grado y su influencia en el total de la reserva de carbono en el suelo es relativamente bajo (Raich y Nadelhoffer, 1989, citado por Barranco, 2002).

Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos; contienen cerca del 40 % del total de carbono, de gran importancia cuando se considera el manejo de los bosques (Robert, 2002, citado por Díaz, 2006).

Los suelos de México tienen en promedio 1,8 % de Carbono Orgánico edáfico (COS) (3,1 % de MOS), lo que representa un contenido total de 10,5 Pg de C (Segura *et al.*, 2005). El COS es difícil y costoso de medir, no obstante representa un importante depósito o fuente de carbono, en particular si la conservación del suelo es el objetivo principal (Valenzuela, 2001). El hecho de almacenar C en los suelos, además de ayudar a reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera, puede proporcionar beneficios ambientales adicionales como el incremento en la productividad de los sitios, aumentar la infiltración del agua y mantener la diversidad de la flora y fauna del suelo (Lal *et al.*, 1999).

## **2.4.- Carbono en hojarasca.**

La capa de hojarasca y los microorganismos tienen una función importante en la mantención de la productividad de un ecosistema; la cantidad y composición de los residuos depositada sobre el suelo y su posterior descomposición son factores importantes en la eficiencia del ciclo de nutrientes (Bray y Gorman, 1964, citado por Hubert *et al.*, 1986), el suelo recibe la entrada directa de carbono proveniente de las partes muertas de los árboles y plantas, las cuales se encuentran en un intercambio activo con la atmósfera y al integrarse totalmente al suelo fijan y acumulan el carbono (Emanuel *et al.*, 1984, citado por Barranco 2002).

El contenido carbono en la capa de humus terrestre ha sido estimado recientemente en 100 a 300 Eg C; es decir, de una a cuatro veces más la cantidad presente en la biota. La acumulación del carbono en la biota es más abundante en los trópicos; sin embargo, la acumulación del humus es mayor en los bosques templados, ya que las bajas temperaturas que predominan en este tipo de ecosistemas evitan una descomposición rápida de los componentes del suelo.

El balance entre entradas y salidas de carbono en estos dos grandes reservorios pueden determinar el movimiento del carbono orgánico en la atmósfera (Woodwell *et al.*, 1978, citado por Barranco, 2002).

## **2.5.- Carbono en las raíces.**

Las raíces son parte importante en el ciclo del carbono a causa de que estas transfieren grandes cantidades de carbono al suelo, donde queda almacenado por largos periodos de tiempo, siempre y cuando no ocurra una alteración del mismo. Parte del carbono es usado para incrementar la biomasa; sin embargo, este carbono es perdido a través de la respiración, exudación y descomposición. Algunas raíces pueden extenderse a grandes profundidades, pero es considerable la proporción de biomasa en la raíz que se encuentra dentro de los primeros -30 cm de profundidad (Barranco, 2002).

## **3.- OPCIONES DE MITIGACIÓN PARA LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO**

### **3.1.- Plantaciones forestales.**

En comparación con muchos bosques naturales, en particular los tropicales, la plantación forestal es simple y uniforme en cuanto a su estructura, la composición de especies y en su capacidad para aprovechar la energía solar y el reciclaje del agua y de los nutrimentos. Bajo estas condiciones, el hombre puede controlar la genética, el crecimiento, la fertilidad, las relaciones hídricas y, en general, el desarrollo de los árboles (Cabrera, 2003), ya que su manejo inicia desde el mismo momento en que se establece la plantación.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2002) las plantaciones forestales se definen como aquellas formaciones forestales sembradas en el contexto de un proceso de forestación o reforestación. Estas pueden ser especies introducidas o nativas que cumplen con los requisitos de una superficie mínima de 0,5 ha; cobertura de copa de al menos el 10% del suelo bajo ella, y una altura total de los árboles adultos arriba de 5 m (aunque las plantaciones para árboles de navidad no cumplen ese último criterio, ya que sus fines son de ornato para una temporada particular y no son maderables).

El establecimiento de plantaciones forestales genera beneficios como recuperación de áreas deforestadas al uso forestal, creación de hábitat para la fauna, reducción de la presión sobre bosques y selvas naturales, captura de carbono atmosférico que

contribuye a la reducción del efecto invernadero, protección al suelo contra la erosión, infiltración del agua de lluvia en el suelo, reducción del escurrimiento superficial, ingresos económicos, generación de empleos, y a largo plazo, sustitución de importaciones (Benavidez, 2007). En síntesis, el término plantación hace referencia a dos aspectos; a) la acción de plantar o sembrar; b) la existencia de un ecosistema establecido a través de la siembra de árboles (Cabrera, 2003).

### **3.2.- Los bosques y selvas como sumideros de carbono.**

La superficie forestal estimada en la Tierra es de  $4,1 \times 10^9$  hectáreas, donde las áreas naturales protegidas abarcan el 2,35% aproximadamente; el 37% del carbono se encuentra en latitudes bajas ( $0^\circ$  a  $25^\circ$  lat.), 14% en las medias ( $25^\circ$  a  $50^\circ$  lat.) y 49% en las altas ( $50^\circ$  a  $75^\circ$  lat). Dos terceras partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentran contenidos en el suelo.

Actualmente la deforestación y la degradación forestal son factores importantes para el cambio climático global, puesto que producen emisiones netas de dióxido de carbono. Además, generan grandes problemas locales y regionales, como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos, entre otros. Sin embargo, se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de dióxido de carbono a la atmósfera (IPCC, 1995).

Tanto los bosques como las selvas representan importantes reservorios de carbono, así que no todo el  $\text{CO}_2$  que se emite por la acción del hombre se acumula en la atmósfera; de hecho, más de la mitad es retirado de ella absorbido por los océanos, la vegetación y los suelos: son los denominados “sumideros” de carbono (Zamboni, *et al.* 2004).

Los ecosistemas forestales pueden absorber cantidades significativas de  $\text{CO}_2$ , principal gas de efecto invernadero (GEI). Como producto de este hecho, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la

## INTRODUCCIÓN

vegetación terrestre mediante la conservación forestal, la reforestación, la agroforestería, y otros métodos de manejo del suelo; un gran número de estudios han demostrado el gran potencial que poseen los bosques y los ecosistemas agrícolas para almacenar carbono (Dixon *et al.*, 1994; Dixon *et al.*, 1996, Masera *et al.* 1995, y De Jong *et al.*, 1995 citado por Aguilar, 2004).

Perú podría lograr que los ecosistemas forestales pasaran de ser una fuente neta a un reservorio neto de carbono y así contribuir en la meta primordial de reducir significativamente las emisiones futuras de gases de efecto invernadero.

Dentro del sector forestal la adecuada conservación y manejo de los bosques naturales, las alternativas para disminuir la deforestación, la reforestación de las tierras degradadas y deforestadas, así como también el fomento de los sistemas agroforestales son acciones que, al cumplir prioridades de conservación forestal, ayudan a mitigar las emisiones de GEI (Aguilar, 2004).

Las zonas forestales tienen una relevancia especial como sumideros de carbono, pues ocupan grandes extensiones en todo el planeta y son capaces de acumular grandes cantidades de carbono procedente de la atmósfera, tanto en el suelo como en la vegetación. Finalmente, es importante señalar que en las zonas forestales es clave la lucha contra la deforestación y los incendios; eventos catastróficos para los ecosistemas, dado que emiten y liberan la mayor parte del carbono secuestrado en la biomasa aérea (e incluso en el suelo), además de óxidos de nitrógeno (Figueroa y Redondo, 2007).

Cuando se implementa un proyecto de mitigación de carbono o de otro tipo de gases de efecto invernadero es necesario hacer una evaluación de la cantidad de carbono que se agrega en cada uno de los reservorios y se deben comparar estos datos con una línea de base o caso de referencia; es decir, con el carbono almacenado en el sistema si el proyecto no es implementado.

La captura neta de carbono por unidad de área varía dependiendo del tipo de proyecto a realizar: por ejemplo, para los proyectos de reforestación estudios iniciales han estimado que el promedio de captura de carbono es de 120 Mg C ha<sup>-1</sup> y para los

proyectos de manejo de bosques el promedio es de 88 Mg C ha<sup>-1</sup> (Brown *et al.* 1997). Estos promedios variarán dependiendo del diseño del proyecto, las condiciones del lugar, las condiciones de implementación y la tendencia de uso de suelo sin proyecto. En los proyectos que están diseñados sólo para evitar la deforestación, los valores de reducción de emisiones van de entre 28 a 80 Mg C ha<sup>-1</sup> para los bosques boreales, de entre 30 y 140 Mg ha<sup>-1</sup> para los bosques templados y entre 100 y 175 Mg C ha<sup>-1</sup>a para los bosques tropicales (Brown *et al.*, 1997).

#### **4.- EMPLEO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (GIS) Y TELEDETECCCIÓN EN LA EVALUACIÓN BIOFISICA ESTACIONAL DE LA VEGETACION.**

El incremento en la demanda de producción de alimentos y la actividad forestal de carácter extractivo-selectivo (INRENA, 1995) producen alteración y pérdida de especies de complicada regeneración natural en los bosques.

La teledetección constituye una poderosa herramienta al considerar los procesos productivos y ambientales; ofrece una visión temporal y espacial de la cobertura y desarrollo de la vegetación (Hobbs 1989; Running 1989). Asimismo, su aplicación permite evaluar y realizar el seguimiento del estado de las cubiertas vegetales y su correlación con variables climáticas, por lo que el ritmo de producción de biomasa verde para cada ecosistema dependerá de las condiciones ambientales principalmente del régimen climático (Monasterio y Sarmiento 1976; Sarmiento 1990). Bajo esta perspectiva la teledetección ha creado una gran expectativa en la caracterización biofísica de la vegetación; por ello, los trabajos en esta área muestran relaciones empíricas entre la información captada por los sensores (radiancia) y diversas variables biofísicas [biomasa, índice de área foliar (IAF), cobertura, etc.]. De otro lado, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), representan una contribución al desarrollo armónico y sostenible de los bosques forestales a beneficio de quienes lo trabajan y toman decisiones.

### **4.1.- Determinación del Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) y su relación con la cantidad producida de biomasa forestal bajo condiciones de estrés climático é hídrico.**

Uno de los índices espectrales más usados para evaluar las respuestas ecológicas frente a cambios ambientales (Paruelo, 2008) es el “Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada” (NDVI, por sus siglas en inglés). El NDVI tiene un gran valor en términos ecológicos, ya que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (fPAR) (controla principalmente las ganancias de carbono (Monteith, 1981; Paruelo *et al.* 1997; Tucker *et al.* 1985). La productividad primaria, una variable integradora del funcionamiento del ecosistema (Hielkema *et al.*, 1986; Nicholson, Davenport y Malo ,1990; Virginia, R.A y Wall, D.H. 2001;). Para realizar un estudio de vegetación es necesario el conocimiento amplio de los principales factores en la reflectancia final absorbida por un sensor; en primer lugar, la reflectancia o el espectro de luz reflejada a partir de las hojas está en función de su estado fenológico, forma y contenido de humedad; segundo, características morfológicas de la planta, asociadas a la altura, perfil y grado de cobertura del suelo; y finalmente, a factores derivados de la ubicación de geográfica de las plantas: Pendiente, orientación, asociación con otras especies y geometría de la plantación. La reflectancia se ve reducida en la porción visible del espectro electro magnético debido al efecto absorbente de la pigmentación de la hoja (clorofila, xantofilas y carotenos); a pesar de todo presenta un máximo en la porción verde; en estado senescente la clorofila en las plantas ejerce una menor influencia, lo que explica una mayor reflectancia en la región rojo del espectro electromagnético, así como también el color amarillo. En contraste con el espectro visible el infrarojo cercano presenta una elevada reflectancia, debido a la estructura celular interna de la hoja; la capa esponjosa del mesófilo con sus cavidades de aire internas difunde y disipa la mayor parte de radiación incidente (Chuvieco, 1991). Destacan la importancia en la dependencia entre el NDVI y la climatología en las áreas en evaluación debido a que

## INTRODUCCIÓN

encontraron correlaciones apreciables entre el NDVI y las precipitaciones en zonas cálidas.

La elección de uno u otro método de clasificación digital dependerán de los datos y medios disponibles y de las propias preferencias personales (Marx y Hildebrandt, 1978; Townshend and Justice, 1981).



## **ANTECEDENTES Y OBJETIVOS**

## ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

En el mundo globalizado en que vivimos las fronteras van desvaneciéndose, la industrialización va en aumento y las tecnologías mejoran velozmente cada año; en ese contexto, los temas ambientales van tomando más fuerza e importancia, sobre todo porque los cambios climáticos son notorios y evidentes en todo el mundo, pero lo son en mayor magnitud en países desarrollados.

Se han realizado diversas convenciones por las Naciones Unidas respecto a este tema, siendo la más resaltante la de 1992, pues en aquella ocasión se plantearon diversos mecanismos de desarrollo limpio y definieron muchos puntos sobre lo que significa un sumidero de gases invernadero, especialmente la forma de cómo debería funcionar globalmente el planeta con el pasar de los años. Desde entonces, diversos conceptos han ido surgiendo y mejorando, así como diversas literaturas han ido naciendo.

En un artículo de Boukhari (1999:01) se considera que durante los últimos 150 años la deforestación y el cambio de uso de las tierras contribuyeron hasta un 30% al aumento de la concentración de gases con efecto de invernadero en la atmósfera; esta información fue recogida de *World Resources Institute* (WRI). En la actualidad, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), las emisiones de CO<sub>2</sub> imputables a esas mismas causas, en especial bajo los trópicos, representan cerca de 20% de las emisiones mundiales de gas carbónico, debidas a la intervención humana. Los desbroces para liberar tierras cultivables o pastizales gravitan fuertemente en ese balance. En los años noventa, por ejemplo, Brasil emitía 27 veces más CO<sub>2</sub> debido a la deforestación que a causa de la combustión de energías fósiles, según la ONG *Biomass Users Network*, aclara que los bosques podrían cumplir un papel decisivo en la lucha contra el efecto de invernadero; por supuesto es una solución controvertida que ha de manejarla con cautela.

Los bosques ayudan a reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera; la teoría dice que a través de la fotosíntesis; los árboles en crecimiento despiden oxígeno y consumen agua, luz y CO<sub>2</sub>. Por ello, los bosques en expansión son calificados como sumideros de carbono: absorben gas carbónico. Cuando dejan de crecer; los árboles ya no son sumideros, sino receptáculos o compartimentos

de carbono; almacenan enormes cantidades de este elemento en su biomasa y en los suelos, pero cumplen un papel neutro en el balance final de CO<sub>2</sub>. Por último, cuando se queman los bosques emiten CO<sub>2</sub> y se convierten así en fuentes de carbono. El CO<sub>2</sub> que se desprende cuando los árboles viejos se descomponen se compensa con lo que absorben los árboles jóvenes que crecen en su lugar. Pero en la realidad, el ciclo global del carbono y el lugar que en él corresponde a los bosques todavía no se conocen bien; así como la forma en que se comportarán los bosques cuando el clima se torne más cálido (o más frío); , no se conocen bien las repercusiones de un aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en la fotosíntesis, el crecimiento de los árboles y las existencias de carbono en los bosques. Por eso hoy en día se vienen realizando estudios que permitan resolver estas incógnitas.

Los sumideros de carbono son mecanismos de desarrollo limpio que capturan o secuestran el CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Las Naciones Unidas le da una definición más exacta, pero la esencia es capturar la mayor cantidad de gas de efecto invernadero, entre ellos el CO<sub>2</sub>; muchos científicos alegan que la mayoría de los depósitos de carbono en la vegetación (62% aproximadamente) están localizados en bosques tropicales de baja latitud, mientras que la mayoría del carbono del suelo (54% aproximadamente) está localizado en los bosques templados de alta latitud. Estudios recientes, sugieren que existe potencial para gestionar los bosques con el fin de conservar y captar el carbono para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> en una cuantía equivalente de 11% a 15%, de las emisiones de combustibles fósiles durante el mismo período de tiempo (11 a 15 años). La adopción decidida que se decida sobre las diversas opciones de gestión forestal es vital para conseguir potenciar la función de los bosques como sumideros de carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. La contribución efectiva que suponen las actividades de forestación y reforestación definidas en el marco del Protocolo de Kyoto para el cumplimiento de los compromisos de países industrializados en relación con la mitigación del Cambio Climático conlleva la necesidad de profundizar en las estrategias forestales en torno a los sumideros de carbono, con una participación global del sector en colaboración con la administración que permita definir líneas concretas de actuación y financiación

viables y rentables para la economía de los países participantes en dichas estrategias forestales.

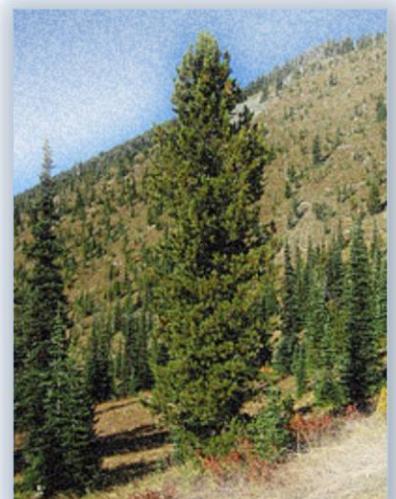
### **OBJETIVOS**

El objetivo principal es determinar la capacidad de los bosques de *Eucalytus globulus* y *Pinus radiata* en el secuestro de carbono en términos de contenido total de carbono acumulado y su repercusión en el ecosistema forestal.

En ese contexto, se plantean los objetivos específicos siguientes:

- 1° Identificar y describir las características generales de los tipos de cobertura vegetal arbustiva y herbácea existentes en cada una de las parcelas forestales en evaluación.
- 2° Determinar las existencias de biomasa vegetal aérea y subterránea de las parcelas forestales en evaluación.
- 3° Determinar las existencias de carbono total en el suelo a profundidades de 00 a -25 cm y de -25 a -50 cm.
- 4° Estimar la capacidad de captura de carbono actual en términos de Mg C ha<sup>-1</sup> a una profundidad de -50 cm del suelo.
- 5° Determinar y relacionar el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) con la biomasa forestal producida bajo condiciones de estrés climático e hídrico.

Esta Memoria recoge información completa del material, instrumentación y metodología empleados; así mismo, los resultados obtenidos y su correspondiente discusión.



# MATERIALES Y TÉCNICAS



# MATERIALES Y TECNICAS

## 1.- UBICACIÓN Y LOCALIZACION DE LOS AMBITOS GEOGRAFICOS ESTUDIADOS

### 1.1.- Ubicación

Los ámbitos geográficos que comprenden las tres zonas de estudio se ubican en las siguientes jurisdicciones político administrativo de la República del Perú:

País : Perú

Departamento : Ancash

Provincias : Recuay, Huaraz y, Carhuaz

Distritos : Catac, Huaraz y, Marcará

Sectores : “Cementerio” y “Catacpata” (zona de estudio 1); “El Pinar” (zona de estudio 2) y; “Tuyu” (zona de estudio 3).

### 2.2.- Localización

La localización geográfica de las tres zonas de estudio se encuentran configuradas dentro del sistema de coordenadas geográficas y proyección UTM 18s WGS 82, cuyas coordenadas detallamos a continuación:

Ambito: Catac

Entre los paralelos: 230.000 y 240.000 Longitud Este y, 8’910.000 y 8’920.000 Latitud Sur.

Ambito: Huaraz

Entre los paralelos: 220.000 y 230.000 Longitud Este y, 8’940.000 y 8’950.000 Latitud Sur.

Ambito: Marcará

Entre los paralelos: 210.000 y 220.000 Longitud Este y, 8’960.000 y 8’970.000 Latitud Sur.

Para mayores detalles del ámbito de estudio a escala gráfica, observe el mapa de ubicación (Anexo A-4, U-1).

## **2.- CARACTERIZACION AMBIENTAL DE LOS AMBITOS GEOGRAFICOS ESTUDIADOS**

### **2.1.- Geología Regional**

La Geología del ámbito territorial del distrito de Cátaç, Huaraz y Marcará (Carhuaz) señala que las rocas más antiguas están representadas por sedimentos de la edad del Cretáceo inferior, conformados particularmente por el Grupo Goyllarisquisga (Formaciones Chimú, Santa y Carhuaz) hasta llegar a depósitos inconsolidados, de edad reciente (Halocena). Las rocas ígneas intrusivas están representadas por el emplazamiento del “Batolito de la Cordillera Blanca” y las rocas ígneas extrusivas representadas por el emplazamiento de las rocas volcánicas, denominadas comúnmente “Cordillera Negra” de la edad del Paleógeno. (INGEMMET, 1996).

#### **2.1.1.- Geomorfología**

Los ámbitos territoriales de la localidad de Catac y Huaraz se encuentran localizados en la cuenca superior del río Santa, unidad morfoestructural regional denominada “Cordillera Occidental”; comprende las subunidades denominadas Flanco Occidental de la Cordillera Blanca, Flanco Oriental de la Cordillera Negra y Valle del río Santa; mientras que el ámbito territorial de la localidad de Marcará corresponde a la unidad geomorfológica “Etapa Valle”; esta última comprende al río Santa y sus tributarios, red hídrica que corta ampliamente superficies de puna, aunque los principales valles pueden haberse profundizado parcialmente por factores tectónicos, pero mayormente son producto de la erosión hídrica. (INGEMMET, 1989).

### 2.2.- Geología Estructural

En los ámbitos de interés Catac y Huaraz se han definido estructuras geológicas tipo fallamientos, antiguos y modernos; en el ámbito de Marcará (Carhuaz) se ha identificado la existencia de una “falla activa” emplazada en la vertiente oriental de la Cordillera Blanca.

En el área de interés de la localidad de Cátac bosque de eucaliptos, han identificado una distribución espacial de material de cobertura tipo “Depósitos Morrénicos”, que corresponden a materiales de la última glaciación (Pleistocénica) existente en el pasado geológico reciente, donde se ha producido una intensa actividad erosiva sobre las rocas de basamento (sedimentos volcánicos e intrusivos) generando una morfología muy abrupta (para el caso de las rocas intrusivas del batolito de la Cordillera Blanca), formando importantes cañones de erosión, así como una erosión intensa de rocas sedimentarias que por su menor resistencia y la mayor acción de agua del deshielo han sido fácilmente desintegradas y luego depositadas. El material morrénico está constituido por arcilla arenosa de baja plasticidad, gravas, gravillas y clastos mayores, cuya litología es generalmente granito, volcánicos (en menor proporción), cuarcitas, pizarras y lutitas, cuya fácil desintegración ha permitido construir la matriz del conjunto en forma de arcillas y limos; así mismo se observan “Depósitos Glaciofluviales” (INGEMMET, 1996), las mismas que corresponden a destrucción de morrenas por acción fluvial; estos depósitos glaciofluviales ocupan planicies y pequeñas quebradas. Las planicies están constituidas por los mismos elementos que las morrenas (fragmentos volcánicos en matriz arcillosa); también se encuentran en quebradas tributarias al río Santa; discontinuamente ocurren a manera de terrazas antiguas aisladas, en este caso su composición es variada (pudiendo existir fragmentos de rocas volcánicas, calizas, areniscas, rocas intrusivas, algunas veces pizarras y cuarcitas.

En el ámbito de estudio de Huaraz (bosque de pino) se ha identificado una distribución espacial de material de cobertura tipo “Depósitos Morrénicos”. En el área de interés (bosque de eucalipto), en la localidad de Marcará (Carhuaz) se

han identificado una distribución espacial de material de cobertura tipo “Depósitos Glaciofluviales” (INGEMMET, 1996)

### 2.3.- Geología Local

La evolución geomorfológica en el área de interés (localidad de Catac), ha sido ocasionada mayormente por la erosión del río Santa sobre rocas volcánicas, como también en rocas sedimentarias con fluctuaciones en su desplazamiento lateral, probablemente como consecuencia de la dinámica glaciaria en su retroceso en dirección Este; el mecanismo evolutivo del río Santa ha permitido un contacto muy definido entre afloramientos de rocas volcánicas en su margen izquierdo, e importantes depósitos de material glacio-fluviales en su margen derecho con una marcada diferenciación en sus perfiles transversales en su margen izquierda (Cordillera Negra); el talud sobre la roca tiene pendientes entre 25 y 50%, y en su margen derecha los taludes tienen pendientes menores a 15%. En consideración a lo precisado anteriormente puede asegurarse que el margen izquierdo del río Santa es más estable desde el punto de vista geológico, por su contacto lateral de sus terrazas aluviales con rocas volcánicas o la poca profundidad en la que éstas se encuentran; mientras que en el margen derecho (ubicación del área de interés) es menos estable en términos geológicos; en consecuencia, los mayores peligros geológicos se presentan en el margen derecho del río Santa.

El ámbito de interés de Huaraz ha sufrido numerosos eventos aluviónicos como consecuencia de la intensa desglaciación, originándose importantes procesos de erosión del basamento rocoso y la formación de una cubeta (límites claramente definidos al Sur, Este y Oeste de la ciudad), que recibió materiales arrastrados ya sea de manera violenta por eventos aluviónicos, como lenta por arrastre de sedimentos finos por el río Santa y tributarios; la interpretación del mapa litológico permitió deducir que el basamento de la ciudad de Huaraz, desde Tacllan hasta Vichay, es de roca volcánica, correspondiendo a derrames lávicos,

tobas, andesitas, rioliras, de resistencia media; de Vichay a Monterrey el basamento podría corresponder a rocas sedimentarias (INDECI, 2004). La interpretación del relieve donde se ubica la ciudad de Huaraz se sustenta en la hipótesis sobre su evolución morfológica bajo la premisa que fue la intensa actividad glacial en el pasado (y que continua en el presente) la que ha jugado un papel determinante en el modelamiento original del basamento rocoso y en el relieve superficial constituido por material de relleno; en Huaraz se han producido varios eventos de aluviones como consecuencia de la intensa desglaciación en dirección Este, originándose importantes procesos de erosión del basamento rocoso, formación de una cubeta que recibió materiales de arrastre en forma violenta “aluviones” y lenta “arrastre de sedimentos finos por el río San y afluentes”; hacia las direcciones sureste y Oeste están claramente definidos los límites de cubeta; no así, en dirección Norte, debido a una mayor erosión por la tendencia de los cursos de agua y eventos aluviónicos. El basamento rocoso interpretado a través de las cursas isoprofundidades, estima que la mayor profundidad del basamento (hasta los 100 m) y se ubica a lo largo de la Av. Pedro Villón y el cauce del río Santa; por el lado Norte, a través de la interpretación geomorfológica, se dedujo que la profundidad está más de -100 m; la interpretación del mapa litológico permite deducir que el basamento de la ciudad de Huaraz es roca volcánica, desde Taclán hasta Vichay, correspondiendo a derrames lávicos, tobas, andesitas, rioliras, de resistencia media; desde Vichay hasta un poco más allá de Monterrey podría corresponder a rocas sedimentarias, constituida por alternancias de calizas, areniscas, cuarcitas y lutitas. No se conoce de perforaciones profundas que se hayan realizado para conocer los tipos de material de cobertura, deduciéndose en base a estudios realizados en el año 1996 por INGEMMET, que son complejos, conformados por horizontes limo-arenosos, arenosos, aluvionales, fluvio-glaciares y morrenas; estudios realizados en la reconstrucción de Huaraz luego del sismo del año 1970, excavaron una calicata de -11 metros de profundidad en inmediaciones de la Plaza de Armas, mostrándose amplios horizontes limo/arcilloso/arenoso con dos horizontes

aluvionales, los que se podría relacionarse con igual número de aluviones que han pasado por el río Quilcay (INDECI, 2004 b).

En el ámbito de Carhuaz el río Santa ha erosionado progresivamente rocas sedimentarias y volcánicas con fluctuaciones en su desplazamiento lateral, probablemente a consecuencia del retroceso glaciar en dirección Este; siendo esto último el mecanismo evolutivo del río Santa (causante), por la que actualmente se evidencie un contacto definido entre afloramiento de rocas en su margen izquierda, e importantes depósitos de material glacio-fluvial en su margen derecha, con marcada diferenciación en su perfil transversal, observándose pendientes entre 25° y 50° en su margen izquierdo (Cordillera Negra) y pendientes no mayores a los 15° en el margen derecho (Cordillera Blanca); existe un continuo proceso de erosión del río Santa en su fondo y laterales, lo que ha dado lugar a la formación y sucesión de “terrazas aluviales”, superficie donde se encuentra asentado la ciudad de Carhuaz y la localidad de Marcará; en términos de roca de basamento en la zona no se observan afloramiento rocosos en las terrazas aluviales, pero sí muy cercanos a su perímetro, continuando hacia la Cordillera Negra como Cordillera Blanca, hasta entrar en contacto con el batolito intrusivo; el material de cobertura en las terrazas aluviales está conformado de material suelto con cierta compacidad por su antigüedad, constituidos por gravas bastante rebajadas de litología muy dura y resistente, con matriz mayormente de arenas y cobertura arcillo-limosa; en términos de su morfología se observa una amplia terraza que llega hasta el cruce con el río Santa, con talud de suave pendiente, mostrando estabilidad; entre la terraza superior y el cauce del río Santa, hay una diferencia de altura de 15 metros en promedio; en el lado Este la terraza aluvial se encuentra cubierta por material morrénico proveniente de la acción dinámica de los glaciares en su retroceso, constituidos por materiales de variada granulometría, que van desde subangulosos a subredondeados, con matriz limo-arcillosa que por su antigüedad han adquirido cierta compacidad, presentando resistencia media al golpe del martillo (INDECI, 2004c).

## 2.3.1.- Fisiografía

Según ONERN (1973) la configuración topofisiográfica en V del Callejón de Huaylas ha dado lugar al escaso desarrollo de suelos aluviales, que se encuentran localizados en pequeñas terrazas generadas por el río Santa y tributarios (de tramos cortos) provenientes de la Cordillera Blanca y Negra. En el Callejón de Huaylas (ámbito donde se encuentran localizados nuestras unidades experimentales) se pueden diferenciar tres tipos de paisajes típicos: 1) Fluvial; 2) Fluvio-Glacial; y 3) Montañoso.

Las características fisiográficas de los ámbitos estudiados son el resultado de la interacción de factores tectónicos, litológicos y climáticos los cuales han dado lugar a procesos erosivos y deposicionales. El modelado de la superficie y la litología han permitido la diferenciación de las características fisiográficas en los espacios territoriales estudiados. Los sitios de estudio (Catac, Huaraz, Marcará) son distritos (ámbitos político administrativos) definidos por la administración pública, corresponden a las provincias de Recuay, Huaraz y Carhuaz, estos últimos forman parte del departamento de Ancash-Perú (ver mapa de ubicación, Anexo A-4, U-1).

A continuación se exponen en los Cuadros 001, 002 y 003, las principales características de los tres sitios de estudio:

### CUADRO 001: ZONA DE ESTUDIO 1, CATAc - RECUAY

Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Elementos del Paisaje
Planicie	Planicie Aluvial	Terraza Media	Plana
		Terraza Alta	Plana
Colinado	Colina Denudacional	Colina Baja	Ligeramente Disectada (*)
		Colina Alta	Moderadamente Disectada
Montañoso	Montaña Glaciar	Ladera	Pendiente 50 – 75%
		Cima	-

(\*): Superficies que corresponden a los bosques forestales evaluados.

## MATERIALES Y TECNICAS

**CUADRO 002: ZONA DE ESTUDIO 2, HUARAZ - HUARAZ**

Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Elementos del Paisaje
Planicie	Planicie Aluvial	Cono Aluviónico	
Colinoso	Colina Denudacional	Colina Alta	Moderadamente Disectada ( <i>Cordillera Negra</i> ) Fuertemente Disectada (*) ( <i>Cordillera Blanca</i> )
		Lomada	-
Montañoso	Montaña Glaciar	Ladera	Pendiente 50 – 75%
		Cima	-

(\*): Superficies que corresponden a los bosques forestales evaluados.

**CUADRO 003: ZONA DE ESTUDIO 3, MARCACA - CARHUAZ**

Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Elementos del Paisaje
Planicie	Planicie Coluvio - Aluvial	Piedemonte	-
Colinado	Colina Denudacional	Colina Alta	Moderadamente Disectada ( <i>Cordillera Negra</i> ) Fuertemente Disectada (*) ( <i>Cordillera Blanca</i> )
		Lomada	-
Montañoso	Montaña Glaciar	Ladera	Pendiente 50 – 75%
		Cima	-

(\*): Superficies que corresponden a los bosques forestales evaluados.

### 2.4.- Suelos

Las unidades experimentales de plantaciones forestales estudiados, según ONERN, 1973, se encuentran localizados sobre paisajes Fluvio-Glaciales, que a continuación se detallan:

A) Ambito Catac .- En relación a las características físico morfológicas estos suelos se encuentran entre cotas altitudinales de 3.500 a 3.600 m s.n.m.; están formados a partir de materiales gruesos de origen fluvio glacial y material aluviónico en menor proporción; fisiográficamente ocupan terrazas medias a altas del flanco occidental norte de la Cordillera Blanca; el relieve topográfico varía de ligeramente a inclinado, con pendientes entre 2 y 15%; presenta susceptibilidad a la erosión pluvial; el drenaje natural es algo excesivo como consecuencia de las características de los suelos; morfológicamente son suelos de naturaleza esquelética, presentan un horizonte A pardo grisáceo, de textura franco areno gravosa, que yace sobre un horizonte AC transicional pardo oliváceo, franco areno-gravoso, suelto, que descansa sobre un horizonte C, estrato altamente gravo-pedregoso en una porción mayor al 70%; químicamente son suelos de reacción fuertemente ácida (pH= 5,1 a 5,5) y dotados de MOS; el fósforo se encuentra en cantidades medias y el potasio en cantidades muy altas; estos suelos se encuentran agrupados dentro Orden *INCEPTISOL*, Sub Orden *UMBREPT*, según el sistema de la *Soil Taxonomy*; en el sistema FAO (1970) pertenecen al grupo de los *CAMBISOLES DISTRICOS*; en términos de aptitud agronómica estos suelos sin uso se encuentran cubierto por gramíneas del genero *Stipa* y *Festuca*; en condiciones de uso se cultivan papa, cebada y avena forrajera con rendimientos muy bajos; la capacidad productiva de estos suelos es baja, vinculada directamente con las condiciones climáticas y características físicas inapropiadas; su mejor uso sería la actividad pecuaria extensiva a base de pastos naturales mejorados.

B) Ambito Huaraz.- En términos de sus características físico morfológicas estos suelos se encuentran entre cotas de 2.300 a 3.200 m s.n.m.; suelos formados esencialmente sobre materiales de origen fluvio-glacial aunque también existen

aportes netamente aluviónicos; el material originario está formado predominantemente a base de la desintegración de rocas graníticas; fisiográficamente, estos suelos se encuentran ubicados en colinas bajas y área de pie de monte, así como también ocupando cierta proporción en los abanicos aluviales; el relieve topográfico varía entre ligeramente inclinado a moderadamente empinado, con pendientes entre 2 y 25%; el drenaje puede clasificarse como excesivo, debido a la presencia de material grueso en la masa del suelo, las gravas o materiales gruesos en la superficie alcanzan proporciones mayores 30%; presentan perfiles de morfología estratificada, caracterizados por presentar un perfil AC, donde el horizonte superficial modificado (o Ap) de 20 cm de espesor promedio presenta una textura franco-areno-gravosa, muy friable y de estructura granular, que descansa sobre el horizonte C sin estructura, friable a suelto, caracterizado por su elevada proporción de gravas y piedras a partir de los -70 cm de profundidad. En relación a sus características químicas son suelos de naturaleza medianamente ácida a ligeramente ácida (pH 5,5 a 6,5) y contenido de MOS variando de bajo a medio; los contenidos de fósforo asimilable son medianos, a diferencia del contenido de potasio que es elevado. Estos suelos se clasifican al sistema de la *Soil Taxonomy*; dentro del Orden *ENTISOL*, Suborden *FLUVHENT* y Gran Grupo *USTIFLUVHENT*; dentro de la clasificación FAO (1970) se agrupan dentro de los *FLUVISOLES EUTRICOS*; en términos de su aptitud agronómica estos suelos son muy intensamente cultivados con plantaciones de maíz, papa y granos chicos (cebada y trigo principalmente); la capacidad productiva se sostiene a base de fertilizantes minerales portadores de nitrógeno y fósforo.

C) Ambito Carhuaz (Marcará).- En relación a sus características físico morfológicas, estos suelos se ubican entre cotas altitudinales de 3.000 y 3.400 m s.n.m.; y se han desarrollado a partir de materiales de origen fluvio-glaciario, constituidos por elementos gruesos de naturaleza granítica principalmente; estas superficies ocupan laderas y colinas de moderada a fuertemente disectada, todas distribuidas en el flanco occidental de la "Cordillera Blanca"; presenta un

## MATERIALES Y TECNICAS

relieve topográfico muy accidentado, con declives dominantes entre 25 y 50%; su drenaje es moderado, variando a imperfecto debido a las infiltraciones provenientes de los deshielos de la “Cordillera Blanca”. Morfológicamente, presentan un perfil poco desarrollado AC el horizonte superficial Ap presenta matices pardos a pardos oscuros, textura franco-areno-gravoso, de estructura granular, friable y descansa sobre un horizonte AC pardo oscuro, franco grisáceo oscuro, abundante grava y piedra mayor al 50%; es característico que presenten piedras semi-enterradas y enterradas de diámetros superiores a los 50 cm; la pedregosidad superficial aumenta notablemente a medida que la pendiente se torna más pronunciada; químicamente son suelos de reacción fuertemente ácida a ligeramente ácida (pH 5,2 a 6,0), y bajo contenido de MOS; el contenido de fósforo es bajo, en tanto las de potasio se muestran altos en todo el perfil de diagnóstico. Estos suelos, según el sistema de la *Soil Taxonomy* corresponden al Orden *ENTISOL*; Suborden *ORTHENT* y al Gran Grupo *USTORTHENT*; la aptitud agronómica de estos suelos (a pesar de sus condiciones topofisiográficas desfavorables), es baja por el uso intensivo, orientado a la producción de cultivos temporales, principalmente el maíz, trigo, cebada, cebada y papa; los rendimientos en base a prácticas tradicionales, son bajos, y por lo tanto, configuran un esquema de subsistencia; en consideración a las condiciones topográficas dominantes deberían estar orientados a prácticas de conservación; sólo aquellos suelos de topografía cuya condición sea moderadamente empinada (pendiente 15 a 25%) puede practicarse una agricultura intensiva, teniendo en cuenta, que necesariamente se lleven acciones conservación de suelos en paralelo (ONERN, 1973).

### 2.5.- Clima

Los ámbitos evaluados (Catac, Huaraz y Marcará) se encuentran localizados entre la vertiente oriental y accidental de la cordillera de los Andes; presentan un clima variado, pudiendo establecer áreas ó sectores con tipos climáticos muy definidos y característicos (SENAMHI, 2012).

### a. Temperatura

En los ámbitos de Huaraz y Catac localizados entre los pisos altitudinales 2. 000 a 3. 500 m s.n.m presentan un clima de montaña tropical con temperaturas medias anuales entre los 11 y 16 °C; y máximas absolutas que pueden estar por encima de los 20 °C. Los descensos abruptos de temperatura hasta -5 °C y suelen presentarse durante la época seca (junio, julio y agosto) produciendo las denominadas heladas. El ámbito de Catac localizado sobre los 3. 500 m s.n.m corresponde a punas ó mesetas altas de montaña; presenta un clima frio de alta montaña tropical en concordancia con la clasificación climática de Troll y Paffen (1964), con temperaturas medias anuales entre 7 y 10 °C y las máximas absolutas sobre los 20 °C.

### b. Precipitación Pluvial

La precipitación pluvial es variable en el ámbito de los sectores estudiados y está estrechamente ligada a la altitud; la precipitación media anual registrada en la estación pluviométrica de Yungay es de 295,60 mm a<sup>-1</sup>, pasando por Huaraz con 794,40 mm a<sup>-1</sup> y terminando en Ticapampa con 740,30 mm a<sup>-1</sup>. Las lluvias son de carácter estacional, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente entre diciembre y marzo; en la superficie altitudinal comprendida entre los 2.900 y 3.800 m s.n.m, las lluvias son mucho más intensas y se producen con mayor frecuencia, propiciando un periodo húmedo en invierno y otro seco en el verano, mientras que en el piso inferior comprendido entre los 2.200 y 2.900 m s.n.m, las lluvias son menos intensas y más escasas.

La precipitación pluvial anual en los ámbitos evaluados corresponden los meses de diciembre a marzo con periodos de altas precipitaciones pluviales; son escasas las precipitaciones pluviales de los meses de junio, julio y agosto

### c. Humedad Relativa

La humedad atmosférica promedio anual en los ámbitos estudiados es del 56 %, coincidiendo los máximos valores con los meses de diciembre a marzo; mientras

que los valores mínimos se registran durante los meses de junio, julio y agosto, correspondiendo a una distribución anual en el orden del 75% para el invierno y 60% para el verano.

### **d. Horas Sol**

Este parámetro climático en los ámbitos de estudiados tiene un valor promedio total anual de insolación de 2.700 h registradas en las estaciones meteorológicas ubicadas en la Ciudad de Huaraz; la marcha anual de la insolación presentan dos épocas bien definidas, mayor durante el invierno (alcanzando un promedio total mensual de 258 h sol: 9 h diarias) y menor en el verano (con un valor promedio total anual de 194 h sol: 6 h diarias).

### **e. Nubosidad**

Se tiene un promedio anual de 5/8 con régimen de distribución similar a la región andina, los días más nublados ocurren durante los meses de invierno (Diciembre a Marzo) y los días más despejados durante los verano (Mayo a Setiembre); el promedio mensual es mayor durante el invierno en el que se aproxima a los 7/8, siendo menor en verano cuando llega a los 3/8; teniendo una oscilación promedio anual en el orden de los 4/8.

### **f. Evaporación**

Establecieron que para el ámbito estudiado el promedio es de 1.400 mm a<sup>-1</sup>; mientras que para el caso específico de la zona de Huaraz y espacios aledaños la evaporación está en el orden de los 1.362 mm a<sup>-1</sup>.

### **g. Vientos**

Generalmente los vientos son suaves y se producen eventualmente durante el verano; pueden existir eventos de corrientes fuertes, pero que no representan riesgos en la actividad agrícola; la velocidad promedio de estos vientos están en el orden de los 16 km h<sup>-1</sup>, en concordancia con la clasificación ó escalada de Beaufort (se considera como brisa débil a moderada); la dirección predominante

de los vientos es del Sur, aunque también ocurren de noreste a sureste, pero con menor frecuencia.

### 2.6.- Formaciones Ecológicas

El ámbito geográfico estudiado comprende de tres formaciones ecológicas definidas:

- a) Formación Espinosa, Montano Bajo.- Se caracteriza por presentar un clima semiárido y templado, propio del extremo Norte del Callejón de Huaylas, situado altitudinalmente entre los 2.300 a 2.900 m s.n.m. Las lluvias no son suficientes para satisfacer las demandas de agua de los cultivos agrícolas, desarrollándose predominantemente una agricultura bajo riego; las condiciones térmicas son mayormente favorables por la fijación de un amplio espectro de cultivos agrícolas, intensivos, extensivos y permanentes; eventualmente pueden presentarse eventos de heladas sin llegar a ocasionar problemas de consideración.
- b) Formación Bosque Húmedo, Montano Bajo.- Formación ecológica extendida entre cotas altitudinales de 2.900 y 3.800 m s.n.m.; se caracteriza por presentar un clima húmedo y frío, con precipitaciones pluviales más intensas que la formación precedente, con promedio anual del orden de 700 mm a<sup>-1</sup>; las lluvias son estacionales, concentrándose la mayor cantidad entre diciembre y marzo, permitiendo una práctica agrícola mixta de secano favorecido y riego complementario; los eventos de heladas no son frecuentes, pero sí son de consideración las fuertes oscilaciones térmicas entre el día y la noche que pueden resultar seriamente perjudiciales en la actividad agrícola si no se toman medidas preventivas y de contingencia necesarias.
- c) Formación Páramo Muy Húmedo, Sub Alpino.- Formación que se extiende entre cotas altitudinales de 3.800 y 4.800 m s.n.m. hasta los picos de las montañas de la Cordillera Blanca; formación que se caracteriza por su clima

frígido y húmedo, de aptitud natural para propósitos pecuario, principalmente lanar (ONERN, 1973).

### 2.7.- Vegetación

Desde hace varios milenios, las tierras del Callejón de Huaylas (en la que están comprendidos los escenarios estudiados) han sido sometidas a usos intensivos agrícolas y ganaderos; las prácticas primitivas de la actividad agropecuaria y el crecimiento poblacional acelerado han sido las causas principales de la destrucción del material vegetal original; actualmente de aquella vegetación original sólo quedan algunos vestigios, predominando un tipo de vegetación secundaria, muchas de ellas exóticas. La cobertura vegetal de naturaleza arbustiva y subarbustiva está representada por varias especies de familias diversas, entre ellas Huarango (*Acacia tortuosa*), Retama (*Spartium junceum*), Aliso (*Alnus jurulensis*), Carrizo (*Arundo donax*), Fresno (*Fraxinus pensilvanica*), Nogal (*Juglans neotropica*), Tara (*Caesalpinea tinctoria*), Molle (*Schinus molle*), Capulí (*Prunus capulí*), sauce (*Salix humboltiana*) y otras especies suculentas de la familia Cactácea; en este contexto merece poner atención a plantaciones de eucalipto y pinos en los futuros proyecto de forestación, teniendo en consideración su sostenibilidad ambiental más allá de ser especies maderables de mucha demanda en la zona. La cobertura vegetal herbáceas, preferentemente localizadas en superficies agrícolas, están constituidas en gran parte por gramíneas, compuestas, crucíferas y malezas que ocasionan perjuicios mayores a la agricultura; por ejemplo, el kicuyo (*Pennisetum clandestinum*) que, favorecido por su gran poder de propagación (rizomas y semillas) han invadido amplias extensiones, que han sido abandonadas dado que resulta laborioso y costoso su control y erradicación; entre las especies herbáceas más comunes se tienen el Cardo (*Cercium arvense*), la Manzanilla hedionda (*Matricaria chamomilla*), la Rabaniza (*Raphahnus raphanistrum*), La Mostacilla (*Cinapis arvensis*), el Amor Seco (*Bidens pilosa*), la Ortiga menor (*Urtica urens*), el

Chamico (*Datura stramonium*), el Capulí cimarrón (*Nicandra phisalloides*) y el tomatillo (*Lycopersicon pimpinellifolium*) (ONERN, 1973).

### 2.8.- Uso de la Tierra

Las tierras que comprenden los ámbitos geográficos estudiados forman parte del “Callejón de Huaylas”, las cuales han sido explotadas agrícolamente, inclusive desde épocas PreIncas; la actividad del hombre se ha centrado fundamentalmente en la agricultura y ganadería. El uso de la tierra se inició en lugares cercanos a las fuentes de agua; sin embargo, el crecimiento poblacional acelerado ha generado la necesidad de incrementar tierras a la agricultura, ello ha ocasionado el desplazamiento de la población hacia tierras de topografía accidentadas a fin de usufructuarlas; existen sistemas generales imperativos en el uso de la tierra, presentando dos escenarios diferentes, el primero (propio de la Cordillera Blanca) se basa en el desarrollo de una agricultura bajo riego y secano favorecido; en este caso, las tierras son regadas continuamente durante todo el año; no así a las de condición secano que se cultivan exclusivamente durante la estación de lluvias que van de octubre a marzo; el sistema secano favorecido implica una discontinuidad en uso de la tierra y consecuentemente un periodo de paralización de las actividades agrícolas; en el riego permanente es posible obtener hasta dos cosechas anuales, teniendo en consideración que el recurso hídrico (proveniente del flanco occidental de la “Cordillera Blanca”) es por ahora suficiente. El segundo escenario comprende la “Cordillera Negra”; se caracteriza por una agricultura exclusivamente de secano favorecido, escenario en la que se aprovecha las épocas lluviosas y los cursos de agua existentes que, de por sí, son muy escasos. El nivel de tecnología empleado en el uso y manejo de tierras es bajo; la preparación de tierras se realiza con el clásico sistema de arado, mediante el empleo de la tracción animal (bueyes o mulas); las labores culturales se realizan a mano mediante el empleo de lampas, machetes o zapas. Se evidencian procesos erosivos de suelos por el mal manejo del agua y las prácticas de fertilización son muy escasas e incipientes, etc; la distribución de los

cultivos obedece los siguientes patrones climáticos En las tierras situadas por debajo de los 2.900 m s.n.m, los cultivos más comunes son: el maíz, zapallo, lechuga, col, alfalfa, trigo, cebada y tubérculos (papa principalmente); también existen condiciones favorables para plantaciones de frutales (cítricos, lúcuma, níspero, duraznero, paca, manzano, chirimoya, capulí, entre otras); los cultivos de papa, seguidos de tuberosas menores como la oca, el olluco y leguminosas comestibles (como la arveja y granos chicos (centeno), se cultivan entre los 2.900 a 3.600 m s.n.m.; sobre esta última cota altitudinal prevalecen los pastos naturales y se desarrolla la ganadería especialmente de tipo lanar (ovinos); la forestación representa una necesidad capital a fin de apostar por la conservación de nuestros recursos naturales, en especial, suelos y agua (ONERN, 1973).

### **2.9.- Sistemas forestales adoptados**

Un sistema forestal es un conjunto de interrelaciones biótico-sociocultural que se expresan en una particular combinación de métodos y prácticas relacionadas entre sí, con el objeto de obtener productos forestales de muy diverso tipo conforme a los usos que define cada especie forestal y a los fines para los cuales se promueven los desarrollos forestales. Este conjunto de interrelaciones tiene una ubicación espacial y territorial definida, características ecológicas, socio-culturales, históricas, tecnológicas y económicas propias, construyendo un complejo genérico–genésico, al mismo tiempo particularizan las actividades forestales específicas que refleja sus orígenes, evolución y tendencias, expresados en paisajes forestales a los que da lugar (Briceño, 2001).

### 3.- PRUEBA ESTADISTICA

Con la finalidad de darle consistencia estadística y demostrar que los pisos altitudinales en los sistemas forestales estudiados influyen directamente en la captura de carbono, se presenta el siguiente planteamiento.

#### 3.1.- Componentes en estudio

A: Pisos Altitudinales (m.s.n.m)

$a_1 = 3.650$  m s.n.m.

$a_2 = 3.640$  m s.n.m.

$a_3 = 3.300$  m s.n.m.

$a_4 = 2.820$  m s.n.m.

B: Especie forestal

$b_1 = Eucalytus globulus$  y  $Pinus radiatus$

#### 3.2.- Tratamientos (bosques) en estudio

**Cuadro 004: Descripción de los “tratamientos (bosques)” en estudio**

ORDEN	CLAVE	PISO ALTITUDINAL (m s.n.m.)	ESPECIE FORESTAL
1	$a_1 b_1$	3.650	<i>E. globulus</i>
2	$a_2 b_1$	3.640	<i>P. radiata</i>
3	$a_3 b_1$	3.300	<i>P. radiata</i>
4	$a_4 b_1$	2.820	<i>E. globulus</i>

#### 3.3.- Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue el Diseño Completamente al Azar (DCA), con 4 tratamientos y cada tratamiento con 8 repeticiones.

Las características evaluadas en cada uno de los tratamientos se sometieron al análisis de varianza y la prueba de significación de T-Student ( $P < 0,05$ ).

### 3.3.1.- Modelo estadístico

Se emplea un modelo aditivo lineal, usado para el componente en estudio y su interacción en la respuesta cantidad de biomasa vegetal y COS.

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

- $Y_{ij}$  : Es la observación realizada a la j ésima unidad del tratamiento i.  
 $\mu$  : Efecto de la media general  
 $T_i$  : Efecto del i ésimo tratamiento  
 $E_{ij}$  : Efecto aleatorio ó error asociada a la observación i, j.

**Cuadro 005: Configuración del Análisis de Variancia (ANVA)**

F.V	GL
TRATAMIENTO (BOSQUES)	(t-1) 3
ERROR	t(r-1) 28
TOTAL	(tr-1) 31

### 3.4.- Características del campo experimental

Transectos ó parcelas	4
Dimensionamiento de parcela	25 m ancho * long. variable
Número de sub parcelas por parcela	2
Dimensionamiento de subparcelas	4 m ancho * 25 largo
Número de cuadrantes por subparcela	1
Dimensionamiento de cuadrantes	1 m <sup>2</sup>
Número de sub cuadrantes por subparcela	0.25 m <sup>2</sup>

## 4.- ESPECIES FORESTALES UTILIZADAS.

### 4.1.- Plantaciones Forestales Exóticas

En la realización de este trabajo de investigación se han empleado especies forestales de *E. globulus* y *P. radiata*; ambas especies forestales se encuentran formando bosques macizos ubicados en la zona sierra del departamento de Ancash, entre los 2.850 y 3.650 m s.n.m.

A continuación se detalla la ubicación, propiedad de los predios y las principales características físicas de las parcelas forestales evaluadas:

#### 4.1.1.- Plantación forestal ubicada en el distrito de Catac

La plantación forestal de *Eucalyptus globulus* se encuentra ubicada en el sector “Cementerio” de la Comunidad Campesina Catac, distrito de Catac, provincia de Recuay, departamento de Ancash; propiedad de la Comunidad Campesina antes mencionada se instaló durante la campaña forestal 1963-1964 a cargo del Servicio Forestal y Caza del Ministerio de Agricultura con el financiamiento del Banco de Fomento Agropecuario, bajo la modalidad de “inversión – trabajo + crédito”, con la finalidad de adquirir plantones forestales a precio de promoción; el crédito cubría la instalación del vivero, producción, mantenimiento y distribución de plantones forestales; el Banco Agropecuario en su condición de fidecomiso de la línea de financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) para programas de reforestación aprobaba el otorgamiento del préstamo a un beneficiario en particular. Las plantaciones forestales evaluadas de *E. globulus* y *P. radiatus* tienen una extensión de 30,39 hectáreas y 1,82 ha respectivamente; la plantación de *E. globulus*, de 15 años de edad, se localiza en pie de ladera, de origen fluvio-glacial y posee una pendiente moderadamente empinada; en tanto, la plantación de *P. radiatus* se localiza en una colina intermedia, de origen fluvio-glacial y tiene una pendiente ondulada (IICA-PROCIANDINO). En el año 1982, en el sector “Illacancha” propiedad de la Comunidad Campesina de Catac, se instaló 150.000 plantones de *E. globulus* y 50.000 plantones de *P. radiatus*; es política de

la Comunidad Campesina de Catac, en el sector forestal, incrementar los bosques forestales a través de la instalación entre 50.000 a 100.000 plántones de *E. globulus* y *P. radiatus* en un horizonte temporal de dos años.

### **4.1.2.- Plantación ubicada en el distrito de Huaraz**

La plantación forestal de *P. radiata* ubicada al noreste de la ciudad de Huaraz, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, departamento de Ancash; fue instalada en el año 1981, con una extensión de 16,45 hectárea, mediante el Programa de Reforestación del Ministerio de Agricultura; en ese entonces era de propiedad comunitaria perteneciente a la Comunidad Campesina Cuatro Estrellas de Huanchac; en el año de 1997 la parcela forestal evaluada y vendida por la Comunidad Campesina antes mencionada al Sr. Justo Bulnes García, actualmente es un bien patrimonial privada de propiedad de la Empresa Hotelera “El Tumi”.

### **4.1.3.- Plantación forestal ubicada en el distrito de Marcará**

La plantación forestal de *E. globulus* ubicada en el sector “Tuyu Bajo” de la Comunidad Campesina Siete Imperios, distrito de Marcará, provincia de Carhuaz, departamento de Ancash, propiedad de la Comunidad Campesina antes mencionada; se instaló durante la campaña forestal 1968-1969 a cargo del Servicio Forestal y Caza del Ministerio de Agricultura, con el financiamiento del Banco de Fomento Agropecuario bajo la modalidad de “inversión – trabajo + crédito” con la finalidad de adquirir plántones forestales a precio de promoción; el crédito cubría la instalación del vivero, producción, mantenimiento y distribución de plántones forestales; el Banco Agropecuario en su condición de fidecomiso de la línea de financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia para el Desarrollo Internacional (BID) para programas de reforestación aprobaba el otorgamiento del préstamo a un beneficiario en particular; la Comunidad Campesina Siete Imperios cuenta actualmente con un bosque de eucalipto de 230 ha en diferentes sectores.

La plantación forestal evaluada tiene una extensión de 2,08 ha; está localizada en pie de ladera, es de origen coluvial y posee una pendiente entre moderadamente a empinada (IICA-PROCIANDINO, 1996). En el año 1980, dado la homogeneidad de la plantación forestal, fue propuesto por el Banco Nacional de Semillas Forestales del Ministerio de Agricultura como rodal semillero, destinado a la provisión de semillas para los programas de reforestación a nivel nacional, cuya condición finalizó por motivos presupuestales en el año 1984. A partir de este último a la fecha el bosque forestal viene siendo aprovechado por los comuneros sin contar ningún tipo de asistencia técnica.

### **5.- DETERMINACION DE LAS CANTIDADES DE CARBONO EN LA BIOMASA AEREA Y SUELO.**

En el presente apartado se describe el método que ha sido empleado en la determinación de las reservas totales de carbono en los bosques de *E. globulus* y *P. radiatus* localizados dentro los terrenos de propiedad de la “Comunidad Campesina de Catac”, distrito del mismo nombre (provincia de Recuay, departamento de Ancash); bosque de *P. radiatus*, terreno de propiedad privada, ubicado en el sector “El Pinar” en la localidad de Huaraz (distrito y provincia de Huaraz, departamento de Ancash) y, por último, el bosque de *E. globulus*, ubicado en Marcará, en terrenos de propiedad de la “Comunidad Campesina Siete Imperios”. La evaluación metodológica para ambas especies forestales se definió sobre la base de un proceso de observación y evaluación comparativa en términos de acumulación de carbono en la biomasa en sus diversas manifestaciones: a) árboles vivos, b) árboles caídos y en pie, c) vegetación arbustiva, d) vegetación herbácea, e) hojarasca y, e) materia vegetal en descomposición; así mismo el carbono orgánico acumulado en el suelo (Arévalo *et al.*, 2003).

### 5.1.- Diseño del muestreo

Los bosques de *E. globulus* y *P. radiatus*, ubicados en la Comunidad Campesina de Catac, ocupan por separado dos áreas experimentales; la primera, ubicado en el sector "Cementerio", al sureste de la localidad de Catac, corresponde a una superficie total de 30,39 has y un perímetro total de 2.266,84 m, alberga en su seno plantaciones de *E. globulus*, dispuestas en 25 transectos ó parcelas, con dimensiones de 25 m de ancho por longitud variable, dependiendo de la ubicación del transecto, este último conformado por subparcelas con dimensiones de 25 m de ancho por 4 m de ancho (Anexo A-4, DUM-1). La segunda, ubicada en el sector "Catacpata", al noreste de la localidad de Catac, corresponde a una superficie total de 1,82 has y un perímetro total de 576 m, alberga plantaciones de *P. radiatus*, dispuestas en 08 transectos ó parcelas, con dimensiones de 25 m de ancho por longitud variable, dependiendo de la ubicación del transecto, este último conformado por subparcelas con dimensiones de 25 m de ancho por 4 m de ancho (Anexo A-4, DUM-2); la orientación en el trazado de los transectos en las unidades experimentales se definió en base al criterio de la pendiente más pronunciada, el área experimental con *E. globulus* se encuentra clasificado en polígonos con rangos de pendiente 1 – 3%, 4–5%, 6–7%, 10–11%, 14–16% y 20–27%; mientras, en la plantación de *P. radiatus* se encuentra clasificado en polígonos con rangos de pendiente entre 7–8% (Anexo A-4, DCA 1). El área experimental "El Pinar", ubicado al noreste de la periferia de la ciudad de Huaraz, comprende una superficie total de 16,45 has y un perímetro total de 2.155,36 m, alberga plantaciones de *P. radiatus*, dispuestas en 25 transectos, con dimensiones de 25 m de ancho por longitud variable, dependiendo de la ubicación del transecto, este último conformado por sub parcelas con dimensiones de 25 m de ancho por 4 m de ancho (Anexo A-4, DUM-3); la orientación en el trazado de los transectos en las unidades experimentales se definió en base al criterio de la pendiente más pronunciada, el área experimental con *E. globulus* se encuentra clasificado en polígonos con rangos de pendientes: 2–4%, 4–7%, 7–10%, 10–12%, 11–20%, 18–28% y 20–30% (Anexo

## MATERIALES Y TECNICAS

A-4, DCA 2). En tanto, las plantaciones de *E. globulus*, ubicado en el sector "Tuyu Bajo", al este de la localidad de Marcará - Carhuaz, en terrenos de la Comunidad Campesina "Siete Imperios", comprende de una superficie total de 2,08 ha y un perímetro de total de 717,04 m, dispuestas en 07 transectos, con dimensiones de 25 m de ancho por una longitud variable, dependiendo de la ubicación del transecto, este último conformado por subparcelas con dimensiones de 25 m de ancho por 4 m de ancho (Anexo A-4, DUM-4); la orientación en el trazado de los transectos en la unidad experimental se definió de manera similar a las anteriores y clasificado en polígonos con rangos de pendientes: 6–8% y 19–21% (Anexo A-4, DCA 3).

La unidad experimental ubicado en el sector "Cementerio" de la Comunidad Campesina de Catac - Catac, con una superficie de 30,39 ha, plantaciones de *E. globulus* y 25 unidades de transectos, se seleccionaron sólo 04 unidades de transectos en concordancia con el parámetro estadístico, intensidad de muestreo, del modelo aleatorio simple (Anexo A-4, DUM-1); en consecuencia, las unidades de registro (transectos ó parcelas) seleccionadas aleatoriamente fueron 04, distribuidos en los transectos 06, 09, 17 y 19, que corresponden una superficie total 5,35 ha; las superficies de muestreo propiamente dichas comprenden las subparcelas, con dos repeticiones por parcela, con dimensiones estándares de 25 m de largo por 4 m de ancho, cuya suma total hace la superficie representativa del bosque, que en términos estadísticos equivale a una intensidad de muestreo del 0,26% respecto al marco muestral.

La unidad experimental ubicado en el sector "Catacpata" de la Comunidad Campesina de Catac - Catac, con una superficie de 1,82 ha, plantaciones de *P. radiatus* y 08 unidades de transectos se seleccionaron sólo 04 unidades de transectos, en concordancia con el parámetro estadístico, intensidad de muestreo, del modelo aleatorio simple (Anexo A-4, DUM-2); en consecuencia, las unidades de registro (transectos ó parcelas) seleccionadas aleatoriamente fueron 04, distribuidos en los transectos 02, 04, 07 y 08, que corresponden a una superficie total 0,87 ha las superficies de muestreo propiamente dichas

## MATERIALES Y TECNICAS

comprenden las subparcelas, en dos repeticiones por parcela, con dimensiones estándares de 25 m de largo por 4 m de ancho, cuya suma total hace la superficie representativa del bosque, estadísticamente hablando, equivalente a una intensidad de muestreo del 4,40% respecto al marco muestral.

La unidad experimental “El Pinar”, ubicado al noreste de la ciudad de Huaraz, con una superficie de 16,45 ha, plantaciones de *E. globulus* y 18 unidades de transectos, se seleccionaron sólo 04 unidades de transectos, en concordancia con el parámetro estadístico, intensidad de muestreo, del modelo aleatorio simple (Anexo A-4, DUM-3); en consecuencia, las unidades de registro (transectos ó parcelas) seleccionadas aleatoriamente fueron 04, distribuidos en los transectos 03, 04, 10 y 12, que corresponden a una superficie total 5,23 ha; las superficies de muestreo propiamente dichas comprenden las subparcelas, en dos repeticiones por parcela, con dimensiones estándares de 25 m de largo por 4 m de ancho, cuya suma total hace la superficie representativa del bosque, estadísticamente hablando, equivalente a una intensidad de muestreo del 0,49% respecto al marco muestral.

La unidad experimental ubicado al este de la localidad de Marcará – Carhuaz, en el sector “Tuyu” de la Comunidad Campesina “Siete Imperios”, con una superficie de 2,08 ha, plantaciones de *E. globulus* y, 07 unidades de transectos, se seleccionaron sólo 04 unidades de transectos, en concordancia con el parámetro estadístico, intensidad de muestreo, del modelo aleatorio simple (Anexo A-4, DUM-4); en consecuencia, las unidades de registro (transectos ó parcelas) seleccionadas aleatoriamente fueron 04, distribuidos en los transectos 01, 02, 04 y 07, que corresponden una superficie total 1,07 ha; las superficies de muestreo propiamente dichas comprenden las subparcelas, en dos repeticiones por parcela, con dimensiones estándares de 25 m de largo por 4 m de ancho, cuya suma total hace la superficie representativa del bosque, que en términos estadísticos equivale a una intensidad de muestreo del 3,84% respecto al marco muestral.

En las parcelas y subparcelas muestrales seleccionadas, particularmente en éste último, se realizaron medidas y registros de las especies forestales evaluadas en términos del DAP (Diámetro a la Altura del Pecho); así también, se colectaron especies arbustivas y herbáceas en superficies de 1 m<sup>2</sup> y hojarasca (mantillo) en superficies de 0,25 m<sup>2</sup> con la finalidad de cuantificar contenidos de carbono en la biomasa. La toma de muestras de suelo se hizo a dos profundidades diferentes: 0,00 a -0,25 m y -0,25 a -0,50 m; se realizó esta labor con el objeto de cuantificar el contenido de COS.

### 5.1.1 Descripción de las fuentes medibles

#### a.- Biomasa aérea

Conformada por la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea en un área en definida del bosque.

#### b.- Biomasa subterránea.

Conformada por el conjunto de raíces propias de una comunidad vegetal y/o ecosistema forestal.

#### c.- Hojarasca y materia vegetal muerta.

Definida como la vegetación que se encuentra en contacto directo con el suelo y, cuyo estado de descomposición es permanente.

#### d.- Suelo

El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable, encontrándose desde trazas en suelos desérticos y en suelos turbosos entre 90–95%. El horizonte A de los suelos con potencial agrícola, por lo general, presentan valores entre 0,1 y 10% de MOS, cuyo contenido decrece con la profundidad del perfil del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Jenny *et al.* (1949) indicaron que los contenidos de MOS y nitrógeno en los suelos son determinados, en primera instancia, por el clima y la vegetación, pero que también interactúan otros factores locales como el relieve, el material parental, el tipo y duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas.

Los suelos constituyen los fijadores más importantes de carbono orgánico en el largo plazo; particularmente en este caso se planteó evaluar con el propósito de determinar, en términos cuantitativos los contenidos de COS en los primeros - 0,50 m de profundidad del suelo, para luego ser extrapolado a un 1 metro de profundidad (Arévalo *et al.*, 2003). Para el cálculo correspondiente del contenido de COS por unidad de superficie, se procedió a determinar la densidad aparente, la textura y el contenido de carbono orgánico de las muestras colectadas.

### 5.2.- Procedimiento

Seleccionadas las parcelas y sub-parcelas dentro del sistema forestal de uso de la tierra (área experimental), se procedió a determinar la cantidad de carbono almacenado en cada una de ellas; para ello, se trazaron sub parcelas de 4 x 25 m<sup>2</sup>, donde se realizaron mediciones y registros biométricos de la vegetación aérea y subterránea; así también, se determinaron cuantitativamente parámetros edáficos: Densidad aparente, textura y contenido COS en dos horizontes del perfil ( De 0,00 a -0,25 m y de -0,25 a -0,50 m de profundidad) de los suelos evaluados. La medición y registro del DAP, en el área muestral de 100 m<sup>2</sup>, está condicionada metodológicamente a diámetros entre los 2,50 y 30,0 cm de las especies forestales evaluadas; si hubiese existido diámetros mayores a los 30 centímetros en el sub cuadrante de evaluación, entonces, se hubiese procedido al trazo de parcelas de 5 x 100 m<sup>2</sup>, superpuesto concéntricamente sobre los sub cuadrantes de 4 x 25 m<sup>2</sup>. A continuación se irán detallando minuciosamente los procedimientos necesarios en concordancia con la metodología empleada por Arévalo *et al.* (2003).

#### 5.2.1.- Biomasa arbórea viva (B\_av)

Conformado por troncos, ramas, hojas, flores y frutos de árboles de las especies forestales evaluadas; la medición y registro del DAP entre 2,5 cm y 30 cm ha sido empleada como insumo para estimar la biomasa forestal y contenido de carbono

orgánico mediante el uso de modelos alométricos y factores de conversión respectivamente; para ello, se ha trazado sub parcelas de 4 m de ancho x 25 m de largo, que comprende el área de muestreo; en éste último se midió y registró el diámetro de todos los árboles forestales vivos, a la altura del pecho (DAP), con una altura aproximada de 1,30 m, teniendo como base la superficie del suelo (Nabuurs y Mohren, 1995; Brown, 1997; Arévalo, *et al.* 2003).

### 5.2.2.- Biomasa arbustiva (B\_arb) y herbácea (B\_herb)

Compuesta por la comunidad vegetal arbustiva y herbácea cuyos diámetros no superan los 2,50 cm, entre ellas especies arbustivas nativas, gramíneas y otras malezas. La determinación y registro del peso fresco de la biomasa evaluada se realizó por muestreo directo en dos en cuadrantes con dimensiones de 1 m x 1 m, emplazados en marcos de madera de iguales dimensiones, distribuidas al azar en las sub parcelas de muestreo de 4 m x 25 m; para ello se procedió a realizar el corte de toda la vegetación al ras o nivel del suelo; luego se registró el peso fresco total por m<sup>2</sup> y de esta última se colectó una sub-muestra representativa; luego se procedió al pesaje, registro y etiquetado de la sub- muestra; finalmente se procedió a colocar las sub-muestras en una bolsa de papel *kraft* debidamente etiquetada y colocadas en una estufa a 75 °C hasta obtener un peso constante (Arévalo *et al.*, 2003).

El peso seco de la sub-muestra de biomasa se extrapoló a unidades equivalentes (Mg C ha<sup>-1</sup>) y, este último valor fue multiplicado por el factor 0,45, obteniéndose a partir de esta transformación la cantidad estimada de carbono (Ricse *et al.*, 2000).

### 5.2.3.- Biomasa de hojarasca (B\_hoj)

Comprende la capa de mantillo y otros materiales muertos (ramas, ramillas, hojas, flores); para cuantificarlo se procedió al muestreo en dos sub-cuadrantes con dimensiones de 0,50 m x 0,50 m, emplazados dentro de los marcos de madera de 1,0 m x 1,0 m. El procedimiento para la toma de muestra, pesaje y

registro consistió en: a) en coleccionar toda la hojarasca; y b) registrar el peso fresco total; de esta última se separó una muestra representativa; seguidamente se registró su peso y se procedió a colocarlas en bolsas de papel *kraft* debidamente etiquetadas; por último, estas muestras fueron colocadas en una estufa a 75 °C hasta obtener el peso constante (Arévalo *et al.*, 2003).

Para el cálculo estimativo correspondiente de la cantidad de carbono por unidad de área ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ) a partir del peso seco de la hojarasca; se procedió de manera similar al numeral anterior; asumiendo que, el 45% del peso seco constante de la biomasa vegetal es carbono (Arévalo *et al.*, 2003).

#### **5.2.4.- Biomasa de árboles muertos en pie (B\_amp)**

La biomasa de árboles muertos en pie se cuantificó en función de las superficies de muestreo de las sub parcelas de 4 m x 25 m; para su registro se tomó en consideración el DAP en las medidas realizadas. Para la cuantificación estimativa de la biomasa forestal se procedió similarmente al numeral 5.2.1, biomasa arbórea viva (Arévalo *et al.*, 2003).

#### **5.2.5.- Biomasa de árboles caídos muertos (B\_acm)**

El procedimiento es similar al numeral anterior, 5.2.4; es decir, se cuantifican los árboles caídos en las sub parcelas de 4 m x 25 m; posteriormente se realizaron las mediciones y registros en términos del DAP y longitud del fuste (Ricse *et al.*, 2001).

#### **5.2.6.- Muestreo de Suelos**

##### **5.2.6.1.- Determinación de la densidad aparente**

En las superficies que comprenden los cuadrantes dentro de las sub parcelas de muestreo se abrieron calicatas a una profundidad de -0,50 m; los horizontes evaluados corresponden a los 0,00m a -0,25m y -0,25m a -0,50m de profundidad; en cada horizonte se colectó una sola muestra. Sin embargo, a esta profundidad los horizontes podrían verse influenciados por la textura del suelo. Ricse *et al.*

(2001), señalaron que la profundidad de los horizontes evaluados variarán directamente en función de la textura y densidad aparente del perfil del suelo. Es preciso referir que la toma de muestras se realizó en consideración al diseño de muestras y topografía de las unidades experimentales.

En cada uno de los horizontes evaluados se emplearon pequeños cilindros de 98,18 cm<sup>3</sup>, con el objeto de determinar la densidad aparente en cada uno de ellos; dicha medición ha permitido obtener el peso seco del suelo a partir de un volumen determinado, expresado en gramos por centímetro cúbico (g cm<sup>3</sup>); finalmente fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para su correspondiente análisis.

### **5.2.6.2.- Determinación de la textura del suelo**

Se tomaron muestras de 500 g en promedio de suelo correspondiente a cada horizonte evaluado con la finalidad de conocer el parámetro edáfico, textura, a profundidades de 0,00 a -0,25 m y -0,25 m a -0,50 m, que fueron debidamente etiquetadas y, finalmente, enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para su correspondiente análisis; el método del hidrómetro fue empleado para determinar este parámetro edáfico.

### **5.2.6.3.- Determinación del carbono orgánico**

Una proporción de la muestra de suelo del ítem anterior, suficiente para el ensayo, se tomó para realizar la determinación cuantitativa, en términos porcentuales del COS a profundidades de 0,00 a -0,25 m y -0,25 a -0,50 m. El método de Walkley Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio (%Cx1,724) fue empleado para esta prueba. Todas las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

## 5.2.6.4.- Caracterización de suelos

Este ensayo se practicó con la finalidad de conocer a detalle del restante de parámetros propios de esta prueba; se hicieron calicatas de -1,5 m de profundidad, distribuidas en función a rangos de pendiente; se tomaron muestras necesarias siguiendo el protocolo y luego fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para su análisis de rigor.

## 5.3.- Detalles de Cálculo

### 5.3.1.- Cálculo de la biomasa vegetal parcial a nivel de sub parcelas

#### 5.3.1.1.- Biomasa arbórea(BA) en kg/árbol

La biomasa de árboles está directamente relacionado con el volumen del árbol (obtenido a partir del diámetros y altura), arquitectura, densidad del árbol (densidad seca / volumen de nadera húmeda), edad del árbol, historia de vida del árbol y factores ambientales, entre ellos, topografía, pendiente, etc.

Existen modelos matemáticos que derivan de ecuaciones alométricas, diseñados para estimar volúmenes de biomasa arbórea sobre la base del método no destructivo. Arévalo *et al.* (2003) emplearon la fórmula propuesta por Brown (1997), para el cálculo de la biomasa arbórea, la misma que está correlacionada la biomasa y el diámetro del árbol:

$$BA = Y = 0,1184 DAP^{2,53}$$

Dónde:

BA: Biomasa arborea, incluye arboles vivos y muertos en pie (kg/árbol)

0,1184: Constante

DAP: Diámetro a la Altura del Pecho (cm)

2,53: Exponencial Constante

### 5.3.1.2.- Biomasa arborea viva ( $B_{av}$ ) en $Mg\ C\ ha^{-1}$

Para el cálculo de cantidad de biomasa aérea en términos de toneladas por unidad de área (héctarea) se procedió a ponderar el total de biomasa de los árboles vivos colectadas en las sub parcelas de  $4\ m \times 25\ m = 100\ m^2$ . Para ello se empleó la formula siguiente:

$$BT_{av} = B_{avsp} * 0,1 \text{ (Arévalo } et\ al., 2003; \text{ Acosta } et\ al., 2001)$$

Dónde :

$BT_{av}$  : Biomasa total de árboles vivos ( $Mg\ MS\ ha^{-1}$ )

$B_{avsp}$  : Biomasa total de arboles vivos en la sub parcela ( $Mg\ MS\ 0.01\ ha^{-1}$ )

0,1 : Factor de conversión, para sub parcelas de  $4\ m \times 25 = 100\ m^2$

### 5.3.1.3.- Biomasa arbustiva ( $B_{arb}$ ) y herbácea ( $B_{herb}$ ) en ( $Mg\ MS\ ha^{-1}$ )

Para el cálculo de la biomasa arbustiva y herbácea se ha utilizado la siguiente expresión matemática:

$$B_{herb} = [(PSM/PFM) * PFT] 0,01 \text{ (Arévalo } et\ al., 2003; \text{ Woomer y Palm, 1999; Acosta } et\ al., 2001)$$

Dónde:

$B_{herb}$  : Biomasa arbustiva y herbácea, en materia seca ( $Mg\ MS\ ha^{-1}$ )

$PSM$  : Peso seco de la sub muestra/cuadrante,  $1\ m^2$

$PFM$  : Peso fresco de la sub muestra/cuadrante,  $1\ m^2$

$PFT$  : Peso fresco total de la muestra/cuadrante,  $1\ m^2$

0,01 : Factor de conversión

### 5.3.1.4.- Biomasa de hojarasca ( $B_{hoj}$ ) en $Mg MS ha^{-1}$

Para estimar el cálculo de este parámetro de biomasa vegetal en términos de toneladas por hectárea se empleó la siguiente expresión matemática:

$$B_{hoj} = [(psm/pfm) * 0,04] \text{ (Arévalo et al., 2003)}$$

Dónde:

$B_{hoj}$  : Biomasa de hojarasca, en materia seca

PSM : Peso seco de la sub muestra/sub cuadrante,  $0,25 m^2$

PFM : Peso fresco de la sub muestra/sub cuadrante,  $0,25 m^2$

PFT : peso fresco total de la muestra/  $0,25 m^2$

### 5.3.1.5.- Biomasa subterránea y carbono orgánico total

Para la estimación de este parámetro de biomasa subterránea, conformada por la totalidad del sistema radicular de la vegetación evaluada, se ha empleado un método no destructivo, que consiste en utilizar estimaciones conservadoras y poco controvertidas de biomasa radicular sobre la base de ecuaciones alométricas. Cairns *et al.* (1997) obtuvieron una alta correlación (0,84) entre la biomasa seca de la raíz ( $Mg MS ha^{-1}$ ) y la biomasa aérea seca ( $Mg MS ha^{-1}$ ) en condiciones de bosques tropicales, empleando la siguiente ecuación alométrica:

$$Y = \exp[-1,0587 + 0,8836 * \ln(BAs)]$$

Dónde:

$Y$  : biomasa seca de la raíz ( $Mg MS ha^{-1}$ )

$BAs$  : biomasa aérea seca ( $Mg MS ha^{-1}$ )

Gamarra (2001) estimó la biomasa subterránea en función del porcentaje de la biomasa seca aérea. Antecedentes relacionados a inventarios de carbono

## MATERIALES Y TECNICAS

refieren valores porcentuales conservadores entre 10 a 15%, sin incurrir en exageraciones en la estimación de la biomasa subterránea; en plantaciones de *E. globulus* la literatura señaló que la proporción entre la biomasa sobre el suelo y las raíces es aproximadamente el 30% (Mac Dicken, 1997); en esos términos se plantea las siguientes expresiones matemáticas:

$$\text{a). } \quad \text{Bsubt\_arb (Mg MS ha}^{-1}\text{)} = \text{BaTAV} * \mathbf{0,30} \text{ (Mac Dicken, 1997) } \quad \text{para plantaciones de } E. \text{ globulus}$$

$$\text{Bsubt\_arb (Mg MS ha}^{-1}\text{)} = \text{BTAV} * \mathbf{0,16} \text{ (Nabuurs and Mohren, 1995),}$$

Para plantaciones de *P. radiata*

$$\text{Bsubt\_herb (Mg MS ha}^{-1}\text{)} = \text{BTa\_herb} * \mathbf{0,10} \text{ (según dato propio obtenido en laboratorio).}$$

Dónde:

Bsubt\_arb : Biomasa subterránea arbórea

BaTAV: Biomasa aérea total árboles vivos

Bsubt\_herb: Biomasa subterránea herbácea

BTa\_herb: Biomasa aérea total herbácea

0,30, 0,16 y 0,10: Factores de conversión

Bsubt\_T : Biomasa subterránea Total

Bsubt\_T : Bsubt\_arb + Bsubt\_herb

$$\text{b). } \quad \text{CO-Bsubt (Mg C ha}^{-1}\text{)} = \text{Bsubt\_T} * \mathbf{0,45} \text{ (Arévalo et al., 2003)}$$

Dónde:

CO – Bsubt : Carbono orgánico - Biomasa subterránea

Bsubt\_T : Biomasa subterránea Total (Mg MS h<sup>-1</sup>)

0,45 : Factor de conversión

## MATERIALES Y TECNICAS

### 5.4.- Cálculo de la biomasa vegetal total (Mg MS ha<sup>-1</sup>).

Para la estimación de la biomasa vegetal total a nivel de parcelas muestrales se hizo uso de la expresión matemática propuesta por Mac Dicken (1997):

$$\text{BVT (Mg MS ha}^{-1}\text{)} = \text{BT}_{\text{av}} + \text{B}_{\text{herb}} + \text{B}_{\text{hoj}} + \text{B}_{\text{subt}}$$

Dónde:

BVT : Biomasa vegetal total

BT<sub>av</sub> : Biomasa total arboles vivos

B<sub>herb</sub> : Biomasa total arbustiva y herbácea

B<sub>hoj</sub> : Biomasa total de hojarasca

B<sub>subt</sub> : Biomasa total subterránea

### 5.5.- Cálculo de carbono en la biomasa vegetal total (Mg C ha<sup>-1</sup>).

Para el cálculo estimativo del carbono orgánico en la biomasa vegetal total se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática (Arévalo *et al.*, 2003).

$$\text{CO-BV} = \text{BVT}_{\text{av}} * 0,45 \text{ (Arévalo } et al., 2003)$$

Dónde:

CO-BV : Carbono orgánico en la biomasa vegetal

BVT : Biomasa vegetal total (Mg MS h<sup>-1</sup>)

0,45 : Factor de conversión

### 5.6.- Cálculo de carbono orgánico en el suelo (Mg C ha<sup>-1</sup>).

El cálculo realizado para determinar el contenido de carbono orgánico en los dos horizontes de evaluación, se hizo sobre la base del %C obtenido en el laboratorio de suelos (UNALM); la expresión matemática empleada para llevar el %C a Mg MS ha<sup>-1</sup> es:

$$PS = DA * Prof * 10,000$$

Dónde:

PS : Peso del suelo (tn ha<sup>-1</sup>)

DA : Densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

Prof. : Profundidad (m)

$$COS = [PSs * \%C_{LAB}] / 100 \text{ (Arévalo et al., 2003)}$$

Dónde:

COS : Carbono orgánico en el suelo (Mg C ha<sup>-1</sup>)

PS : Peso del suelo (tn ha<sup>-1</sup>)

%C<sub>LAB</sub> : Porcentaje de carbono, calculado en el laboratorio

100 : Factor de conversión

### 5.7.- Cálculo de carbono orgánico en el Sistema de Uso de la Tierra - SUT (Mg C ha<sup>-1</sup>).

Para el cálculo del Sistema de Uso de la Tierra (SUT) se empleó la siguiente expresión matemática:

$$CT = CVT + COS \text{ (Arévalo et al., 2003)}$$

Dónde:

CT : Carbono total en el SUT (Mg C ha<sup>-1</sup>)

CVT : Biomasa vegetal total (Mg MS ha<sup>-1</sup>)

COS : Carbono orgánico en el suelo (Mg C ha<sup>-1</sup>)

### 6.- EMPLEO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (GIS) Y TELEDETECCION EN LA EVALUACION BIOFISICA DE LA VEGETACION.

El presente análisis espacial busca determinar la correspondencia de los valores de *NDVI* respecto a las fases fenológicas y condiciones de estrés climático en los sistemas forestales evaluados, a partir de escenas de imágenes de satélite *LANDSAT 7ETM*.

Las escenas de imágenes de satélite empleadas para las áreas en evaluación tienen las siguientes características: a) Imagen *LANDSAT 7ETM*, año 2014, resolución espacial 30 m, para las bandas en el espectro visible y el infrarrojo cercano, resolución temporal 16 días, giro por orbita 99 min, dimensiones de la escena 185 x 185 km<sup>2</sup>; sensor de barrido multiespectral equipado con siete canales y rangos espectrales de banda angosta, las bandas 2, 3 y 4 son empleadas para en estudios específicos de vegetación (GTZ, 1991).

Con el propósito de determinar el comportamiento transicional de los ecosistemas forestales en evaluación, en términos de valores de *NDVI*, es preciso construir modelos que permitan establecer probables relaciones con variables climáticas e hídricas. Hielkema *et al.* (1986), Nicholson, *et al.* (1990) destacan la importancia en la dependencia entre el *NDVI* y la climatología en las áreas en evaluación debido a que encontraron correlaciones apreciables entre el *NDVI* y las precipitaciones en zonas cálidas.

La clasificación de imágenes de satélite a través del *NDVI* de la cubierta vegetal evaluada (bosques forestales: *E. globulus* y *P. radiata*) se ha realizado con el objeto de entender y comprender la correspondencia (o no) de los posibles estados de estrés climático e hídrico de las bosques forestales evaluados, y su

efecto en la producción de biomasa forestal y el contenido de C, en la fecha de registro de la imagen por el sensor remoto, teniendo como referencia un ecosistema forestal no alterado. Para ello, se procedió a emplear el análisis de reflectividad espectral tradicional que permitió identificar los rasgos atribuidos a la superficie forestal en evaluación.

La elección de uno u otro método de clasificación digital dependerán de los datos y medios disponibles y de las propias preferencias personales (Marx y Hildebrandt, 1978; Townshend y Justice, 1981).

Dadas las condiciones y conocimiento de la zona, el Método Supervisado es la que más se ajusta a nuestra necesidad de investigación.

### A. Método Supervisado.

Parte de un conocimiento del ámbito de estudio adquirido por la experiencia o por trabajos de campo realizados. Esta mayor familiaridad con el ámbito de estudio permitirá delimitar un conjunto de superficies lo suficientemente representativas de cada una de las categorías que comprende la leyenda. Estas superficies en la bibliografía anglosajona se denominan *training fields* (áreas de entrenamiento); esto último indica que tales áreas sirven para inducir al ordenador a entrenar, en el reconocimiento de las distintas categorías; es decir, el ordenador calculará los ND que definen cada una de las clases, para luego asignar al resto de píxeles de la imagen a una de esas categorías en función de sus ND.

Los trabajos de campo y otros documentos complementarios y/o auxiliares como, por ejemplo, las fotografías aéreas y la cartografía convencional o temática, son de mucha ayuda para la localización más precisa de estas superficies evaluadas (entrenamiento), teniendo en consideración que debe tratarse de muestras lo suficientemente representativas y homogéneas de la clase que se pretende definir. En general, resulta conveniente seleccionar varias áreas por categoría a fin de reflejar adecuadamente la viabilidad de la zona de estudio.

Una vez finalizada la selección de las áreas de entrenamiento se procedió a realizar los cálculos estadísticos elementales de cada una de las categorías seleccionadas, entre ellas, la media, el rango, la tendencia central, la desviación típica, la matriz de varianza-covarianza (entre otros) a partir de los ND de todos los píxeles incluidos en las áreas entrenamiento asignadas a esa cada clase. Lógicamente estas aproximaciones se aplican a todas las bandas que intervendrán en la clasificación. En definitiva, se asume que las áreas de entrenamiento son fieles representantes de las distintas categorías y que, por lo tanto, las medidas extraídas a partir del reflejo de los ND definen convenientemente a cada una de las clases. A partir de esta resulta crucial su correcta selección, ya que de otra forma se estaría forzando en clasificar áreas heterogéneas (Chuvienco, 2000).

### **6.1.- Determinación del Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) y su relación con la biomasa forestal producida bajo condiciones de estrés climático e hídrico.**

Se han empleado escenas de imágenes de satélite de la plataforma *LAND SAT 7* ETM correspondiente a las fechas de medición y registros en los bosques forestales de *E. globulus* y *P. radiata*, en términos del DAP particularmente.

Las escenas de satélite se procesaron para realizar los ajustes previos de rigor, como el geométrico, radiométrico, realces y mejoras de la imagen y, finalmente calcular el Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (*NDVI*), que es igual a  $(I_r - R) / (I_r + R)$ , esta expresión matemática, mide la reflectancia de la vegetación y el suelo. El valor del *NDVI* se calcula en base a las bandas espectrales rojo e infrarojo; la banda 1 (rojo) representa la máxima absorción de la clorofila presente en el follaje de la vegetación en evaluación; la banda 2 (infrarojo) mide la reflexión estructural de la vegetación; existe una estrecha relación entre el *NDVI* y la presencia de la vegetación; los valores de *NDVI* fluctúan entre -1 y 1 (valores por encima de cero) indican altos contenidos de

vegetación; mientras que valores bajo cero reflejan lo contrario, presencia de suelos desnudos, cuerpos de agua, afloramientos rocosos, nieve y nubes (Sabins, 1997).

El objeto de la presente metodología es delimitar escenarios espaciales más amplios (ámbitos: distritales, provinciales y departamentales), cuyas edades de plantaciones, manejo y características ambientales sean similares y afines a los ecosistemas forestales evaluados; finalmente realizar estimaciones de la cantidad de biomasa forestal producida y contenidos de C a partir de escenas de imágenes de satélite y el empleo del Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI).

### **6.2.- Procedimiento.**

Se utilizaron escenas de imágenes de Satélite *LandSat 7 ETM*, correspondiente al mes de mayo (2014), con la finalidad de determinar el *NDVI* en los bosques forestales y evaluar condiciones de estrés climático e hídrico en el contenido de C; el proceso de análisis de imágenes satelitales involucra clasificar valores digitales da a través de la asignación de píxeles a cada clase; para el logro de este propósito se hizo uso del *Software ENVI V 4.2*, en su módulo de clasificación de imágenes modo supervisada; este procedimiento consiste en asignar elementos a la imagen en relación a la categorías previamente definidas, que tiene carácter de muestras representativas de cada una de las clases descritas a la largo de la escena; además de las características espectrales se aplicaron otros criterios como la forma, el color, la textura, la asociación y el tamaño de los elementos de a escena (GTZ, 1991). Para este análisis modo supervisado se realizaron acciones previas, como la ubicación de las unidades ó áreas de entrenamiento (bosques forestales evaluados) con su respectivas repeticiones para cada categoría, en las cuales se realizaron acciones de reconocimiento e identificación de la cobertura vegetal de interés ó dominante (Chuvieco, 2000); posteriormente se hizo uso de *ArcGIS v 10.2* para efectos comparativos; se consideró que se definieran sólo cinco categorías: pajonal, bosques forestales en evaluación, cultivos agrícolas,

## MATERIALES Y TECNICAS

cuerpos de agua y superficies desnudas. Finalmente, identificados y clasificados las superficies en sus respectivas categorías digitales, se procedió a extrapolar las muestras representativas (cuatro categorías) en todo el cuadrante de la escena de interés. Luego se contrastó la distribución espacial de pixeles asociados al estrés climático e hídrico, mediante el empleo del *ARGIS* v 10.2, superponiendo los polígonos (con rangos de pendiente conocidos, Anexo A-4, DCA: 1, 2 3 Y 4) cuyo análisis y caracterización de suelos (Anexo A-1) se conocen; este procedimiento permitirá conocer particularmente características biológicas, físicas y químicas del suelo, formas de manejo forestal, clima (temperatura y precipitación), entre otras, cuyas interacciones y efectos se reflejarán en la vigorosidad de la plantación forestal, y esto último en valores de NDVI.



**RESULTADOS**



### 1.- IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE ESPECIES ARBUSTIVAS Y HERBACEAS EN LOS BOSQUES FORESTALES EVALUADOS DE *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiatus*.

#### 1.1. - Plantaciones forestales ubicadas en el distrito de Catac

a).- Plantación de forestal de *E. globulus* ubicado en el sector “Cementerio”, propiedad de la Comunidad Campesina Catac (Distrito de Catac – Recuay – Ancash) se han identificado las siguientes especies herbáceas (no se han encontrado especies arbustivas):

Pajonal de Puna, es una formación vegetal que prospera desde los 3,500 hasta los 4,000 m s.n.m. Las especies predominantes pertenecen a la familia *Poaceae*, en sus géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y *Jarava*; forman parte de los pastos naturales y la dieta de ganado vacuno, equino, ovino, etc

b).- Plantación de forestal de *P. radiatus*, ubicado en el sector “Catacpata”, propiedad de la Comunidad Campesina Catac (Distrito de Catac – Recuay – Ancash); se han identificado las siguientes especies herbáceas (no se han encontrado especies arbustivas):

Pajonal de Puna, es una formación vegetal que prospera desde los 3,500 hasta los 4,000 m s.n.m. Las especies predominantes pertenecen a la familia *Poaceae*, en sus géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y *Jarava*.

#### 1.2.- Plantación forestal ubicada en el distrito de Huaraz

a).- Plantación de forestal de *P. radiatus*, ubicado en el sector “El Pinar”, propiedad privada, perteneciente a la Empresa “El Tumi” (Distrito de Huaraz - Huaraz – Ancash); se han identificado las siguientes especies herbáceas (no se han encontrado especies arbustivas):

Pajonal de Puna, es una formación vegetal que prospera desde los 3,500 hasta los 4,000 m s.n.m. Las especies predominantes pertenecen a la familia *Poaceae*, en sus géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y *Stipa*, entre las especies más conocidas tenemos: *Festuca dolichophylla*, *F. webwebaueri*, *Calamagrostis antoniana*, *C. recta*, *Stipa ichu*, *S. obtusa*.

### **1.3 - Plantaciones forestales ubicadas en el distrito de Marcará**

a).- Plantación de forestal de *E. globulus*, ubicado en el sector “Tuyu”, propiedad de la Comunidad Campesina “Siete Imperios” (Distrito de Marcará - Carhuaz – Ancash); se han identificado las siguientes especies herbáceas (no se han encontrado especies arbustivas):

Matorral Seco, es una formación vegetal que prospera entre los 2,200 y 2,800 m s.n.m. La especie predominante es el género *Festuca* y la especie invasora el kikuyo o pasto africano, cuyo nombre científico es *Pennisetum clandestinum*, siendo este último el más importante en términos de cobertura vegetal y su agresividad. El kikuyo, es una gramínea originaria de África central; es una planta herbácea perenne, invasora de largos y vigorosos estolones y rizomas, que alcanzar apreciable profundidad en lugares húmedos (-35 a -50 cm); mientras que en lugares secos sólo penetra entre -15 a -20 cm de profundidad; posee una propagación anemófila (por el viento) por la pequeñez de su semilla; también se disemina de manera endozoofila; el ganado vacuno y caballar suelen comer este pasto en épocas de escasez de forrajes y realizar largos viajes, dejando las semillas de kikuyo en su deposición.

## 2.-DETERMINACION DE LA BIOMASA AEREA Y SUBTERRÁNEA EN LAS PARCELAS FORESTALES DE *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiatus*.

### 2.2.- ALMACENAJE DEL CARBONO

#### 2.2.1.- Cálculos estimativos de la biomasa arbórea viva a partir de mediciones dasométricas .

El cálculo se realizó en base al parámetro dasométrico, esto es, Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) del conjunto de árboles forestales vivos presentes en cada una de las sub parcelas, característica particular de estos bosques; a dichas mediciones se le aplicó la ecuación alométrica siguiente:  $BA = Y = 0.1184 \text{ DAP}^{2,53}$  (Bronw, 1997), método no destructivo, diseñado para estimar volumen biomasa seca de árboles forestales en condiciones climáticas tropicales; aplicado posteriormente por Arévalo *et al.* (2003).  $\text{Mg MS ha}^{-1}$

**Tabla 001A: Estimación de la biomasa arbórea viva a partir del DAP en sub parcelas en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

Biomasa arbórea viva: $\text{kg/árb} \approx \text{Mg MS ha}^{-1}$									
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	117.061	256.899	172.101	117.574	180.993	160.424	169.381	125.409	
Sub total		373.961		289.675		341.417		294.791	
Total								1,299.845	

## RESULTADOS

**Tabla 001B: Estimación de la biomasa arborea viva a partir del DAP en sub parcelas en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).**

Biomasa arborea viva: kg/árb≈ Mg MS ha <sup>-1</sup>									
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II							
Parcial	159.133	212.459	220.556	278.126	101.565	143.845	149.777	179.285	
Sub Total		371.592		498.682		245.410		329.062	
Total								1,444.746	

**Tabla 001C: Estimación de la biomasa arborea viva a partir del DAP en sub parcelas en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz – Huaraz – Ancash).**

Biomasa arborea viva: kg/árb≈ Mg MS ha <sup>-1</sup>									
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	229.708	244.556	320.577	325.718	312.930	182.413	109.709	176.154	
Sub total		474.264		646.295		495.344		285.862	
Total								1,901.765	

**Tabla 001D: Estimación de la biomasa arborea viva a partir del DAP en sub parcelas en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará – Carhuaz – Ancash).**

Biomasa arborea viva: Kg/árb≈ Mg MS ha <sup>-1</sup>									
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II							
Parcial	238.342	157.921	113.781	169.945	118.373	195.283	148.216	180.274	
Sub total		396.263		283.726		313.656		328.490	
Total								1,322.136	

### 2.2.2.- Cálculos de biomasa arbustiva y herbácea a partir de muestreo de materia seca.

Para el cálculo de la biomasa arbustiva y herbácea particularmente sólo se hizo herbácea (debido a que no existe vegetación arbustiva en los bosques evaluados) para cuyo efecto se utilizó la metodología de cálculo de biomasa propuesto por Woomer y Palm (1990), empleado por Acosta *et al.*, 2001 y Arévalo *et al.*, 2003.

**Tabla 002A: Cálculo de biomasa arbustiva y herbácea en cuadrantes de muestreo en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

Biomasa arbustiva y herbácea (Mg MS ha <sup>-1</sup> )									
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	0.29	0.33	0.18	0.34	0.48	0.20	0.30	0.38	
Sub total		0.62		0.52		0.68		0.68	
Total								2.50	

## RESULTADOS

**Tabla 002B: Cálculo de biomasa arbustiva y herbácea en cuadrantes de muestreo en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).**

Biomasa arbustiva y herbácea (tn/ha)									
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II							
Parcial	0.14	0.17	0.16	0.18	0.21	0.21	0.23	0.40	
Sub total		0.31		0.34		0.42		0.63	
Total								1.70	

**Tabla 002C: Cálculo de biomasa arbustiva y herbácea en cuadrantes de muestreo en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz – Huaraz – Ancash).**

Biomasa arbustiva y herbácea (Mg MS ha <sup>-1</sup> )									
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	0.43	0.32	0.42	0.44	0.41	0.62	0.48	0.61	
Sub total		0.75		0.86		1.03		1.09	
Total								3.73	

**Tabla 002D: Cálculo de biomasa arbustiva y herbácea en cuadrantes de muestreo en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará - Carhuaz – Ancash).**

Biomasa arbustiva y herbácea (Mg MS ha <sup>-1</sup> )									
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II							
Parcial	0.93	0.98	0.80	0.85	0.80	0.83	1.06	0.55	
Sub total		1.91		1.65		1.63		1.61	
Total								6.80	

### 2.2.3.- Cálculos de biomasa de hojarasca a partir de muestreo de materia seca.

Los cálculos para la determinación de biomasa de hojarasca (mantillo) se realizaron teniendo en consideración la expresión matemática:

$$\text{Bhoj} = [(\text{psm}/\text{pfm}) * 0,04] \text{ recomendado por Arévalo } et \text{ al., 2003.}$$

**Tabla 003A: Cálculo de biomasa de hojarasca en subcuadrantes de muestreo en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

Biomasa en hojarasca (Mg MS ha <sup>-1</sup> )									
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	0.04	0.23	0.17	0.18	0.12	0.13	0.22	0.19	
Sub total		0.27		0.35		0.23		0.41	
Total								1.26	

## RESULTADOS

**Tabla 003B: Cálculo de biomasa de hojarasca en subcuadrantes de muestreo en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	Biomasa en hojarasca (Mg MS ha <sup>-1</sup> )							
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	0.14	0.17	0.16	0.18	0.21	0.21	0.23	0.40
Sub total		0.31		0.34		0.42		0.63
Total								1.70

**Tabla 003C: Cálculo de biomasa de hojarasca en subcuadrantes de muestreo en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz – Huaraz – Ancash).**

	Biomasa en hojarasca (Mg MS ha <sup>-1</sup> )							
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	0.14	0.11	0.15	0.14	0.16	0.14	0.12	0.13
Sub total		0.25		0.29		0.30		0.25
Total								1.09

**Tabla 003D: Cálculo de biomasa de hojarasca en subcuadrantes de muestreo en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará - Carhuaz – Ancash).**

	<b>Biomasa en hojarasca (Mg MS ha<sup>-1</sup>)</b>								
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	0.20	0.21	0.25	0.19	0.21	0.23	0.28	0.20	
Sub total		0.41		0.44		0.44		0.48	
Total								1.77	

**2.2.4.- Estimación de la biomasa subterránea a partir de la biomasa aérea total (Mg MS ha<sup>-1</sup>).**

La estimación de la biomasa subterránea se realizó en consideración a lo propuesto por Mac Dicken, 1997 y; Nabuurs y Mohren, 1995, quienes recomiendan factores de conversión de 0,30 del peso seco para *Eucalyptus globulus* y 0,16 del peso seco para *Pinus radiata* respectivamente.

**Tabla 004A: Estimación de biomasa subterránea a partir de biomasa aérea total en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	<b>Biomasa subterránea (Mg MS ha<sup>-1</sup>)</b>								
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	35.118	77.070	51.630	35.271	54.217	48.126	50.814	37.623	
Sub total		112.188		86.901		102.343		88.437	
Total								389.869	

## RESULTADOS

**Tabla 004B: Estimación de biomasa subterránea a partir de biomasa aérea total en el bosque de *Pinus radiata* (Catac – Recuay – Ancash).**

	Biomasa subterránea (Mg MS ha <sup>-1</sup> )								
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	25.461	33.994	35.289	44.501	16.249	23.016	23.965	28.686	
Sub total		59.455		79.790		39.265		52.651	
Total								231.161	

**Tabla 004C: Estimación de biomasa subterránea a partir de biomasa aérea total en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz – Huaraz – Ancash).**

	Biomasa subterránea (Mg MS ha <sup>-1</sup> )								
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	36.754	39.129	51.293	52.115	50.069	29.186	17.554	28.184	
Sub total		75.883		103.408		79.255		45.738	
Total								304.284	

**Tabla 004D: Estimación de biomasa subterránea a partir de biomasa aérea total en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará – Carhuaz – Ancash).**

	<b>Biomasa subterránea (Mg MS ha<sup>-1</sup>)</b>							
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	71.502	47.376	34.134	50.982	35.511	58.584	44.466	54.081
Sub total		118.878		85.116		94.095		98.547
<b>Total</b>								<b>304.284</b>

### 2.2.5.- Biomasa vegetal total (Mg MS ha<sup>-1</sup>).

En las tablas que a continuación se muestran, se detallan la totalidad de la biomasa y contenido de carbono orgánico (Mg C ha<sup>-1</sup>).

**Tabla 005A: Biomasa vegetal total en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	<b>Biomasa total (Mg MS ha<sup>-1</sup>)</b>							
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	152.595	334.629	224.134	153.463	236.031	208.936	220.804	163.717
Sub total		487.224		377.587		444.967		384.521
<b>Total</b>								<b>1,694.284</b>

## RESULTADOS

**Tabla 005B: Biomasa total en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	<b>Biomasa total (Mg MS ha<sup>-1</sup>)</b>							
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	185.771	247.430	257.076	323.071	118.748	167.869	175.769	209.390
Sub total		433.201		580.146		286.617		385.159
Total								1,685.123

**Tabla 005C: Biomasa vegetal total en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz – Huaraz –Ancash).**

	<b>Biomasa total (Mg MS ha<sup>-1</sup>)</b>							
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	267.163	284.216	372.569	378.547	363.692	212.542	128.008	205.257
Sub total		551.378		751.116		576.233		333.265
Total								2,211.992

**Tabla 005D: Biomasa vegetal total en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará – Carhuaz – Ancash).**

	Biomasa total (Mg MS ha <sup>-1</sup> )								
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	311.251	206.780	149.204	222.217	155.131	255.173	194.344	235.266	
Sub total		518.031		371.421		410.304		429.610	
Total								1,729.336	

### 2.2.6.- Cantidad de carbono en la biomasa vegetal total (Mg C ha<sup>-1</sup>).

Para el cálculo del carbono en la biomasa total se tuvo en cuenta la siguiente fórmula:  $CBV = BVT * 0.45$  (Arévalo *et al.*, 2003).

**Tabla 006A: Cantidad de carbono a partir de la biomasa vegetal total en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	Carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> )								
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	68.668	150.583	100.860	69.058	106.214	94.021	99.362	73.673	
Sub total		219.251		169.919		200.235		173.034	
Total								762.439	

## RESULTADOS

**Tabla 006B: Cantidad de carbono a partir de la biomasa vegetal total en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	Carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	83.597	111.343	115.684	145.382	53.436	75.541	79.096	94.226
Sub total		194.940		261.066		128.977		173.322
Total								758.305

**Tabla 006C: Cantidad de carbono a partir de la biomasa vegetal total en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz - Huaraz – Ancash).**

	Carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	120.223	127.897	167.656	170.346	163.661	95.644	57.603	92.366
Sub total		248.120		338.002		259.305		149.969
Total								995.396

**Tabla 006D: Cantidad de carbono a partir de la biomasa vegetal total en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará – Carhuaz – Ancash).**

	Carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	140.063	93.051	67.142	99.998	69.809	114.828	87.455	105.870
Sub total		233.114		167.139		184.637		193.325
Total								778.215

### 2.2.7.- Cálculo de Carbono Orgánico total en el suelo (COS) en Mg C ha<sup>-1</sup>

El cálculo de este componente edáfico se realizó a partir del análisis y caracterización de suelos en dos profundidades de suelo: -0,25 m y -0,50 m; para cuyo efecto se hizo uso de la siguiente expresión matemática:

$$\text{COS} = \text{PVs} * \% \text{CO}_{\text{LAB}} / 100 \text{ (Arévalo et al., 2003).}$$

**Tabla 007A: Carbono orgánico en el suelo (COS) en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	COS (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	78.52	141.12	143.29	312.40	99.12	84.53	218.13	169.06
Sub total		219.64		455.69		183.65		387.19
Total								1,246.17

## RESULTADOS

**Tabla 007B: Carbono orgánico en el suelo (COS) en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	COS (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	87.48	121.65	134.39	91.18	70.85	119.61	96.52	123.32
Sub total		209.13		225.57		190.46		219.63
Total								844.79

**Tabla 007C: Carbono orgánico en el suelo (COS) en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz – Huaraz – Ancash).**

	COS (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	59.21	110.99	83.54	98.02	136.84	130.65	138.81	116.15
Sub total		170.19		181.56		267.49		254.56
Total								874.20

**Tabla 007D: Carbono orgánico en el suelo (COS) en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará – Carhuaz – Ancash).**

	COS (Mg C ha <sup>-1</sup> )								
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	71.29	70.51	70.87	72.89	51.86	50.29	61.93	61.27	
Sub Total		141.80		143.77		102.16		123.20	
Total								510.92	

### 2.2.8.- Cálculo de Carbono total en el Sistema de Uso de la Tierra (SUT) en Mg C ha<sup>-1</sup>.

El cálculo que consistió en sumar el carbono orgánico almacenado en la biomasa vegetal total y la suma de las profundidades del suelo (0,00 a -0,50 m).

**Tabla 008A: Carbono total en el Sistema de Uso de la Tierra (SUT) en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	Carbono total en el SUT (Mg C ha <sup>-1</sup> )								
	T6 (PARCELA)		T9 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	147.188	291.703	244.150	381.458	205.334	178.551	317.492	242.733	
Sub total		438.891		625.609		383.885		560.224	
Total								2,008.609	

## RESULTADOS

**Tabla 008B: Carbono total en el Sistema de Uso de la Tierra (SUT) en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).**

	Carbono total en el SUT (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		T8 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	171.077	232.993	250.074	236.562	124.286	195.151	175.416	217.546
Sub total		404.070		486.636		319.437		392.962
Total								1,603.105

**Tabla 008C: Carbono total en el Sistema de Uso de la Tierra (SUT) en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz – Huaraz – Ancash).**

	Carbono total en el SUT (Mg C ha <sup>-1</sup> )							
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	179.433	238.887	251.196	268.366	300.501	226.294	196.413	208.516
Sub total		418.320		519.562		526.795		404.929
Total								1,869.606

## RESULTADOS

**Tabla 008D: Carbono total en el Sistema de Uso de la Tierra (SUT) en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará – Carhuaz – Ancash).**

	Carbono total en el SUT (tn/ha)							
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)	
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II
Parcial	211.353	163.561	138.012	172.888	121.669	165.118	149.385	167.140
Sub Total		374.914		310.899		286.787		316.525
Total								1,289.125

### 2.2.9.- Análisis de Varianza (ANVA) de los tratamientos evaluados (BOSQUES).

**Tabla 009a: ANVA de la cantidad de biomasa aérea total (Mg MS ha<sup>-1</sup>)**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	29,352.444	9,784.148
ERROR	t(r-1)=28	91,131.337	3,254.691
TOTAL	(tr-1)=31	120,483.781	

$$Y_{prom} = 187.285$$

$$\%CV = \sqrt{CME/Y_{prom}} = 30.461$$

$$F_{trat.} = CM_{trat}/CME = 3.006$$

$$F_{0,10(3,28)} = 4.568$$

$$F_{0,05(3,28)} = 2.947 *$$

## RESULTADOS

### PRUEBA T STUDENT

	B2 (181.523)	B3 (238.324)	B4 (166.336)
B1 (162.951)	ns	ns	ns
B2 (181.530)		ns	ns
B3 (238.324)			*

**Tabla 009b: ANVA de la cantidad de biomasa subterránea total (Mg MS ha<sup>-1</sup>).**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	2,302.619	767.539
ERROR	t(r-1)=28	4,038.264	144.224
TOTAL	(tr-1)=31	6,340.883	

$$Y_{prom} = 41.489$$

$$\%CV = \sqrt{CME/Y_{prom}} = 28.945$$

$$F_{trat.} = CM_{trat}/CME = 3.322$$

$$F_{0,10(3,28)} = 4.568$$

$$F_{0,05(3,28)} = 2.947^{**}$$

### PRUEBA T STUDENT

	B2 (29.112)	B3 (38.175)	B4 (49.834)
B1 (48.837)	**	ns	ns
B2 (29.112)		ns	**
B3 (38.175)			ns

**Tabla 009c: ANVA de la cantidad de biomasa vegetal total (Mg MS ha<sup>-1</sup>).**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	24,430.982	8,143.661
ERROR	t(r-1)=28	131,741.569	4,705.056
TOTAL	(tr-1)=31	156,172.551	

## RESULTADOS

$$\gamma_{prom} = 228.775$$

$$\%CV = \sqrt{CME/\gamma_{prom}} = 29.983$$

$$F_{trat.} = CM_{trat}/CME = 1.731$$

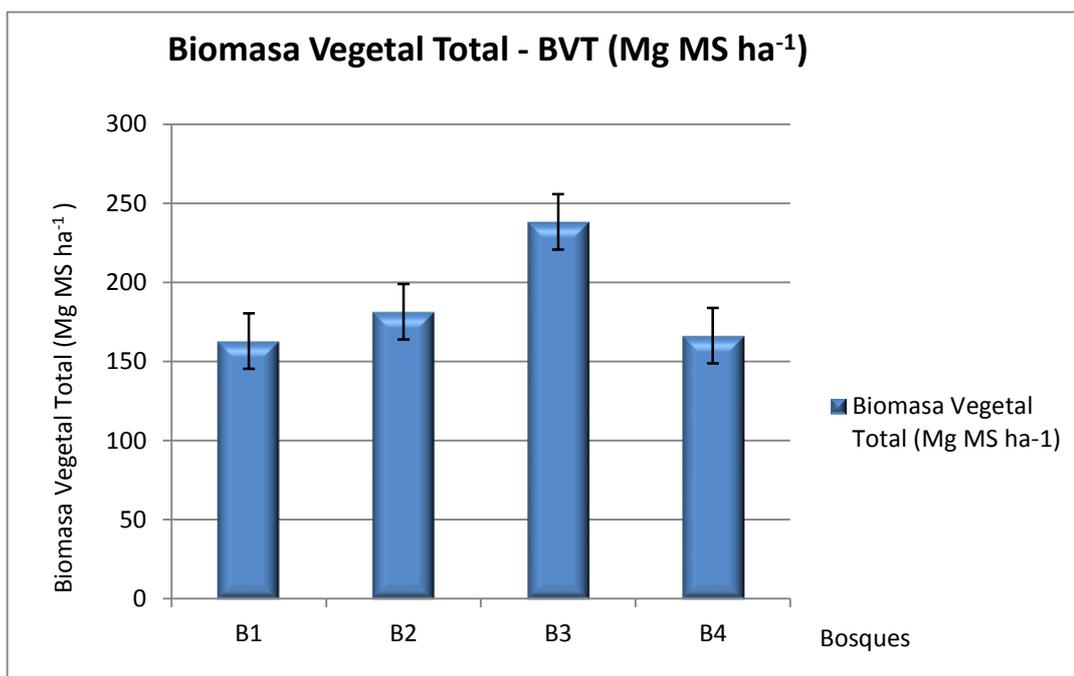
$$F_{0,10(3,28)} = 4.568$$

$$F_{0,05(3,28)} = 2.947 \text{ ns}$$

### PRUEBA T STUDENT

	B2 (210.640)	B3 (276.499)	B4 (216.171)
B1 (211.789)	ns	ns	ns
B2 (210.640)		ns	ns
B3 (276.499)			ns

**Gráfico 001: Biomasa vegetal total (Mg MS ha<sup>-1</sup>) en los cuatro bosques forestales evaluados.**



B1= Bosques *Eucalytus globulus* - Catac; B2: Bosque de *Pinus radiatus* – Catac; Bosque *Pinus radiatus* – Huaraz; B4: Bosque *Eucalytus globulus* – Marcará.

## RESULTADOS

**Tabla 009d: ANVA del contenido de carbono en la biomasa aérea total (Mg C ha<sup>-1</sup>).**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	5,943.893	1,981.298
ERROR	t(r-1)=28	18,454.416	659.086
TOTAL	(tr-1)=31	24,398.310	

$$\bar{Y}_{prom} = 84.278$$

$$\%CV = \sqrt{CME/\bar{Y}_{prom}} = 30.462$$

$$F_{trat.} = CM_{trat}/CME = 3.006$$

$$F_{0,10(3,28)} = 4.568$$

$$F_{0,05(3,28)} = 2.947 *$$

### PRUEBA T STUDENT

	B2 (81.688)	B3 (107.246)	B4 (74.851)
B1 (73.328)	ns	ns	ns
B2 (81.688)		ns	ns
B3 (107.246)			*

**Tabla 009e: ANVA del contenido de carbono en la biomasa subterránea total (Mg C ha<sup>-1</sup>).**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	466.280	155.427
ERROR	t(r-1)=28	817.748	29.205
TOTAL	(tr-1)=31	1,284.029	

$$\bar{Y}_{prom} = 18.670$$

$$\%CV = \sqrt{CME/\bar{Y}_{prom}} = 28.945$$

$$F_{trat.} = CM_{trat}/CME = 5.322$$

$$F_{0,10(3,28)} = 4.568 **$$

$$F_{0,05(3,28)} = 2.947$$

## RESULTADOS

### PRUEBA T STUDENT

	B2 (13.100)	B3 (17.179)	B4 (22.425)
B1 (21.977)	**	ns	ns
B2 (13.100)		ns	**
B3 (17.179)			ns

**Tabla 009f: ANVA del contenido de carbono en la biomasa aérea y subterránea total (Mg C ha<sup>-1</sup>) .**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	4,947.242	1,649.081
ERROR	t(r-1)=28	26,677.708	952.775
TOTAL	(tr-1)=31	31,624.95	

$$Y_{prom} = 102.949$$

$$\%CV = \sqrt{CME / Y_{prom}} = 29.982$$

$$F_{trat.} = CM_{trat} / CME = 1.731$$

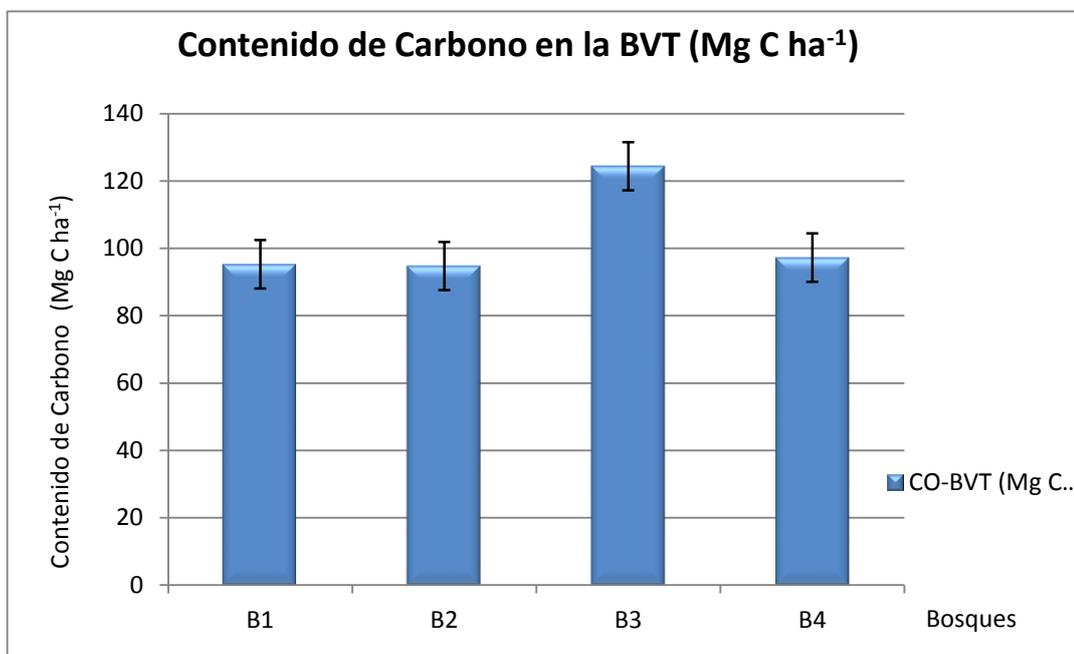
$$F_{0,10(3,28)} = 4.568$$

$$F_{0,05(3,28)} = 2.947 \text{ ns}$$

### PRUEBA T STUDENT

	B2 (94.788)	B3 (124.425)	B4 (97.277)
B1 (95.305)	ns	ns	ns
B2 (94.788)		ns	ns
B3 (124.425)			ns

**Gráfico 002: Contenido de carbono en la biomasa vegetal total (Mg C ha<sup>-1</sup>) en los cuatro bosques forestales evaluados.**



B1= Bosques *Eucalytus globulus* - Catac; B2: Bosque de *Pinus radiatus* – Catac; Bosque *Pinus radiatus* – Huaraz; B4: Bosque *Eucalytus globulus* – Marcará.

**Tabla 009g: ANVA del contenido del COS (Mg C ha<sup>-1</sup>) .**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	33,887.305	11,295.768
ERROR	t(r-1)=28	52,650.741	1,880.384
TOTAL	(tr-1)=31	86,538.046	

$$Y_{prom} = 108.628$$

$$\%CV = \sqrt{CME/Y_{prom}} = 39.919$$

$$F_{trat.} = CM_{trat}/CME = 6.007$$

$$F_{0,10(3,28)} = 4.568 **$$

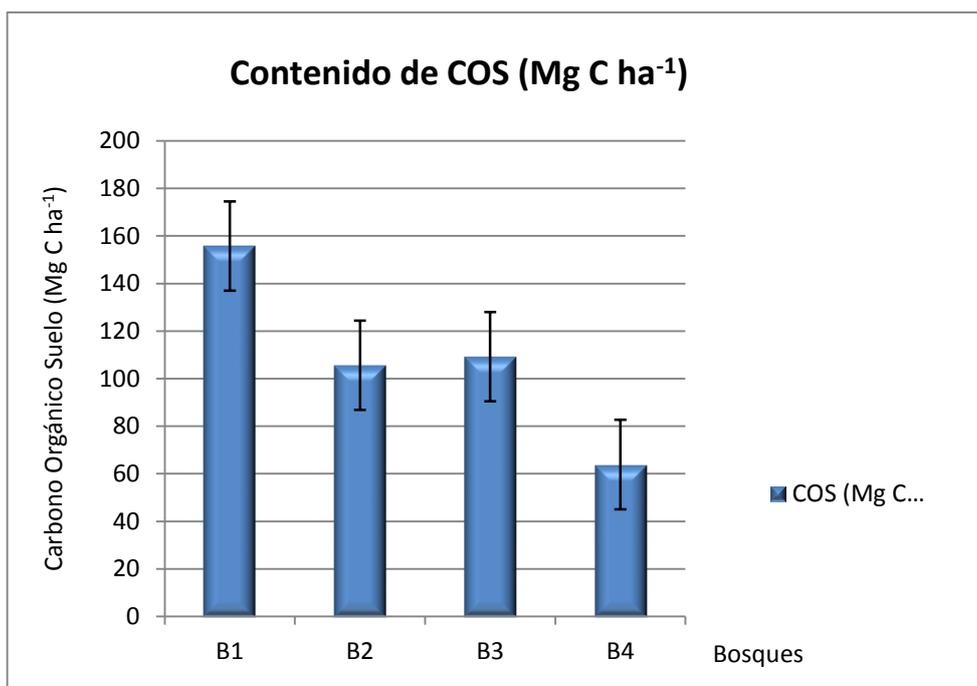
$$F_{0,05(3,28)} = 2.947$$

# RESULTADOS

## PRUEBA T STUDENT

	B2 (105.600)	B3 (109.276)	B4 (63.864)
B1 (155.771)	*	ns	**
B2 (105.600)		ns	ns
B3 (109.276)			*

**Gráfico 003: Contenido de COS (Mg C ha<sup>-1</sup>) en los cuatro bosques forestales evaluados**



B1= Bosques *Eucalytus globulus* - Catac; B2: Bosque de *Pinus radiatus* – Catac; Bosque *Pinus radiatus* – Huaraz; B4: Bosque *Eucalytus globulus* – Marcará.

# RESULTADOS

Tabla 009h: ANVA del contenido de carbono en el Sistema Usos de la Tierra (SUT) ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ).

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	37,749.332	12,583.111
ERROR	t(r-1)=28	69,729.613	2,490.3443
TOTAL	(tr-1)=31	107,478.946	

$$Y_{\text{prom}} = 211.586$$

$$\%CV = \sqrt{CME/Y_{\text{prom}}} = 23.586$$

$$F_{\text{trat.}} = CM_{\text{trat}}/CME = 5.053$$

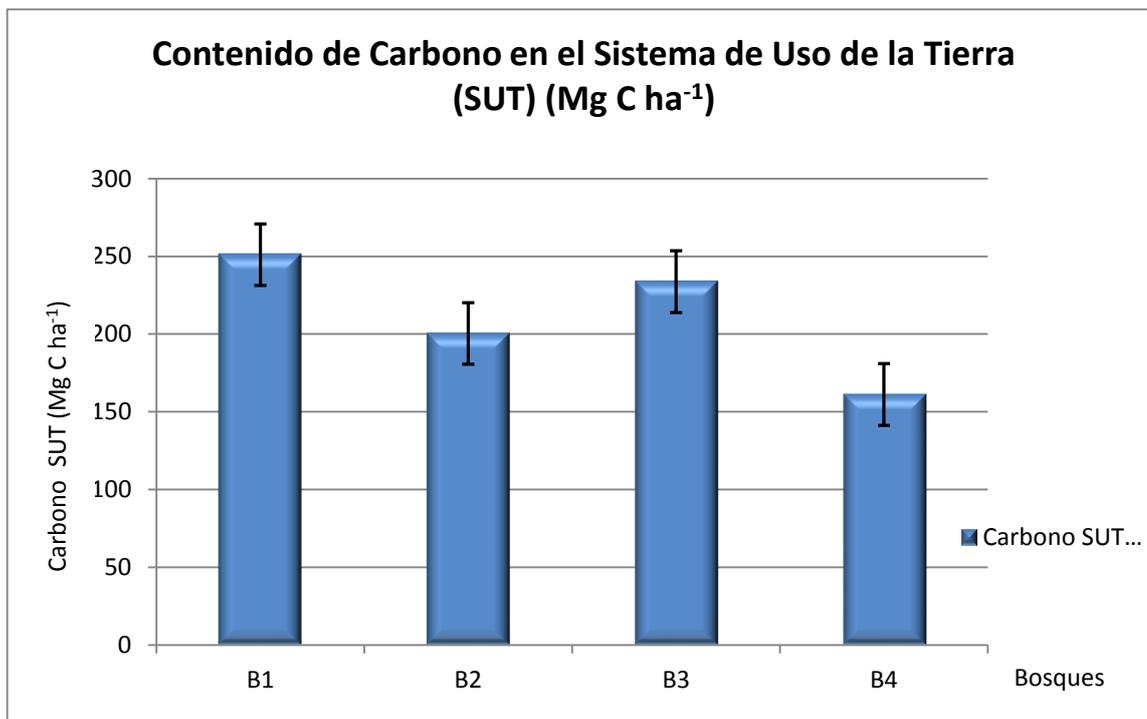
$$F_{0,10(3,28)} = 4.568 **$$

$$F_{0,05(3,28)} = 2.947$$

## PRUEBA T STUDENT

	B2 (200.388)	B3 (233.701)	B4 (161.140)
B1 (251.076)	ns	**	ns
B2 (200.388)		*	ns
B3 (233.701)			**

**Gráfico 004: Contenido de carbono en el Sistema Uso de la Tierra (Mg C ha<sup>-1</sup>) en los cuatro bosques forestales evaluados.**



B1= Bosques *Eucalytus globulus* - Catac; B2: Bosque de *Pinus radiatus* – Catac; Bosque *Pinus radiatus* – Huaraz; B4: Bosque *Eucalytus globulus* – Marcará.

## 2.3.- FLUJO DE CARBONO

2.3.1.- Cálculo estimativo del contenido de carbono a partir de la hojarasca (mantillo) en el SUT al segundo año ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ).

Tabla 010A: Estimación del contenido de carbono a partir de la biomasa de hojarasca (mantillo) registrada en el 2do. año en el SUT en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac – Recuay – Ancash).

Contenido de Carbono en e SUT ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ )									
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T19 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	0.005	0.005	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.006	
Sub total		0.010		0.010		0.010		0.012	
Total								0.042	

Tabla 010B: Estimación del contenido de carbono a partir de la biomasa de hojarasca (mantillo) registrada en el 2do. año en el SUT en el bosque de *Pinus radiatus* (Catac – Recuay – Ancash).

Contenido de Carbono en el SUT ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ )									
	T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T17 (PARCELA)		T8 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	0.024	0.027	0.027	0.029	0.034	0.032	0.038	0.063	
Sub total		0.051		0.056		0.066		0.101	
Total								0.274	

**Tabla 010C: Estimación del contenido de carbono a partir de la biomasa de hojarasca (mantillo) registrada en el 2do. año en el SUT en el bosque de *Pinus radiatus* (Huaraz - Huaraz – Ancash).**

Contenido de Carbono en el SUT (Mg C ha <sup>-1</sup> )									
	T3 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T10 (PARCELA)		T12 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	Sub P. I	Sub P. II	
Parcial	0.025	0.023	0.029	0.028	0.029	0.026	0.020	0.025	
Sub total		0.048		0.057		0.055		0.045	
Total								0.205	

**Tabla 010D: Contenido de carbono a partir de la biomasa de hojarasca (mantillo) registrada en el 2do. año en el SUT en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Marcará- Carhuaz – Ancash).**

Contenido de Carbono en el SUT (Mg C ha <sup>-1</sup> )									
	T1 (PARCELA)		T2 (PARCELA)		T4 (PARCELA)		T7 (PARCELA)		
	Sub P. I	Sub P. II							
Parcial	0.059	0.060	0.071	0.053	0.061	0.067	0.081	0.058	
Sub Total		0.119		0.124		0.128		0.139	
Total								0.510	

## RESULTADOS

**Tabla 0011a: ANVA del contenido de carbono en la horasca (mantillo) (Mg C ha<sup>-1</sup>).**

FV	GL	SC	CM
TRAT (Bosques)	(t-1) =3	0.0142	0.00473136
ERROR	t(r-1)=28	0.0017	0.00000609
TOTAL	(tr-1)=31	0.0159	

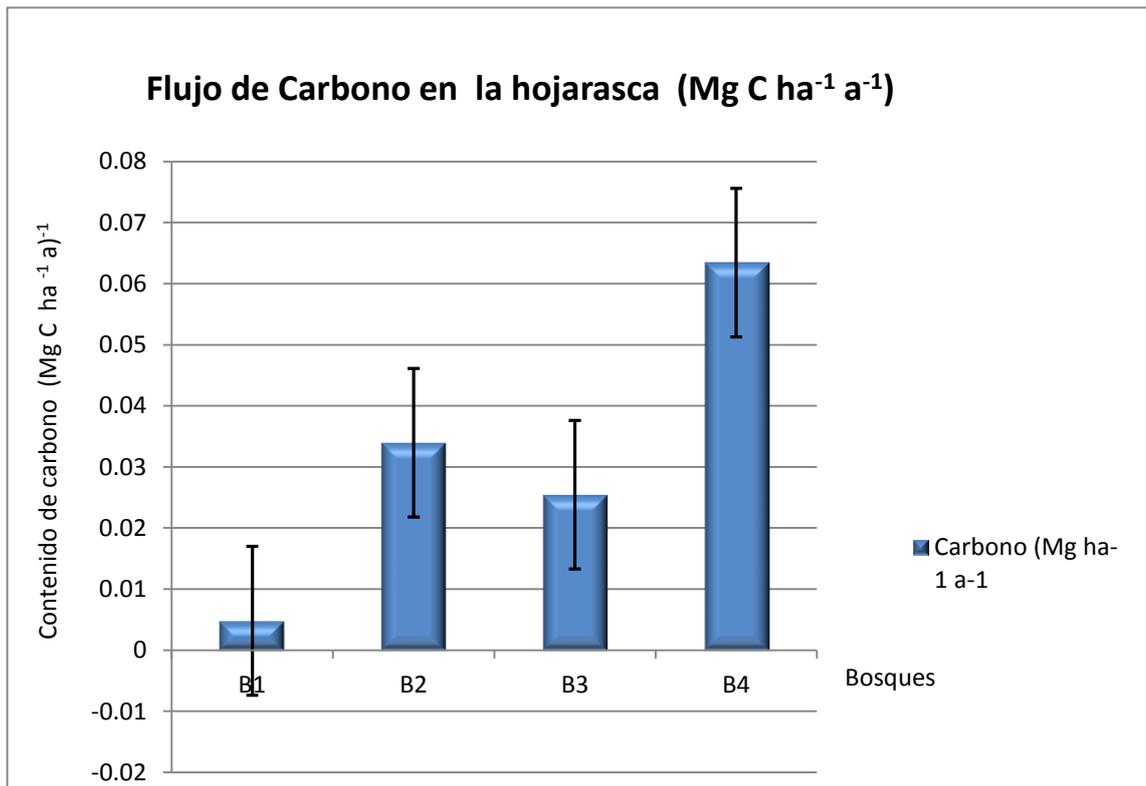
$$\begin{aligned} Y_{\text{prom}} &= 0.0319 \\ \%CV &= \sqrt{CME/Y_{\text{prom}}} = 24.4545 \\ F_{\text{trat.}} &= CM_{\text{trat}}/CME = 77.7169 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{0,10(3,28)} &= 4.568^{**} \\ F_{0,05(3,28)} &= 2.947 \end{aligned}$$

### PRUEBA T STUDENT

	B2 (0.033937)	B3 (0.025437)	B4 (0.06437)
B1 (0.004813)	**	**	**
B2 (0.033937)		*	**
B3 (0.025437)			**

**Gráfico 005: Desviación estándar del total de muestras de cuatro bosques forestales distintos, correspondiente al flujo de carbono en la hojarasca (mantillo) en el 2do año ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ).**



B1= Bosque de *Eucalytus globulus* - Catac; B2: Bosque de *Pinus radiatus* – Catac; Bosque *Pinus radiatus* – Huaraz; B4: Bosque *Eucalytus globulus* – Marcará.

### 3.- DETERMINACION DE LA *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) Y SU RELACION CON LA BIOMASA FORESTAL PRODUCIDA, BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS CLIMATICO E HIDRICO.

Luego del procesamiento minucioso y detallado de las escenas de imágenes de satélite de la plataforma *LandSat 7ETM*; son cortes de escenas de 0.970 km<sup>2</sup>, con las bandas espectrales (banda 3: rojo y banda 4: infrarojo cercano) necesarias para la determinación del NDVI; en consecuencia, se analizaron tres escenas de corte a los cuales se les asignó once (11) categorías al universo de pixel de cada escena, con valores de NDVI, entre: 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4, 0,4-0,5, 0,5-0,6, 0,6-0,7, 0,7-0,8, 0,8-0,9 y, 0,9-1,0 (Anexo A-2, ndvi); a estos valores se les hizo una clasificación supervisada, sobre los criterios siguientes: a) Suelos desnudos (zona1) – rango: 0,0<ndvi<0,2, b) vegetación dispersa poco vigorosa (zona2) - rango: 0,2<ndvi<0,4, c) vegetación abundante y vigorosa (zona3) – rango: 0,4<ndvi<0,6 y, d) vegetación muy densa y vigorosa (zona4) -rango: ndvi>6. Finalmente, se agruparon las superficies en sus correspondientes categorías digitales y se extrapoló en toda la amplitud de las escenas de corte; obteniéndolos siguientes resultados:

**Tabla 0012: Agrupación de pixeles por categorías digitales en la primera escena de corte correspondiente a los bosques de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* (Catac).**

	Categorías Digitales			
	V_mdv	V_av	V_dpv	S_d
	9.897	17.439	16.768	6.384
	4.895	14.034	17.028	8.857
	2.351			12.694
	739			
<b>PARCIAL</b>	<b>17.882</b>	<b>31.473</b>	<b>33.976</b>	<b>27.935</b>
<b>TOTAL</b>				<b>111.086</b>

## RESULTADOS

**Vmdv:** Vegetación muy densa y vigorosa, **Vav:** Vegetación abundante y vigorosa,  
**Vd:** Vegetación dispersa y poco vigorosa, **Sd:** Suelo desnudo.

**Tabla 0013: Agrupación de pixeles por categorías digitales en la segunda escena de corte correspondiente al bosque de *Pinus radiata* (Huaraz).**

Categorías Digitales				
	V_mdv	V_av	V_dpv	S_d
	14.333	16.734	12.559	6.459
	10.453	14.910	15.386	4.340
	5.397			7.981
	2.511			
<b>PARCIAL</b>	<b>32.694</b>	<b>31.644</b>	<b>27.945</b>	<b>18.780</b>
<b>TOTAL</b>				<b>111.063</b>

**Vmdv:** Vegetación muy densa y vigorosa, **Vav:** Vegetación abundante y vigorosa,  
**Vd:** Vegetación dispersa y poco vigorosa, **Sd:** Suelo desnudo.

**Tabla 0013: Agrupación de pixeles por categorías digitales en la tercera escena de corte correspondiente al bosque de *Pinus radiata* (Marcará).**

Categorías Digitales				
	V_mdv	V_av	V_dpv	S_d
	16.409	19.400	11.757	2.892
	10.382	17.837	16.131	2.325
	4.853			6.304
	2.538			
<b>PARCIAL</b>	<b>34.182</b>	<b>37.237</b>	<b>27.888</b>	<b>11.521</b>
<b>TOTAL</b>				<b>110.828</b>

**Vmdv:** Vegetación muy densa y vigorosa, **Vav:** Vegetación abundante y vigorosa,  
**Vd:** Vegetación dispersa y poco vigorosa, **Sd:** Suelo desnudo.

Primera escena de corte (Anexo A-2, zonas), comprende los bosques forestales de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*, ambos ubicados en la localidad de Catac, escena conformada por un total de 111.086 pixeles, distribuidos: 28.025 pixeles (Suelo Desnudo), 33,796 pixeles (Vegetación Dispersa y Poco Vigorosa), 31.473 pixeles (vegetación abundante y vigorosa), 17.772 pixeles (Vegetación Muy Densa y Vigorosa - bosques forestales); la superficie total del bosque de *Eucalyptus globulus* fue de 303.879 m<sup>2</sup> y compromete a 337,64 pixeles (100%), de éste último el 78% (263,36 pixeles) y 22% (74,28 pixeles) corresponden a la categorías Vegetación Muy Densa y Vigorosa (bosque forestal) y Vegetación Abundante y Vigorosa respectivamente; mientras que el bosque de *P. radiata* tuvo una superficie de 18.177,09 m<sup>2</sup> y compromete 20,20 pixeles (100%); de este 99% (20 pixeles) corresponde a la categoría Vegetación Muy Densa y Vigorosa y el 1% (0.20 pixeles) a la categoría Vegetación Abundante y Vigorosa.

Segunda escena de corte (Anexo A-2, zonas), comprende el bosque forestal de *P. radiata* ubicado en la periferia de la ciudad de Huaraz, escena conformada por un total de 111.063 pixeles, distribuidos: 18.780 pixeles (Suelo Desnudo), 27.945 pixeles (Vegetación Dispersa y Poco Vigorosa), 31.644 pixeles (vegetación abundante y vigorosa), 32.694 pixeles (Vegetación Muy Densa y Vigorosa – bosque forestal); la superficie total del bosque de *P. radiata* fue de 164.545 m<sup>2</sup> y compromete a 182,83 pixeles (100%), de éste último el 58% (106.04 pixeles), 26% (47,53 pixeles), 12% (21,95 pixeles) y, 4% (7.31 pixeles) corresponden a las categorías Vegetación Muy Densa y Vigorosa (bosque forestal), Vegetación Abundante y Vigorosa, Vegetación Dispersa y Poco Vigorosa y, Suelo Desnudo respectivamente.

Tercera escena de corte (Anexo A-2, zonas), comprende el bosque forestal de *E. globulus* ubicado en la localidad de Marcará, escena que está conformada por un total de 110.828 pixeles, distribuidos: 11.521 pixeles (Suelo Desnudo), 27.888 pixeles (Vegetación Dispersa y Poco Vigorosa), 27.237 pixeles (vegetación abundante y vigorosa-bosque forestal), 34.182 pixeles (Vegetación Muy Densa y Vigorosa); el bosque forestal de *E. globulus* tuvo una superficie total de 20.810.48 m<sup>2</sup> y comprometió 23,12 pixeles (100%), de éste último el 67% (15,49 pixeles) y

33% (7,63 píxeles) corresponden a las categorías Vegetación Muy Densa y Vigorosa y Vegetación Abundante y Vigorosa, respectivamente.

De las respuestas encontradas en valores de NDVI y su relación con la poca vigorosidad y baja cantidad biomasa producida en los bosques forestales evaluados por efecto del estrés climático e hídrico, se puede deducir que la topografía del terreno, influye directamente en las características físicas, químicas y biológicas de los suelos (ver el análisis de suelo en el Anexo A-1), y ello, incide en la capacidad productiva del ecosistema; llegando a tener un mosaico grande de colores (píxeles) en la escena gráfica evaluada con sus correspondientes de valores de NDVI para los bosques de *E. globulus* (Cátac) y *P. radiata* (Huaraz), siendo éste último el más crítico; así mismo, se observa que los mejores valores de NDVI ( $0,4 < \text{ndvi} < 0,6$ ) con un 99%, corresponden al bosque de *Pinus radiata* (Cátac) y a la categoría Vegetación Muy Densa y Vigorosa.

La data obtenida a través del procesamiento digital de imágenes de satélite significa un conglomerado de píxeles debidamente clasificados con la finalidad de conocer el estado biofísico de la vegetación en un periodo de tiempo determinado en condiciones de estrés climático e hídrico y su repercusión en términos de cantidad producida de biomasa forestal y contenido de C; estos resultado serán útiles para estimar los parámetros medibles antes mencionados en escenarios forestales similares más amplios en la zona.



## DISCUSIÓN

## DISCUSSION

### 1.- ALMACENAJE DEL CARBONO

Los mayores valores de biomasa aérea estimada en términos de materia seca (compuesta por el tejido leñoso de la vegetación arbórea y material herbáceo), fueron **238,32** y **181,53**, correspondientes al bosque de *P. radiata* (Huaraz) y *P. radiata* (Catac). Sólo el primer valor, 238.32 Mg MS ha<sup>-1</sup>, es el único que supera el límite inferior del rango de biomasa de los bosques tropicales húmedos (de 200 a 500 Mg MS ha<sup>-1</sup>), pero menor al valor que representa para la Amazonía Brasileña (298 Mg MS ha<sup>-1</sup>; Menéndez et al., 2005).

Los contenidos de carbono almacenado en la biomasa aérea total (comprende el material arbóreo, arbustivo y herbáceo) más relevante de los bosques forestales evaluados en el Callejón de los Conchucos, parte alta y media de la cuenca del río Santa, fueron de **81,69** y **107,25 Mg C ha<sup>-1</sup>**, cantidades que corresponden a *P. radiata*, ubicado en la localidad de Catac, *P. radiata* en Huaraz.

El Análisis de Varianza (ANVA) (Tabla 009d) practicadas a este componente refleja significación estadística en la prueba F; mientras que la única diferencia significativa entre sus medias se presenta entre el bosque de *P. radiata* ubicado en la periferia de la ciudad de Huaraz y el bosque de *E. globulus* ubicado en la localidad de Marcará, a 30 km con dirección Norte respecto al primero (Anexo A-4, U-1).

Con respecto al contenido de carbono en la biomasa subterránea total (comprende las raíces de árboles, arbustos y hierbas) más representativo, fueron **21,98** y **22,43 Mg C ha<sup>-1</sup>** correspondiendo a los bosques *E. globulus* en Catac y Marcará; del análisis estadístico ANVA (Tabla 009e) para este componente, refleja una alta significación estadística para la prueba F, en tanto las diferencias significativas a nivel de medias se encuentran entre los bosques: a) *E. globulus* y *P. radiata* (ambos ubicados en la localidad de Catac); y b) *P. radiata* ubicado en la localidad de Catac y *E. globulus* ubicado en la localidad de Marcará; sin embargo, el contenido de carbono en la

## DISCUSION

biomasa vegetal total con el ANVA (Tabla 009f) no da significación estadística, evidenciando que no existen diferencias entre los bosques evaluados en términos de contenido de carbono en la biomasa vegetal total; este último efecto probablemente se haya dado como resultado de la compensación total entre la biomasa aérea total y la biomasa subterránea; es decir, son compartimentos similares, pero uno acumula en la parte aérea (más aprovechable y otro) y otro en la parte subterránea (menos productivo económicamente).

La respuestas estadísticas encontradas en el componente contenido de carbono en la biomasa vegetal total es similar a la respuesta encontrada en el componente biomasa vegetal total; debido a la aplicación de factor de conversión 0,45 al peso seco de la biomasa vegetal total ( $\text{Mg MS ha}^{-1}$ ) (comprende parte aérea y subterránea de arboles, arbustos y hierbas) para llevarlas a equivalencias de carbono (Ricse *et al.*, 2001, Arévalo *et al.*, 2003).

El carbono orgánico en el suelo (COS) fijado más relevante en los cuatro bosques forestales evaluados, a una profundidad de -0,50 m, fue de **155,77 y 109,28  $\text{Mg C ha}^{-1}$**  correspondiendo a los bosques de *E. globulus* (Catac) y *P. radiata* (Huaraz). El ANVA (Tabla 009g) muestra una respuesta altamente significativa a nivel de la prueba de F; las diferencias altamente significativas mostradas en los contenidos medios de COS se encuentran entre los bosques: a) *E. globulus* ubicados en las localidades de Catac y Marcará, b) *E. globulus* y *P. radiata*, ambas ubicadas en la localidad de Catac y, c) *P. radiatus* y *E. globulus* ubicadas en la periferia de la ciudad de Huaraz y la localidad de Marcará, respectivamente.

A partir de las evidencias encontradas en los bosque forestales evaluados, entre cotas altitudinales de 3650 a 2820 m s.n.m., se puede aseverar que probablemente que los factores entre ellos la altitud, la vegetación y las bajas temperaturas asociadas a la precipitación pluvial el sitio estén definiendo el comportamiento del COS en las plantaciones forestales. Jenny *et al.* (1949) indicaron que los contenidos de MOS y nitrógeno en los suelos

## DISCUSION

son determinados, en primera instancia, por el clima y la vegetación, pero que también interactúan otros factores locales como el relieve, el material parental, el tipo y duración de la explotación de los suelos y, algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas. Amezcuita *et al.* (2006) sugiere que en las laderas andinas de Colombia los sitios (bosque primario, bosque de 40 y 15 años) ubicados a mayor altitud, menor temperatura, alta pendiente y suelos relativamente fértiles, el bosque muestra los mayores niveles de COS. García *et al.* (2006) compararon reservas de carbono dentro de tres ecosistemas forestales de España y América Latina, entre ellas, un bosque tropical caducifolio en México, un bosque tropical en Cuba y un bosque templado en España; los resultados señalan que el bosque tropical cubano tuvo el más alto contenido de carbono ( $190 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) con un 63% en la biomasa aérea; el bosque templado español se encontró ( $150 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) con un 75 % del contenido total de carbono en el suelo; por último, el bosque de tropical caducifolio en México tuvo el contenido de COS más bajo. El contenido secuestrado de COS puede ser entre uno a cuatro veces el contenido de C en la biota (Woodwell *et al.*, 1978, citado por Barranco, 2002).

Del análisis y caracterización de suelos (Anexo A-1) en los bosques forestales evaluados se ha dejado en claro que la mayor concentración del COS se encuentra en los primeros -0,25 m de profundidad del suelo; encontrándose el 67.5 %, 59.5 %, 67.6 % y 57 % de COS en los bosques forestales de *E. globulus* (Catac), *P. radiata* (Catac), *P. radiata* (Huaraz) y *E. globulus* (Marcará), respectivamente. Dichas fijaciones de COS a una profundidad de -0.50 m, se encuentran asociadas a clases texturales franco arenosa (fco A), franco, franco arcillosas y casos excepcionales franco arcilloso arenoso.

Se ha podido evidenciar, a partir, de los informes de análisis de suelos (Anexo A-1) que dentro de los primeros -0,25 m de profundidad impera la clase textural franco arenoso en todos los escenarios forestales estudiados.

## DISCUSION

El contenido de MOS es muy variable, encontrándose desde trazas en suelos desérticos y en suelos turbosos entre 90-95% (Fassbender y Bornemisza, 1994). El horizonte A de los suelos con potencial agrícola, por lo general, presentan valores entre 0,1 y 10% de materia orgánica, cuyo contenido decrece con la profundidad del perfil del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Ricse *et al.* (2001) señalaron que la textura del perfil del suelo variará directamente en función de la profundidad; este hecho concreto se refleja con claridad en los contenidos de COS encontrados en los suelos de los bosques evaluados a profundidad de -0,25 y -0,50 m, donde la textura de los suelos evaluados varian desde franco arenosa (a -0,25 m de profundidad) a franco y franco arcilloso (a -0,50 m de profundidad).

Del análisis de suelos (Anexo A-1) el parámetro físico densidad aparente se puede evidenciar que en los primeros -0,25 m de profundidad las densidades aparentes son menores en relación a las densidades aparentes a una profundidad de -0,50 m, con valores medios de  $1,05 \text{ g cm}^{-3}$  (-0,25 m) y  $1,12 \text{ g cm}^{-3}$  (-0,50 m) para el bosque de *E. globulus* ubicado en la localidad de Catac,  $1,10 \text{ g cm}^{-3}$  (-0,25 m) y  $1,05 \text{ g cm}^{-3}$  (-0,50 m) para el bosque de *P. radiata* ubicado en la localidad de Catac,  $1,05 \text{ g cm}^{-3}$  (-0,25m) y  $1,11 \text{ g cm}^{-3}$  (-0,50 m) para el bosque de *P. radiata* ubicado en la periferia de la ciudad de Huaraz y  $0,97 \text{ g cm}^{-3}$  (-0.25 m) y  $0,99 \text{ g cm}^{-3}$  (-0.50 m) para el bosque de *E. globulus* ubicado en la localidad de Marcará; estos datos permiten advertir que las diferencias entre ambos horizontes de evaluación (0,00 a -0,25 m y -0,25 a -0,50 m) en los cuatro bosques evaluados la diferencia promedio de la densidad aparente es de  $0.05 \text{ g cm}^{-3}$ ; así mismo se observa que el bosque de *P. radiata* ubicado en la localidad de Catac no obedece el patrón de comportamiento; es decir, que el segundo horizonte de evaluación sea más compacto o denso respecto al primero; probablemente este efecto sea consecuencia de las prácticas propias de manejo.

## DISCUSION

Considerando los análisis de caracterización (calicatas) realizado por la UNALM (Anexo A-1) se pueden determinar los valores de porcentaje de saturación de acidez de cambio, en base a la sumatoria de cationes, que sería igual a la Capacidad de Intercambio Catiónico al pH de la muestra de suelo. Mediante estas determinaciones se pueden observar los valores de la ionización que presentan los suelos. Se debe considerar que la acidez del suelo determinadas por la presencia de hidrógenos y aluminio pueden provenir de la acumulación de la MOS o de la liberación de aluminio por efecto de la destrucción de la sustitución isomórfica; en este último caso se encuentra relacionado con pH inferior a 5.0, lo que determina la presencia de arcillas del tipo 1:1 en diferentes proporciones. La acidez puede ser originada por acción del exceso de lluvias, principalmente siendo favorecido por la temperatura que interviene en la velocidad de las reacciones; ello lleva a pensar que la acidez del suelo originada en los suelos del trópico húmedo presentarían mayor concentración de aluminio que la presentada por los suelos de clima templado condicionaría que en el primer caso la predominancia sería del tipo 1:1, mientras que en el segundo caso se trataría de arcillas del tipo 2:1. Así, por ejemplo los suelos del ámbito Catac (ONERN, 1970) son clasificados dentro de los *Inceptisoles* y tienen predominancia los minerales como la illita y montmorrillonita, la primera con alta afinidad en la fijación de potasio y amonio (Roger, 1956; Bornemisza, 1969); y la segunda con la retención de calcio; mientras que los suelos del ámbito de Huaraz y Marcará están clasificados dentro de los *Entisoles* (ONERN, 1970) y tienen predominancia por el mineral denominado vermiculita (Cordero y Ramírez, 1979). Estas características determinadas por los coloides inorgánicos son reforzadas por el coloide orgánico (o humus) presente en los suelos y que se acumula en las zonas de elevada altitud, pues la temperatura se reduce (0,6° C por cada 100m de altitud); ello limita la presencia activa de microorganismos que degradan los residuos vegetales y las sustancias húmicas. El contenido de humus puede verse afectado por pérdida por

## DISCUSION

erosión hídrica, pues en las zonas evaluadas el relieve es variable, observándose zonas de fuerte pendiente.

Con relación al carbono total almacenado en el Sistema de Uso de la Tierra (SUT) en cada uno de los bosques forestales evaluados se tuvo registros de **251,08, 200,39, 233,70 y, 161,14 Mg C ha<sup>-1</sup>** correspondiendo a los bosques de *E. globulus* y *P. radiata* ubicados en la localidad de Catac, *P. radiata* ubicado en la periferia de la ciudad de Huaraz y *E. globulus* en localidad de Marcará. El ANVA (Tabla 009h) aplicada a este componente reflejan alta significación estadística en la prueba de F, en la prueba de comparación de medias las diferencias altamente significativas se encuentran entre los bosques a) *E. globulus* y *P. radiata* ubicados en la localidad de Catac y Huaraz repectivamente y, b) *P. radiata* y *E. globulus* ubicados en la localidad de Huaraz y Marcará respectivamente; mientras que las diferencias significativas se encuentran entre los bosques de *P. radiata* ubicados en la localidad de Catac y Huaraz. Es conocido que el comportamiento del suelo puede almacenar más de tres veces el equivalente del carbono en la vegetación y, además, de la forma más estable (Stevenson, 1986); las correspondencias en relación a los porcentajes de carbono fijado en el suelo fueron de 62,0 %, 53.0 %, 46.8 % y 39.3 % para los bosques de *E. globulus* y *P. radiata* ambos ubicados en la localidad de Catac, el bosque de *P. radiata* ubicado en la periferia de la ciudad de Huaraz y el bosque de *E. globulus* ubicados en la localidad de Marcará respectivamente. El secuestro de carbono puede afectar el balance de carbono como de otros bioelementos como el N (Schimel, 1998; Oren K *et al.*, 2001) y controlar el CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Gallardo y González, 2005). Los bosques tropicales ejercen una gran influencia en el ciclo global del carbono, cubren aproximadamente el 10% de la biosfera terrestre y contribuyen con un 35% en la producción primaria neta y al carbono almacenado en plantas más suelo (Sabine *et al.*, 2004).

### 2.- FLUJO DEL CARBONO

Las cantidades de carbono más relevantes que ingresan al ecosistema forestal al segundo año, mediante la incorporación de hojarasca, fueron: **64** y **34 g C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>** para los bosques de *E. globulus* (Marcará) y *P. radiata* (Catac). El ANVA (Tabla 0011a), refleja una alta significación estadística en la prueba de F; en la prueba de comparación de medias se observa alta significación entre los bosques: a) *E. globulus* y *P. radiatus*, ambos ubicados en la localidad de Catac, b) *E. globulus* y *P. radiatus*, ubicados en la localidad de Catac y Huaraz respectivamente, c) *E. globulus*, ubicados en la localidad Catac y Marcará, d) *P. radiatus* y *E. globulus*, ubicados en la localidad de Catac y Marcará respectivamente, e) *P. radiata* y *E. globulus*, ubicados en la perifeiria de la ciudad de Huaraz y la localidad de Marcará respectivamente. Considerando las formaciones ecológicas bosque húmedo montano bajo y bosque espinoso montano bajo, escenarios naturales donde se encuentran los bosques evaluados (unidades experimentales), corresponden a un clima húmedo y frío para los bosques de *E. globulus* (Catac) y *P. radiata* (Catac y Huaraz) y un clima semiárido y templado para el bosque de *E. globulus* (Marcará); por lo tanto, bajo estas condiciones climáticas, entre los meses de junio, julio y agosto pueden haber temperaturas muy frías, que pueden llegar a bajo cero por las noches (ONERN, 1973); es de suponer que las plantaciones forestales en esta época del año entran en estrés climático e hídrico, reduciendo la respiración y la producción de biomasa (entre ellas la hojarasca) y, por lo tanto, se reduce significativamente la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (balance positivo); así mismo, se supone una reducción significativa en la producción y la descomposición de la hojarasca en mantillo, por una baja sustancial de la actividad microbiana; en consecuencia, la mayor producción de biomasa en los cuatro bosques forestales evaluados se efectúa entre los meses de septiembre y mayo.

### 3.- GESTION DE LOS SITIOS COMO SUMIDEROS DE CARBONO

Más allá de la estimación del carbono presente en los ecosistemas forestales y la precisión en la cuantificación de sus flujos interesa la forma de manejo de los suelos, lo que supone que toda actividad productiva que se deseara implementar en un marco de desarrollo sostenible debe ser compatible, en primer término, con la aptitud natural de los suelos y el propio ecosistema original, teniendo la certeza y posibilidad de constituir un sumidero neto de carbono. Desde el enfoque de manejo bosques para proyectos de reforestación se ha estimado que el promedio de captura de carbono es de  $120 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y para los proyectos de manejo de bosques el promedio es de  $88 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Brown *et al.*, 1997). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos, pues contienen cerca del 40 % del total de carbono, siendo de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques (Díaz, 2006). Perú podría lograr que los ecosistemas forestales pasaran de ser una fuente neta a un reservorio neto de carbono, y así contribuir en la meta primordial de reducir significativamente las emisiones futuras de gases de efecto invernadero. Dentro del sector forestal la adecuada conservación y manejo de los bosques naturales, las alternativas para disminuir la deforestación, así como la reforestación de las tierras degradadas y deforestadas, y el fomento de los sistemas agroforestales son también acciones que al cumplir prioridades de conservación forestal, que también ayudan a mitigar las emisiones de GEI (Aguilar, 2004).

### 4.- DETERMINACION DEL NDVI Y SU RELACION CON LA CANTIDAD PRODUCIDA DE BIOMASA FORESTAL BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS CLIMÁTICO E HIDRICO.

Los valores de NDVI encontrados tras el procesamiento digital de las escenas (3 escenas de corte, Anexo A-2, zonas) de imágenes de satélite *LandSat 7ETM* en los cuatro bosques evaluados fueron: 78 % (263.36 pixeles) y 22 % (74.28

## DISCUSION

pixeles), que corresponden a las categorías Vegetación Muy Densa y Vigorosa (bosque forestal) y Vegetación Abundante y Vigorosa respectivamente, para el bosque de *E. globulus* (Catac); 99 % (20 pixeles) corresponde a la categoría Vegetación Muy Densa y Vigorosa y el 1 % (0.20 pixeles) a la categoría Vegetación Abundante y Vigorosa para el bosque de *P. radiata* (Catac); 58% (106.04 pixeles), 26 % (47.53 pixeles), 12 % (21.95 pixeles) y, 4 % (7.31 pixeles) corresponde a las categorías Vegetación Muy Densa y Vigorosa (bosque forestal), Vegetación Abundante y Vigorosa, Vegetación Dispersa y poco vigorosa y Suelo Desnudo, respectivamente, para el bosque de *P. radiata* (Huaraz); y finalmente, el 67 % (15.49 pixeles) y el 33 % (7.63 pixeles) corresponden a las categorías Vegetación Muy Densa y Vigorosa y Vegetación Abundante y Vigorosa respectivamente para el bosque de *E. globulus* (Marcará).

El mosaico e intensidad de colores visibles en los formatos digitales son el reflejo de valores de NDVI en sus correspondientes categorías (Anexo A-2, ndvi y zonas) y son consecuencia directa de la interacción de los componentes: fisiográfico, climático, geológico y edáfico (Fassbender y Bostemisz, 1994); las características físicas: a) topográfico (exposición de pendientes) y precipitación pluviométrica (lluvias) particularmente, interactúan negativamente ocasionando erosión hídrica, y con ello, el lavado de suelos; teniendo como efecto último, la pérdida de su capacidad productiva. Resultando vulnerables estas superficies forestales (áreas ubicadas en sobre gradientes pronunciadas de pendiente) al estrés de climático e hídrico todo el año (época de sequía y alta pluviosidad), los cuales se encuentran asociados a los valores de NDVI entre 0.2 y 0.4, correspondiendo a la categoría Vegetación Dispersa y Poco Vigorosa; observándose ampliamente en el bosque de *P. radiata* localizado en la periferie de la ciudad de Huaraz.

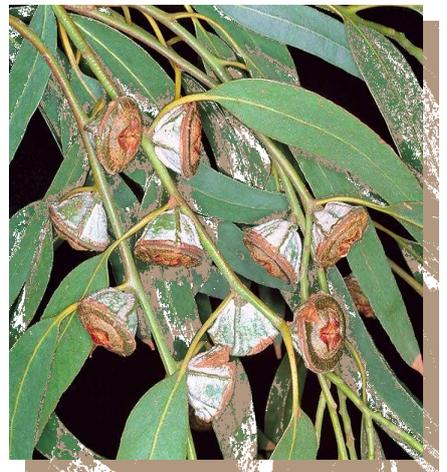
El procesamiento y análisis digital de las escenas de satélite en términos de NDVI, muestra el estado poco vigoroso de los bosques forestales evaluados

## DISCUSION

debido al “estrés climático e hídrico”, viéndose reflejados en los contenidos de clorofila, que ejercen una menor influencia en la reflectancia; ello explica la mayor reflectancia en la region rojo del espectro electro magnético Chuvieco, 2000).

Del análisis espectral se deduce que los valores de  $0.2 \leq NDVI \leq 0.4$  están asociados a espacios de suelos degradados, con pérdida en su capacidad productiva, lo que supone suelos sin materia orgánica, sin horizonte A, suelos de reacción fuertemente ácida, etc, debido a su ubicación en un superficies de fuertes pendientes y un ascentuado lavado suelos por alta precipitación pluvial; todo ello, se corroborará con la superposición de polígonos (con rangos de pendientes conocidas) cuyo análisis y caracterización de suelos se conocen (Anexo A-1).

El propósito de este procedimiento ha sido delimitar escenarios espaciales mayores (ámbitos distrital, provincial, departamental y nacional) y similares (en términos de especie forestal, densidad de la plantación, edad de plantación, manejo de la plantación, topografía, clima, etc) a través de la extrapolación de la data digital de estos escenarios de prueba “ecosistemas forestales”, y con ello, realizar cálculos estimativos de la biomasa forestal y contenidos de C.



**CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Se han obtenido resultados en términos cuantitativos de carbono en los componentes biomasa vegetal aérea, biomasa subterránea, biomasa vegetal total, cantidad de carbono orgánico en el suelo, carbono total en el Sistema de Uso de la Tierra, y finalmente, se determinó el NDVI y se relacionó con los contenidos de C de la biomasa forestal bajo condiciones de estrés climático e hídrico; conjunto de parámetros en sus respectivos componentes evaluados, permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

1.- Los mayores valores de biomasa aérea estimada, fueron **238,32, 181,53, 166,34 y 162,95 Mg MS ha<sup>-1</sup>** correspondiendo al bosque de *P. radiata* (Huaraz), bosque de *P. radiata* (Catac), bosque de *E. globulus* (Marcará) y bosque de *E. globulus* (Catac).

2.- El contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea total de los bosques forestales evaluados, fueron **73,33, 81,69, 107,25 y 74,85 Mg C ha<sup>-1</sup>**, cantidades que corresponden a los bosques de *E. globulus* y *P. radiata*, ambas ubicadas en la localidad de Catac, *P. radiata* en Huaraz y *E. globulus* en Marcará.

3.- El contenido de carbono en la biomasa subterránea total, fueron **21,98, 13,10, 17,18 y 22,43 Mg C ha<sup>-1</sup>**, para los bosques *E. globulus* y *P. radiata*, ambas ubicadas en la localidad de Catac, *P. radiata* en Huaraz y *E. globulus* en Marcará.

4.- El COS fijado a una profundidad entre 0-00 y -0.50 m, fueron **155,771, 105,60, 109,28 y 63,86 Mg C ha<sup>-1</sup>** correspondiendo a los bosques de *E. globulus* y *P. radiata* en la localidad de Catac, *P. radiata* en Huaraz y *E. globulus* en Marcará.

5.- Las correspondencias en relación a los porcentajes de carbono fijado en el suelo fueron **62,04 %, 52,98 %, 46,75 % y 39,33 %** para los bosques de *E. globulus* y *P. radiata* ambos ubicados en la localidad de Catac, *P. radiata* ubicado en la periferia de la ciudad de Huaraz y *E. globulus* ubicado en la localidad de Marcará.

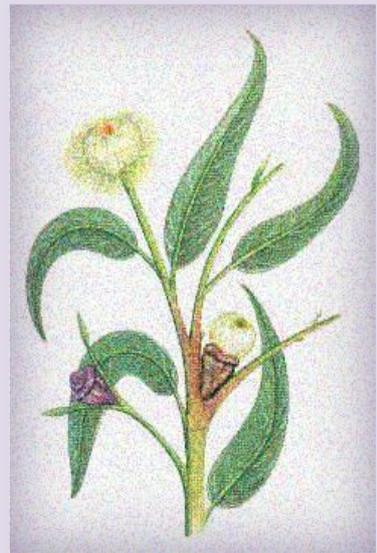
6.- El carbono total almacenado en los ecosistemas forestales estudiados, fueron **251,08, 200,39, 233,70 y 161,14 Mg C ha<sup>-1</sup>** correspondiendo a los bosques de *E.*

## CONCLUSIONES

*globulus* y *P. radiata* ubicados en la localidad de Catac, *P. radiata* ubicado en la periferia de la ciudad de Huaraz y *E. globulus* en localidad de Marcará.

7.- En términos de flujo de C, las cantidades de carbono que ingresan al ecosistema forestal al segundo año mediante la incorporación de hojarasca fueron **5, 34, 25 y 64 g C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>** para los bosques de *E. globulus* y *P. radiata*, ambos ubicados en la localidad de Catac, *P. radiata* en Huaraz y *E. globulus* en Marcará.

8.-. Valores de NDVI  $\geq 0,4$  no generan correspondencia asociada con la baja vigorosidad de la biomasa forestal presentada a consecuencia del efecto crítico del estrés climático e hídrico, por lo que debería considerarse estos valores como línea base para aquellos bosques forestales con poca alteración; corresponden a valores menores a lo anteriormente detallado los que están afectados a la degradación del ecosistema, y por lo tanto, una consecuente merma sustancial en la cantidad producida de biomasa y contenido de C.



## BIBLIOGRAFIA



1. ACOSTA, M.; K. QUEDNOW; J. ETCHEVERS Y C. MONREAL., 2001. Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Simposio llevado a cabo en Valdivia-Chile.
2. ACOSTA, M.; J. ETCHEVERS; C. MONREAL; K. QUEDNOW Y C. HIDALGO., 2001. Un método para la medición del carbono en compartimentos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Simposio llevado a cabo en Valdivia-Chile.
3. AGUILAR-ARIAS, H., ORTIZ-MALAVASSI, E., VÍLCHEZ-ALVARADO, B., Y CHAZDON, R. L. 2012. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosque en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22): 22–31
4. ALEGRE, J., AREVALO, L., RICSE, A. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. ICRAF/INIA. Perú. 90 Pp.
5. ALEGRE J., RICSE A., ARÉVALO L., BARBARÁN J. Y PALM C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU). Boletín informativo. 12: 8-9
6. AMEZQUITA, E. GALVIS, J., & MADERO, E. 2007. Evaluación del efecto de la intensidad de labranza en la formación de costra superficial de un oxisol de sabana en los llanos orientales de Colombia. Caracterización física en superficie. *Acta Agronómica* 56: 191-194
7. AMÉZQUITA COLLAZOS, LOZANO, J, LEMA, G, HYMAN, G, E., 2006. Mapeo del suelo a nivel de finca con métodos geoestadísticos: estudio de caso en el Valle del Cauca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali-Colombia. 120 Pp.

8. ARÉVALO L., ALEGRE J.C. & PALM C. 2003. Manual de reservas de carbono en diferentes Sistemas de uso de la tierra. INIA, Instituto Nacional de Investigación Agraria. 24Pp.
9. ARRHENIUS,S., 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. Philosophical Magazine 251,237-277.
10. ARSUAGA,J.L. MARTINEZ,I.,1998. La especie elegida La larga marcha de la evolución humana. Temas de Hoy. Madrid. 342Pp.
11. BAHR, H.P (editor) 1991. Procesamiento Digital de Imágenes: Aplicaciones en Fotogrametría y Teledetección. DEUTSCHE GESELLSCHAFT FUR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ).N° 222, 428 Pp.
12. BARRANCO G., J. L. 2002. Captura de carbono retrospectivo, actual y potencial en el área natural protegida estatal Nahuatlaca-Matlazinca en el Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 73Pp.
13. BATJES N.H. 1996. Total C and N in the soils of the world. Eur. J. Soil Sci., 47:151-163
14. BENAVIDEZ-CARDONA, A., 2007, Hidrogeoquímica de sistemas de flujo regional, intermedio y local resultado del marco geológico en la Mesa Central: reacciones, procesos y contaminación: México, D.F., México, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 252 Pp.
15. BRAVO, F.; FERNÁNDEZ NIETO, M. J.; BOGINO, S.; SEGUR, M.; BRAVO OVIEDO, A.; ORDÓNEZ, C. 2007 a. BOSQUES Y GESTIÓN FORESTAL; ¿UNA SOLUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO? In: BRAVO, F. 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural. Barcelona, España. 308Pp.
16. BRAVO, F.; DELGADO, J. A.; GALLARDO, J. F.; BRAVO-OVIEDO, A.; RUIZ-PEINADO, R.; MERINO, A.; MONTERO, G.; CÁMARA, A.; NAVARRO, R.; ORDÓNEZ, C.; CANGA, E. 2007b. Metodos para cuantificar la fijación de CO<sub>2</sub> En: BRAVO, F. (Coord). El papel de los

- bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural, Barcelona, España. 65-112Pp.
17. BRAVO, F. 2007c. CONCLUSIONES. In: BRAVO, F. 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural. Barcelona, España. 308Pp.
  18. BEER, J. ET AL., (2003). "Servicios ambientales de los sistemas agroforestales" *Agroforestería en las Américas*, 10:80. 37-38.
  19. BINDOFF, N., WILLEBRAND, J., ARTALE, V., CAZENAVE, A., GREGORY, J., GULEV, S., HANAWA, K., LE QUÉRÉ, C., LEVITUS, S., NOJIRI, Y., SHUM, C., TALLEY, L. and UNNIKRISHNAN, A. (2007) Observations: Proof 26 Oceanic climate change and sea level In SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M. and MILLER, H. L. (Eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK 385-431Pp.
  20. BINKLEY, D. 1993 *Nutrición Forestal, Prácticas de Manejo*, Editorial Limusa, Mexico D.F. Primera edición. 340 Pp
  21. BRICEÑO MÉNDEZ, MANUEL. 2001. *Las Foresterías del Nuevo Milenio*. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida. Venezuela. 60Pp.
  22. BROWN, S., MASERA, O., SATHAYE, J., 2000. Project-Based Activities. En: *Land Use, Land Use Change, and Forestry*, R. Watson et al (Editores), Cambridge University Press, New York.283-338Pp.
  23. BROWN, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. FAO Forestry Paper – 134, ISBN 92-5-103955-0, FAO, Roma. 45 Pp.
  24. BROWN, P., B. CABARLE Y R. LIVERNASH. 1997 "Carbon counts: estimating climate change mitigation in forestry projects". World Resources Institute, Washington, DC. 25 Pp.

25. CABRERA, G, C. 2003. Plantaciones Forestales. Oportunidades para el desarrollo sostenible. IARNA. Guatemala. 20 Pp.
26. CAIRNS, MA; BROWN, S; HELMER, EH; BAUMGARDNER, GA. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.
27. CARSON, D.J. 1996. Modeling climatic change: achievements and prospects. *Forest and Climate Commonwealth Forestry Review* 75(1): 12-18.
28. CAMPOS. J Y L. SANCHOLUZ. 1998. Biogeochemical impacts of submerging forest through large dams un the Rio Negro, Uruguay. *J. Environ. Manage.*, 54: 59-66.
29. CEBRIAN, JY C.M. DUARTE. 1996. Plant Growth- rate dependence of detrial carbon storage in ecosystems . *Science* 268: 1606-1608.
30. CHUVIECO, E., 2000. Fundamentos de la Teledetección Espacial. 3ra. Edi. revisada. Ed. Rialp S.S. Madrid. 568 Pp.
31. CIESLA, W.M. 1996. Cambio climático, bosque y ordenación forestal. Una visión de conjunto. FAO, Roma, Italia 115 Pp.
32. DEDIOS, N.J. 2009. Análisis Espacial del Comportamiento Fenológico de la Vegetación en la Cuenca del río Chira, Usando Imágenes de Alta Resolución Espectral. *Revista Peruana Geo Atmosférica* (1): 20 – 34.
33. DE BENITO MUÑOZ, A SOMBRERO SACRISTAN. 2008. Fijación del carbono en el suelo en agricultura de conservación. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Nº 151, 80-86 Pp.
34. DE BENITO, A. Y SOMBRERO, A. 2006. Changes in soil chemical properties under three tillage systems in a long term experiment. In: *Options Mediterranéennes, CIHEAM Zaragoza, Serie A Nº 69* 155- 159 Pp.
35. D'ANTONIO, CM & PM VITOUSEK. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 23: 63-87.

36. DE FELIPE, J.J., 2004. Posibles escenarios futuros mundiales de emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> y cumplimiento de los acuerdos de Kyoto. Tesis Doctoral Univerisitat Politecnica de Caralunya, Barcelona, 246 Pp.
37. DÍAZ L., M. 2006. Determinación de la cantidad de carbono en bosque de *Pinus pátula* Schl. et Cham, en la región de Tlaxco, Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco de Mora. México. 50 Pp.
38. DIXON, R.K., S. BROWN, R.A. HOUGHTON, A.M. SOLOMON, M.C. TREXLER, AND J. WISNIEWSKI. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263(5144):185-190.
39. DIXON, R.K. 1995. Agroforestry land-use change in industrialized nations: a case study from north-eastern Germany. *Agrofor. Syst.*, 31: 157-168.
40. FAO. 2000. Climate change and Forest state of the Worl Forest FAO Corporate Document. Roma. Italia. 50 Pp.
41. FAO. 2010. Sistematización de Experiencias de Manejo de Recursos Naturales para la Reducción de riesgos y Desastres en el Sector Agropecuario: Terrazas de Formación Lenta y Zanjas de Infiltración en las Comunidades de Cayuni, Sulllincunca y Ccarhuayo en Cuzco. TCP/RLA/3213. FAO. Roma Italia. 45 Pp.
42. FASSBENDER, H.W, BORNEMISZA, E. 1994. Ouímica de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. 1 ed. 3 reimpresión. IICA. San José de Costa Rica. 422 Pp.
43. FERNÁNDEZ, W., 1991. Cambios Climáticos: el calentamiento Global. *Tecnología en Marcha*. 11(2): 11-22.
44. FIGUEROA C. M. E. Y REDONDO G. S. 2007. Los sumideros naturales de CO<sub>2</sub>: Una estrategia sostenible entre el cambio climático y el protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial.

- Muñoz Moya editores extremeños y Universidad de Sevilla. Sevilla  
122 Pp.
45. GAMARRA J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en Junín, Perú. Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Simposio llevado a cabo en Valdivia-Chile. 22 Pp.
  46. GARCIA-OLIVA F. Y O.R. MASERA, 2004. Assessment and measurement issues related to soil carbon sequestration in landuse, lan-use change, and forestry (LULUCF) Projects under the Kyoto protocol. *Climatic Change* 65:347-364.
  47. GARCIA-OLIVA F.,G. HERNANDEZ Y J.F. GALLARDO L. 2006. Comparison of ecosystem C pools in three forest in Spain and Latin America. *Ann. For Sci.*, 63: 519-523.
  48. GALLARDO J.F Y A.MERINO.2007. El carbono y la dinámica de los sistemas forestales. En: Bravo. F. (Coord.). El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural, Barcelona. 43-64 Pp.
  49. GALLARDO J.F. Y M.I. GONZÁLEZ. 2005. Carbon sequestration in a Spanish chestnut coppice. *Acta Hort.*, 609: 201-207.
  50. GÓMEZ D., J.D. 2008. Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la reserva de la biósfera "Sierra de Huautla", Morelos, México. Tesis doctorado. Universidad Autónoma Chapingo.- Texcoco, México. 90 Pp.
  51. GUÍA PARA LA INSTALACIÓN Y MANEJO DE PLANTACIONES FORESTALES. 2007. Proyecto Piloto para la Reforestación Asociada a la Conservación del Agua y Conservación del Suelo en Areas Cercanas Afectadas por los Pasivos Ambientales Mineros en la Provincia de Hualgayoc- Cajamarca. FONAM. Lima. 47 Pp.

52. HAGEDORN F., S. MAURER, P. EGLI, P. BLAZER, J.B. BUCHER Y R. SIEGWOLF. 2001. C sequestration in forest soils: effect of soil type, atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment, and N deposition. *Eur. J. Soil Sci.*, 52: 619-628
53. HARVEY CA; ALPIZAR F; CHACÓN M; MADRIGAL, R. 2005. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. Mesoamerican and Caribbean Region, Conservation Science Program. San José, CR, *The Nature Conservancy (TNC)*. 140 Pp.
54. JANDL R. 2001. Mediciones de tendencias en el tiempo del almacenamiento de carbono en el suelo. Simposio Internacional de medición y monitoreo de la captura de carbono en Ecosistemas Forestales. Universidad de Valdivia, Chile.
55. HIELKEMA, J.U., PRINCE, S.D., & ASTLE, W.L. 1986. Rainfall and vegetation monitoring in the savanna zone of the Sudan using NOAA AVHRR. *International Journal of Remote sensing*, 7: 1499-1513.
56. HOBBS, R.J. 1989. Remote Sensing of Spatial and Temporal Dynamics of Vegetation. In Hobbs, R.J. and Mooney, H.A (eds). *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. Ecological Studies 79 Springer, Verlag, Berlín. 65-86 Pp.
57. HOBBS, S.W. 1989. Estimating Terrestrial Primary Productivity by combining Remote Sensing and Ecosystem Simulation. In Hobbs, R.J. and Mooney, H.A (eds). *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. Ecological Studies 79 Springer, Verlag, Berlín. 72-84 Pp.
58. HOUGHTON, R.A. 1999. The Annual net flux of carbon to the atmosphere from change in land use 1850-1990. *Tellus*, 50B: 298-313.
59. HOUGHTON, R.A., J.L. HACKLES, y K.T. LAWRENCE.1999. The U.S carbon budget: contribution from land use change. *Science*, 285: 574-578.

60. HOUGHTON, R.A.1999. The annual net Flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. *Tellus* 51B:298-313.
61. HOUGHTON, R.A. Y C.M. WOODWELL. 1998. Global climate change. *Scientific American* 260(4):36-40.
62. HOUGHTON, J.T., Y. DING, J. GRIGGS, M. NOGUER, P.J VANDER LINDEN , X. DAI, K. MASKELL, C.A. JOHNSON (eds). 2001 *Climate Change: The IPCC Scientific assessment* Cambridge University Press. Cambridge, UK. 94 Pp.
63. HUBERT, A., SCHLATTER, E. J., OYARZUN. C. 1986. Aporte de Elementos Nutritivos por la Hojarasca de un bosque Adulto de *Pinus radiata*. *BOSQUE* 7(2):59-64.
64. IICA-PROCIANDINO. 1996. Diagnóstico Nacional de Uso, Manejo y Conservación de Suelos de Ladera en la Sierra del Perú. Edición ProciAndino. Quito, Ecuador, 24 Pp.
65. INE-SEMARNAT. 2006. Tercera comunicación ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. México. 208 Pp.
66. INSTITUTO NACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES (INRENA). 1995. Mapa Ecológico del Perú. Guía Explicativa. Lima. 271 Pp.
67. INSTITUTO DE DEFENSA CIVIL. 2004a. Proyecto INDECI – PNUD PER /02/051 Ciudades Sostenibles; Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelos y Medidas de Mitigación Ante Desastres, Ciudades de Recuay, Ticapampa y Catac. INDECI, Lima. 305 Pp.
68. INSTITUTO DE DEFENSA CIVIL. 2004b. Proyecto INDECI – PNUD PER /02/051 Ciudades Sostenibles; Plan de Prevención Ante Desastres: Usos del Suelo y Medidas de Mitigación, Ciudad de Huaraz. INDECI, Lima. 74 Pp.
69. INSTITUTO DE DEFENSA CIVIL. 2004c. Proyecto INDECI – PNUD PER /02/051 Ciudades Sostenibles; Mapa de Peligros, Plan de Usos del

- Suelos y Medidas de Mitigación Ante Desastres, Ciudad de Carhuaz. INDECI, Lima. 270 Pp.
70. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATIC CHANGE. 1995. "Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment". Cambridge University Press, Cambridge. 120 Pp.
71. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATIC CHANGE, 2001 Informe de Síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. WMO-UNEP, Cambridge University Press, Cambridge. 184 Pp.
72. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATIC CHANGE, 2007 Informe de Síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. WMO-UNEP, Cambridge University Press, Cambridge. 107 Pp.
73. INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO, 1996. Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión Chiquian y Yanahuanca. Boletín N° 076; Serie A: Carta Nacional. INGEMMET. Lima. 14 Pp.
74. INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO. 1996. Geología de los Cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Boletín N° 016; Serie A: Carta Nacional. INGEMMET. Lima. 17 Pp
75. INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO. 1989. Estudio Geodinámico de la Cuenca del Río Santa. INGEMMET. Lima 113 Pp.
76. INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO. 1996. Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión Chiquian y Yanahuanca. Boletín N° 076; Serie B: Carta Nacional. INGEMMET. Lima. 16 Pp
77. ISAZA, J.F; CAMPOS, R.D.2007. Cambio Climático- Glaciaciones y Calentamiento Global. Ed. Universidad Jorge Tade Lozano, Bogotá. 294 Pp.

78. JENNY, H.; GESSEL, S.P. Y GINGHAM, F.T. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil science* 68:419-432.
79. LAL, J., M. 1998. Soil processes and the carbon cycle. LAL, R (editors). CRC Boca Raton, Fl. 510-525 Pp.
80. LAL, R. 2002. Why Carbon sequestration in Agricultural Soils. In: J.M. Kimble, R. Lal and R.F. Follett (Eds.) 2002. Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil. Lewis Publ. Boca Raton, FL. 21-30 Pp.
81. LAL, R. 2003. Carbon sequestration in dryland ecosystem. *Environ. Manage.*, 33: 528-544.
82. LEGGET, J. 1996. El calentamiento del planeta: Informe de Greenpeace. edición Global Warning: The Greenpeace Report. Fondo de Cultura Económica, México, 523 Pp.
83. LOCATELLI, B. 1999. Bosques tropicales y ciclo del carbono. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 91 Pp.
84. LOCATELLI, B. y S. LEONARD. 2001. Un método para medir Carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). *Bois et forests des tropiques*, 267:69-81
85. MACDICKEN, K. 1997. A guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects., Winrock International Institute for Agricultural Development. Arlington, Texas. 43 Pp.
86. MAREK K. J Y R. LAL. 2005. Soil organic C sequestration rates in two long term no till experiments in Ohio. *Soil sci* 170: 280-291
87. MARX, C., Y HILDEBRANT, G. 1978. Qualitative and quantitative interpretation of Landsat MSS data to forest cover mapping in Germany, en proceedings of The International Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment, Freiburg. 112 Pp.

88. MASERA, R.O; M.J. ORDOÑEZ Y R. DIRZO. 1997. Carbon emissions from Mexican forest: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
89. MASERA, O.R., SAATKAMP, B.D. Y KAMMEN, D.M. 2000. From linear fuel switching to multiple cooking strategies: a critique and alternative to the energy ladder model for rural households. *World Development*, Vol. 28, No. 12, Great Britain. 2083-2103 Pp.
90. MASERA O., ASTIER M., Y S. LÓPEZ- RIDAURA (Editores). 2000. El marco de evaluación MESMIS. En: *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos*, Mundiprensa, México, D. F., 13-44 Pp.
91. MASERA, O. Y ALATORRE, C. (Editores). 2000. El diseño de sistemas sustentables de maíz en la Región Purhépecha, en: *Sustentabilidad y Sistemas Campesino*. Mundiprensa, México, D. F., 271-324 Pp.
92. MENÉNDEZ J., I. GASPARRI Y E. MANGHI. 2005. Volumen, Biomasa y Contenido de Carbono de los Bosques Nativos de la Argentina. *Estimaciones preliminares. IDIA XXI (8): 254-257*
93. MONTAGNINI F. Y P.K.R. NAIR. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agrofor. Sys.* 61: 281- 298.
94. MONASTERIO, M. Y SARMIENTO, G. 1976. Phenological strategies of plant species in the tropical savanna and the semi-deciduous forest of the Venezuelan Llanos. *Journal of Biogeography* 3: 325-356.
95. MOLINA, J.L Y PAIZ, D. 2002. Producción de biomasa y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y tacotales en la zona baja de la Micro-cuenca Rio Bul-Bul, Matiguas, Matagalpa. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Agraria de Nicaragua. Nicaragua, 90 Pp.
96. MOONET, H.A., J. CANADELL, F.S. CHAPIN III, J.R. EHLERINGER, CH. KÖRNER, R.R. MC MURTRIE, W.J. PARTON, L.F. PITELKA. 1999. Ecosystem physiology responses to global change. En: B. WALKER, W STEFFEN, J. CANADELL, Y J. INGRAM (eds) *the terrestrial biosphere*

## BIBLIOGRAFIA

- and global change: Implications for natural and managed ecosystems. Cambridge University Press. Cambridge.141-189 Pp.
97. MONKHOUSE, F. J. Y SMALL, J. 1978. A Dictionary of the Natural Environment. Illustrated. London ISBN 071315957. 320 Pp.
98. MONTEIHT, J.L. 1981. Climatic variation and the growth y crops. Quart, J. Royal Meteorol. Soc. 107: 749-774.
99. MUÑOZ F., M. ESPINOSA Y M.A. HERRERA. 2005. Caracterización del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. Bosque 26(1): 93-99.
100. NASA. 2008. Carbon Cycle. consultado en: [<http://earthobservatory.nasa.gov/library/carboncycle/\(02/02/2010\)>](http://earthobservatory.nasa.gov/library/carboncycle/(02/02/2010)).
101. NABUURS, G.J. Y MOHREN, G.M. 1995. Modelling analysis of potential carbon sequestration in selected forest types. Canadian Journal of Research 25: 1157-1172.
102. NICHOLSON, S.E., DAVENPORT, M.L., Y MALO, A.R. 1990. A comparasion of the vegetation response to rainfall in the Sahehl and East Africa, using normalized difference vegetative index from NOAA AVHRR. Climatic Change, 17: 209-241.
103. LAL, R. 1999.Global carbón pools and Fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use. In prevention of land degradation enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable and management with a focus on Latin America and Caribbean. World soil Resources Report 86, FAO, Roma, 45-52 Pp.
104. LAL, R., Y J. M. KIMBLE. 2001. Importance of soil bulk density and methods of its importance. In Lal, R., J. M. Kimble, R. F. Follet, and B. A. Stewart. (ed). Assessment Methods for Soil Carbon. CRC Press. Boca Raton Fl. 31-44 Pp.

105. LAL, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623-1625.
106. LAL, R. 2005. Soil erosion and carbon dynamics. *Soil and Tillage Res.* 81:137-142.
107. LAL, R. 2006. Bulk density measurement for assessment of soil carbon pools. In: Lal, R., C. C. Cerri, M. Bernoux, J. Etchevers, y E. Cerri (eds). *Carbon Sequestration in Soils of America Latina*. USDA New York. 491-513 Pp
108. LAPEYRE T., ALEGRE J. Y ARÉVALO L. 2004. determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. 1: 39-42.
109. LOCATELLI, B. 1999. *Bosques Tropicales y ciclo de carbono*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 91Pp.
110. OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Y LA COMISIÓN DE REHABILITACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE LA ZONA AFECTADA. 1973. *Estudio Semidetallado de Suelos del Callejón de Huaylas*. INNRENA-CRYRZA Lima. 140 Pp.
111. ORDÓÑEZ, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.
112. ORDÓÑEZ, A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México D.F.
113. ORDOÑEZ, A Y O. MASERA., 2001 *Captura de carbono ante el cambio climático*. *Madera y bosques* 7(1): 3-12.
114. OREN R, D.S. ELLSWORTH, K.H.J. SEN, N. PHILLIPS, C.M. BEEWERS, K.V.R. SCHÄFER, H. MACCARTHY, G. AENDREY, S.C. MCNULTY Y G.G.

- KATUL 2001 Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere. *Nature*, 411: 469-472
115. PARUELO, J.M., EPSTEIN, H.E., LAUENROTH, W.K., BURLE, I.C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the central Grassland region of the US. *Ecology* 78: 953-958.
116. PARUELO, J.M. 2008. Caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas* 17(3): 4-22.
117. POST, W. M., R. C. IZAURRALDE, L. K. MANN, Y N. BLISS. 2001. Monitoring and verifying of changes of organic carbon in soil. *Climatic change* 51: 73-99.
118. PROMIS, A. 2009. Silvicultura y manejo forestal en miras de la adaptación de los bosques al cambio climático. Universidad de Chile. *Revista Bosque Nativo*. 45: 9-12
119. RASTETTER E.B., R.B. MCKANE, G.R SHAVER Y J. M. MELILLO. 1992. Changes in C storage by terrestrial ecosystems: how C-N interactions restrict responses to CO<sub>2</sub> and temperature. *Water Air Soil Poll.*, 64: 327-344.
120. RIVERO, ALICIA., 2000., El cambio climático: el calentamiento de la tierra. Editorial Debate S.A. Barcelona. 270 Pp.
121. RICSE A., ALEGRE J., ARÉVALO L., BARBARÁN J. Y PALM C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU), Boletín informativo. Ucayali. 12: 8-9.
122. RICSE A. Reservas de carbono de los bosques altos del género Eucalyptus en el valle del Mantaro. En: Libro de ponencias: I Congreso Nacional del Eucalipto. Huancayo; Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. 164-170 Pp.
123. RUNNING, S.W. (1989). Estimating Terrestrial Primary Productivity by Combining Remote Sensing and Ecosystem Simulation. In Hobbs, R.J. and Mooney, H.A. (eds). *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. Ecological Studies 79. Springer-Verlag, Berlin.

124. SABINE, C. L., HEIMANN, M., ARTAXO, P., BAKKER, D. C. E., CHEN, C. T. A., FIELD, C. B., GRUBER, N., LE QUERÉ, C., PRINN, R. G., RICHEY, J. E., ROMERO LANKAO, P., SATHAYE, J. A., Y VALENTINI, R. (2004), Current Status and Past Trends of the Global Carbon Cycle, In: The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World. C. B. Field Y M. R. Raupach (Eds.), Island Press, Washington, D.C.17-44 Pp.
125. SABINS, F. 1997. Remote Sensing. Principles and Interpretation. 3ra. Ed. Macmillan Magazines. New York. 449 Pp.
126. SAUGIER, B., PONTAILLER, J., 2006. El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia* 41 (3): 71– 85
127. SAMPSON, 1993. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. SEMARNAT. México. 72 Pp.
128. SAMPSON. R.N. 2001. Agroforestry as a carbon sink. 2-8 pp. En *Temperate agroforestry: Adaptive and Mitigative Roles in a Changing Physical and Socio-economic Climate : Proceedings of the Seventh Biennial Conference on Agroforestry in North America and Sixth Annual Conference of the Plains and Prairie Forestry Association, August 13-15, 2001, Regina, Saskatchewan, Canada.* 342 Pp.
129. SARMIENTO, G. 1990. *Ecología Comparada de las Sabanas Neotropicales.* En G: Sarmiento (Ed.): *Las Sabanas Americanas. Aspectos de su biogeografía, ecología y manejo.* Equipo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas.
130. SCHIMMEL, D.S. ET AL. 2001. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystem. *Nature* 414: 169-172.
131. SCHIMMEL, D. 1998. The C equation. *Nature*, 393: 208- 209.
132. SCHLESINGER, W. H. 1997. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change.* National Academic Press. New York. 665 Pp.

133. SEGURA-CASTRUITA, M.A.,P. SANCHEZ-GUZMAN., C.A ORTIZ-SOLANIO Y M. DEL C. GUTIERREZ-CUISTORENA, 2005. Carbono orgánico de los suelos de México. Terra Latinoamericana. Vol. 23, 1:21-28.
134. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA – SENAMHI. 2012. Boletín Hidrometeorológico del Perú. Lima. 28 pag. Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. 2003. Plan de Prevención Ante Desastres: Usos de Suelos y Medidas de Mitigación. Proyecto INDECI – PENUD PER/02/051 Ciudades Sostenibles. Huaraz. 74 Pp.
135. SMITH, J.B., 1996. Standardized estimates of climate change damages for the United States. *Climate Change* 32(3): 313-326.
136. SNOWDON P., J. RAISON, H. KEITH, K. MONTAGU, K. BI, P. RITSON, P. GRIERSON, M. ADAMS, W. BURROWS Y D. EAMUS. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31. Australian Greenhouse Office, Canberra. 114 Pp.
137. STEVENSON F.J. 1986. Cycles of soil. John Wiley, New York. 380 Pp.
138. SWIFT, R., 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166: 858-871.
139. TELLES, E.C.C ., P.B. DE CAMARGO, L.A. MARTINELLI, S.E. TRUMBORE, E.S DA COSTA, J. SANTOS, N HIGUSHI Y R. C. OLIVEIRA JR. 2003. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical soils of Amazonia., 17: 1040
140. TORN, M.S., S.E. TRUMBORE, O.A. CHADWICK, P.M. VITOUSEK Y D.M. HENDRICKS. 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature*, 389: 170-173
141. TUCKER, C.J., C.L. VANPRAET, M.J. SHAHRMAN, Y G. VAN ITCERSUM. 1985. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in theh Senegalese Saehel: 1980-1984, *Remote Sens. Environ.*, 17: 223-249.

142. TOWNSHEND, J. R., Y JUSTICE, C.O. 1981. Information extraction from remotely sensed data. A user view. *Int. J. Rem. Sensing*. 2: 313-329.
143. TYNDALL J., 1863. On the passage of radiant heat through dry and humid air. *Philos Mag* 26: 44-54.
144. UNRUH. J.D., R.A. HOUGHTON Y P.A. LEFAVRE. 1993 Carbon storage in agroforestry. An estimate for sub- Sahara Africa. *Climate Res.*, 3:39-52
145. VALENZUELA H., T. 2001. Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 127 Pp.
146. VICARI, R., P. KANDUS, P. PROTOLONGO Y M. BURGHI. 2006. Alteración en el almacenaje de Carbono por la intervención humana de los sistemas naturales en el bajo delta del río Paraná. Su importancia en el balance Emisión- sumidero de CO<sub>2</sub> atmosférico. En Brown et al. (eds) *La situación ambiental de la Argentina* Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. 161-163 Pp.
147. VIRGINIA, R.A. Y WALL, D.H. 2001. Ecosystem function. En *Encyclopedia of Biodiversity* (ed. Levin, S.A.), Academic Press, San Diego, USA. 345-352 Pp.
148. VITOUSEK, P.M., P.R.EHRLICH, A.H. EHRLICH Y P.A. MATSON. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *Bioscience* 36: 368-373.
149. WOOMER, P.L AND PALM, C.A. 1999. An approach and estimating system carbon stock in tropical forest and associated land use. *Commonwealth Forestry Review* (In press).
150. YARIE, J. Y S. BILLINGS. 2002. Caron balance of the taiga forest within Alaska: present and future. *Can J. for. Res* 32: 757-767.
151. ZAMBONI P. Y P. ACEÑOLAZA. 2004. Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica en formaciones boscosas de la llanura de inundación del río Paraná. Serie Miscelánea. INSUGEO-CONICET,

## BIBLIOGRAFIA

Tucumán, Argentina. 12: 5-12. Zamboni L. P y P. G. Aceñolaza. 2005 a. Efectos del fuego sobre la biomasa vegetal en un área del Predelta del río Paraná. (Entre Ríos, Argentina). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 40: 141. Zamboni P. y P. Aceñolaza 2005 b. Aporte al conocimiento de la dinámica de materia orgánica en bosques de la porción baja de la Cuenca del Plata. Cappato y Petean (eds.) Humedales Fluviales de América del Sur. Hacia un Manejo Sustentable. Ediciones PROTEGER Santa Fé, Argentina. 535-541 Pp.

# **ANEXOS**

**A-1**

**ANALISIS DE SUELOS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO**

SOLICITANTE : CARSA - ENC CONSULTING S.R.L.

PROCEDENCIA : ANCASH

REFERENCIA : H.R. 48690

FACTURA : 28286

FECHA : 27/02/2015

Lab	Número Muestra		Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	C %
	Claves						
1050	Huaraz M1-1		56	30	14	Fr.A.	2.51
1051	Huaraz M1-2		50	26	24	Fr.Ar.A.	0.67
1052	Huaraz M2-1		48	34	18	Fr.	2.51
1053	Huaraz M2-2		56	34	10	Fr.A.	1.62
1054	Huaraz M3-1		64	26	10	Fr.A.	4.44
1055	Huaraz M3-2		74	16	10	Fr.A.	3.23
1056	Huaraz M4-1		58	32	10	Fr.A.	4.04
1057	Huaraz M4-2		58	32	10	Fr.A.	1.98
1058	Huaraz M5-1		54	32	14	Fr.A.	1.62
1059	Huaraz M5-2		40	26	34	Fr.Ar.	0.77
1060	Huaraz M6-1		58	26	16	Fr.A.	1.94
1061	Huaraz M6-2		40	24	36	Fr.Ar.	1.29
1062	Huaraz M7-1		58	30	12	Fr.A.	2.22
1063	Huaraz M7-2		54	26	20	Fr.Ar.A.	1.37
1064	Huaraz M8-1		56	30	14	Fr.A.	2.71
1065	Huaraz M8-2		48	34	18	Fr.	1.70
1066	Huaraz M9-1		60	28	12	Fr.A.	3.56
1067	Huaraz M9-2		78	14	8	Fr.A.	2.63
1068	Huaraz M10-1		70	22	8	Fr.A.	4.20
1069	Huaraz M10-2		56	32	12	Fr.A.	0.77
1070	Huaraz M11-1		64	24	12	Fr.A.	5.82
1071	Huaraz M11-2		70	18	12	Fr.A.	1.29
1072	Huaraz M12-1		60	30	10	Fr.A.	2.87
1073	Huaraz M12-2		58	30	12	Fr.A.	1.13

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*Susy García Bendeza*  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO**

SOLICITANTE : CARSAA - ENC CONSULTING S.R.L.

PROCEDENCIA : ANCASH

REFERENCIA : H.R. 48690

FACTURA : 28286

FECHA : 27/02/2015

Lab	Número Muestra		Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	C %
	Claves						
1074	Recuay 1 M1-1		70	20	10	Fr.A.	1.21
1075	Recuay 1 M1-2		58	24	18	Fr.A.	0.65
1076	Recuay 1 M2-1		70	22	8	Fr.A.	2.55
1077	Recuay 1 M2-2		72	22	6	Fr.A.	2.46
1078	Recuay 1 M3-1		62	30	8	Fr.A.	7.60
1079	Recuay 1 M3-2		64	28	8	Fr.A.	5.82
1080	Recuay 1 M4-1		64	24	12	Fr.A.	14.87
1081	Recuay 1 M4-2		72	20	8	Fr.A.	2.51
1082	Recuay 1 M5-1		64	26	10	Fr.A.	2.63
1083	Recuay 1 M5-2		54	28	18	Fr.A.	0.32
1084	Recuay 1 M6-1		74	18	8	Fr.A.	2.18
1085	Recuay 1 M6-2		70	22	8	Fr.A.	1.33
1086	Recuay 1 M7-1		70	22	8	Fr.A.	4.28
1087	Recuay 1 M7-2		74	20	6	Fr.A.	2.42
1088	Recuay 1 M8-1		68	24	8	Fr.A.	2.59
1089	Recuay 1 M8-2		68	26	6	Fr.A.	2.42
1090	Recuay 1 M9-1		48	36	16	Fr.	5.01
1091	Recuay 1 M9-2		40	36	24	Fr.	2.71
1092	Recuay 1 M10-1		68	18	14	Fr.A.	1.86
1093	Recuay 1 M10-2		56	20	24	Fr.Ar.A.	0.91

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Sady García Bendejú  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO**

SOLICITANTE : CARSA - ENC CONSULTING S.R.L.  
 PROCEDENCIA : ANCASH  
 REFERENCIA : H.R. 48690  
 FACTURA : 28286  
 FECHA : 27/02/2015

Número Muestra		Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	C %
Lab	Claves					
1094	Recuay 2 M1-1	74	18	8	Fr.A.	2.14
1095	Recuay 2 M1-2	68	22	10	Fr.A.	1.27
1096	Recuay 2 M2-1	78	14	8	Fr.A.	2.02
1097	Recuay 2 M2-2	70	22	8	Fr.A.	2.38
1098	Recuay 2 M3-1	72	20	8	Fr.A.	1.86
1099	Recuay 2 M3-2	68	24	8	Fr.A.	3.72
1100	Recuay 2 M4-1	76	16	8	Fr.A.	3.31
1101	Recuay 2 M4-2	68	24	8	Fr.A.	0.93
1102	Recuay 2 M5-1	70	20	10	Fr.A.	1.78
1103	Recuay 2 M5-2	66	22	12	Fr.A.	0.85
1104	Recuay 2 M6-1	70	20	10	Fr.A.	2.63
1105	Recuay 2 M6-2	66	20	14	Fr.A.	0.73
1106	Recuay 2 M7-1	76	16	8	Fr.A.	2.63
1107	Recuay 2 M7-2	62	26	12	Fr.A.	1.09
1108	Recuay 2 M8-1	72	20	8	Fr.A.	3.07
1109	Recuay 2 M8-2	70	22	8	Fr.A.	2.26

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Sady García Bendezú  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CARSAA - ENC CONSULTING S.R.L.  
PROCEDENCIA : ANCASH  
REFERENCIA : H.R. 48691  
FACTURA : 28286  
FECHA : 13/03/2015

Lab	Número Muestra		D.A. g/cm <sup>3</sup>
	Claves		
1134	RECUAY 1	D1-1	1.72
1135	RECUAY 1	D1-2	1.63
1136	RECUAY 1	D2-1	1.02
1137	RECUAY 1	D2-2	1.03
1138	RECUAY 1	D3-1	0.31
1139	RECUAY 1	D3-2	0.58
1140	RECUAY 1	D4-1	0.68
1141	RECUAY 1	D4-2	0.95
1142	RECUAY 1	D5-1	1.37
1143	RECUAY 1	D5-2	1.13
1144	RECUAY 1	D6-1	1.05
1145	RECUAY 1	D6-2	0.89
1146	RECUAY 1	D7-1	1.23
1147	RECUAY 1	D7-2	1.43
1148	RECUAY 1	D8-1	1.20
1149	RECUAY 1	D8-2	1.51
1150	RECUAY 1	D9-1	1.01
1151	RECUAY 1	D9-2	1.09
1152	RECUAY 1	D10-1	0.94
1153	RECUAY 1	D10-2	0.97



Dr. Sady García Bendezi  
Jefe del Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CARSAA - ENC CONSULTING S.R.L.  
PROCEDENCIA : ANCASH  
REFERENCIA : H.R. 48691  
FACTURA : 28286  
FECHA : 13/03/2015

Lab	Número Muestra		D.A. g/cm <sup>3</sup>
	Claves		
1154	RECUAY 2	D1-1	1.19
1155	RECUAY 2	D1-2	0.75
1156	RECUAY 2	D2-1	1.16
1157	RECUAY 2	D2-2	1.06
1158	RECUAY 2	D3-1	1.33
1159	RECUAY 2	D3-2	0.78
1160	RECUAY 2	D4-1	0.79
1161	RECUAY 2	D4-2	1.11
1162	RECUAY 2	D5-1	1.00
1163	RECUAY 2	D5-2	1.24
1164	RECUAY 2	D6-1	1.45
1165	RECUAY 2	D6-2	1.33
1166	RECUAY 2	D7-1	0.98
1167	RECUAY 2	D7-2	1.17
1168	RECUAY 2	D8-1	0.90
1169	RECUAY 2	D8-2	0.96



*Sedy García Bendezu*  
Jefe del Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CARSAA - ENC CONSULTING S.R.L.  
PROCEDENCIA : ANCASH  
REFERENCIA : H.R. 48691  
FACTURA : 28286  
FECHA : 13/03/2015

Lab	Número Muestra Claves	D.A. g/cm <sup>3</sup>
1110	HUARAZ D1-1	0.73
1111	HUARAZ D1-2	0.80
1112	HUARAZ D2-1	1.02
1113	HUARAZ D2-2	1.16
1114	HUARAZ D3-1	1.07
1115	HUARAZ D3-2	1.28
1116	HUARAZ D4-1	0.98
1117	HUARAZ D4-2	1.27
1118	HUARAZ D5-1	1.44
1119	HUARAZ D5-2	1.31
1120	HUARAZ D6-1	1.11
1121	HUARAZ D6-2	1.37
1122	HUARAZ D7-1	1.39
1123	HUARAZ D7-2	1.03
1124	HUARAZ D8-1	1.06
1125	HUARAZ D8-2	1.53
1126	HUARAZ D9-1	0.84
1127	HUARAZ D9-2	0.85
1128	HUARAZ D10-1	1.19
1129	HUARAZ D10-2	0.72
1130	HUARAZ D11-1	0.54
1131	HUARAZ D11-2	0.85
1132	HUARAZ D12-1	1.17
1133	HUARAZ D12-2	1.14



Dr. Sady García Bendezú  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CARBONO Y FISICOS**

**SOLICITA** : Roy C. Cárdenas Rengifo – Tesis - Doctoral  
**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:** “Evaluación del Potencial de los Bosques de Eucalipto Glóbulos y Pinos Radiata, como Sumideros de Carbono en el Entorno del Parque Nacional Huascarán – Ancash – Perú”  
**UBICACIÓN** : C.C. Siete Imperios – Sector Tuyu – Marcará – Carhuaz - Ancash  
**CARBONO ORGANICO**

Muestra	Sub parc.	0-25cm-	C. %	Muestra	Sub Parc.	0-25 cm.	C %	Muestra	Sub Parc.	0-25cm.	C %	Muestra	Sub Parc.	0-25 cm	C %
T 1 (parcela)	1	0-25cm-	1.71	T 2 (parcela)	3	0-25 cm.	1.62	T 4 (Parcela)	5	0-25cm.	1.15	T 7 (parcela)	7	0-25 cm	1.43
		25-50cm	1.22			25-50cm.	1.24			25-50cm.	0.91			25-50 cm	1.07
	2	0-25 cm.	1.71		4	0-25 cm	1.66		6	0-25 cm.	1.13		8	0-25 cm	1.40
		25-50 cm.	1.23			25-50cm	1.31			25-50cm	0.90			25-50 cm	1.04

**TEXTURA**

Muestra	Sub parc.	0-25cm-	Arena. %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	Muestra	Sub Parc.	0-25 cm.	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
T 1 (parcela)	1	0-25cm-	58	32	10	Fr.A	T 2 (Parcela)	3	0-25 cm.	58	32	10	Fr.A.
		25-50cm	58	32	10	Fr.A.			25-50cm.	48	34	18	Fr.
	2	0-25 cm.	54	32	14	Fr.A.		4	0-25 cm	58	32	10	Fr.A.
		25-50 cm.	60	26	14	FR.Ar.			25-50cm	58	32	10	Fr.A.

Muestra	Sub parc.	0-25cm-	Arena. %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	Muestra	Sub Parc.	0-25 cm.	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
T 4 (parcela)	1	0-25cm-	70	20	10	Fr.A	T 7 (Parcela)	3	0-25 cm.	62	30	08	Fr.A.
		25-50cm	58	24	18	Fr.A.			25-50cm.	64	28	08	Fr.A.
	2	0-25 cm.	70	22	08	Fr.A.		4	0-25 cm	64	24	12	Fr.A.
		25-50 cm.	72	22	06	Fr.A.			25-50cm	72	20	08	Fr.A.

**DENSIDAD APARENTE**

Muestra	Sub parc.	0-25 cm-	Da. %	Muestra	Sub Parc.	0-25 cm.	Da. %	Muestra	Sub Parc.	0-25 cm.	Da %	Muestra	Sub Parc.	0-25 cm	Da %
T 1 (parcela)	1	0-25 cm-	0.967	T 2 (parcela)	3	0-25 cm.	0.983	T 4 (Parcela)	5	0-25 cm.	0.966	T 7 (parcela)	7	0-25 cm	0.993
		25-50 cm	0.982			25-50cm.	1.002			25-50 cm.	1.021			25-50 cm	0.988
	2	0-25 cm.	0.933		4	0-25 cm	0.987		6	0-25 cm.	0.987		8	0-25 cm	0.998
		25-50 cm.	0.966			25-50cm	0.975			25-50 cm	0.996			25-50 cm	1.013

Ing. M.C. Guillermo Castillo Romero  
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

Huaraz, 16 de Marzo del 2015



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CARSA - ENC CONSULTING S.R.L.

Departamento : ANCASH

Distrito :

Referencia : H.R. 48689-015C-15

Fact.: 28286

Provincia :

Predio :

Fecha : 27/02/15

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
1948	Huaraz C1-1	4.45	0.15	0.00	14.40	17.9	203	59	33	8	Fr.A.	20.80	3.63	1.23	0.33	0.17	0.80	6.16	5.36	26
1949	Huaraz C1-2	4.49	0.18	0.00	3.66	12.3	93	57	35	8	Fr.A.	16.32	1.68	0.47	0.21	0.15	1.70	4.20	2.50	15
1950	Huaraz C2-1	4.39	0.08	0.00	3.52	4.8	73	55	33	12	Fr.A.	12.48	1.02	0.42	0.15	0.12	1.50	3.21	1.71	14
1951	Huaraz C2-2	4.67	0.04	0.00	1.75	2.1	45	55	33	12	Fr.A.	10.40	0.80	0.22	0.06	0.10	0.40	1.58	1.18	11
1952	Huaraz C3-1	4.27	0.11	0.00	8.24	18.8	193	73	19	8	Fr.A.	19.20	2.03	0.72	0.25	0.12	1.40	4.51	3.11	16
1953	Huaraz C3-2	4.30	0.05	0.00	2.49	4.2	67	71	21	8	Fr.A.	12.80	0.66	0.23	0.10	0.11	1.20	2.30	1.10	9
1954	Recuay 1 C1-1	4.41	0.16	0.00	6.18	73.7	264	71	21	8	Fr.A.	22.40	0.70	0.40	0.69	0.11	1.50	3.40	1.90	8
1955	Recuay 1 C1-2	4.71	0.08	0.00	2.90	39.4	132	71	21	8	Fr.A.	19.84	0.55	0.23	0.29	0.13	0.30	1.50	1.20	6
1956	Recuay 1 C2-1	4.21	0.24	0.00	14.82	15.7	330	69	25	6	Fr.A.	21.76	1.48	0.45	0.51	0.13	0.60	3.17	2.57	12
1957	Recuay 1 C2-2	4.66	0.13	0.00	3.98	6.2	183	67	27	6	Fr.A.	13.60	0.64	0.30	0.39	0.12	0.60	2.06	1.46	11
1958	Recuay 1 C3-1	4.24	0.19	0.00	3.63	7.1	168	65	27	8	Fr.A.	14.40	1.38	0.37	0.42	0.12	0.70	2.98	2.28	16
1959	Recuay 1 C3-2	4.44	0.06	0.00	1.54	5.0	98	63	27	10	Fr.A.	9.60	0.58	0.27	0.20	0.10	0.80	1.95	1.15	12

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*Sady García Bendezú*  
 Sady García Bendezú  
 Jefe del Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CARSA - ENC CONSULTING S.R.L.

Departamento : ANCASH

Distrito :

Referencia : H.R. 48689-015C-15

Fact.: 28286

Provincia :

Predio :

Fecha : 27/02/15

Número de Muestra	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
1960	Recuay 2 C1-1	4.18	0.13	0.00	3.81	8.2	82	75	25	0	A.Fr.	9.60	0.72	0.22	0.16	0.16	0.40	1.66	1.26	13
1961	Recuay 2 C1-2	4.47	0.04	0.00	1.74	7.5	66	71	23	6	Fr.A.	11.68	0.61	0.18	0.11	0.13	0.60	1.63	1.03	9

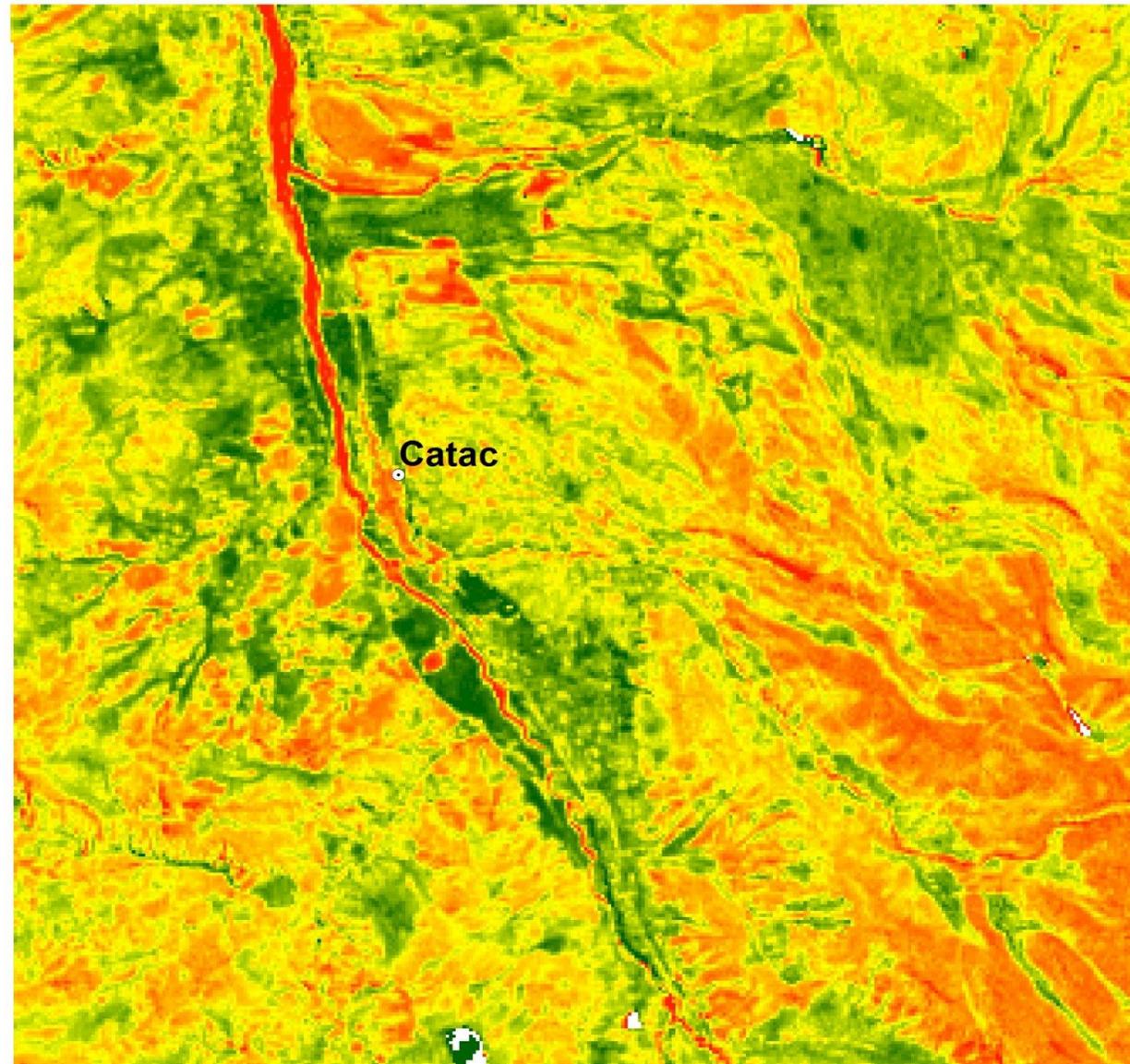
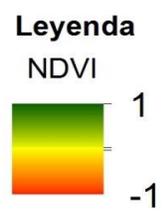
A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

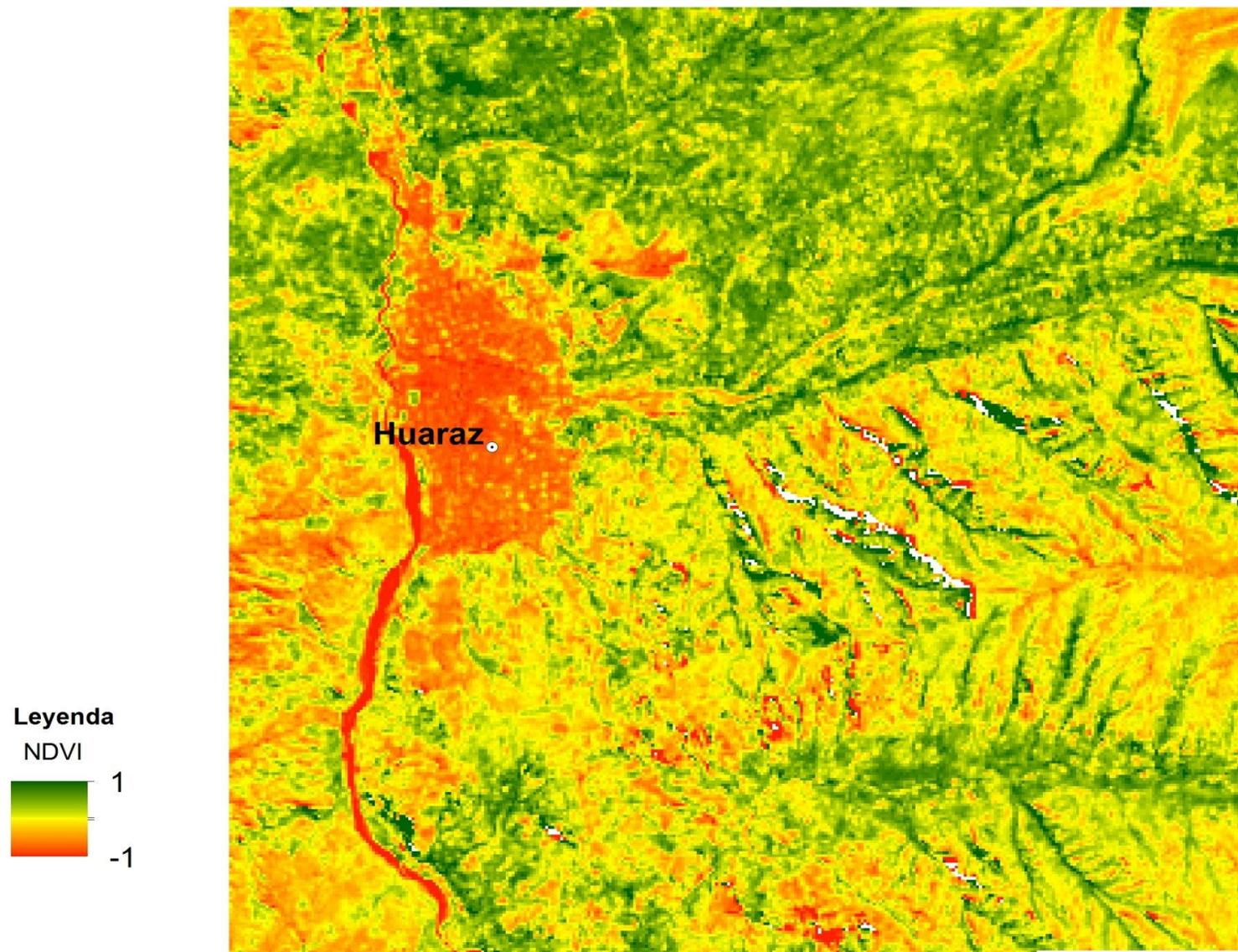


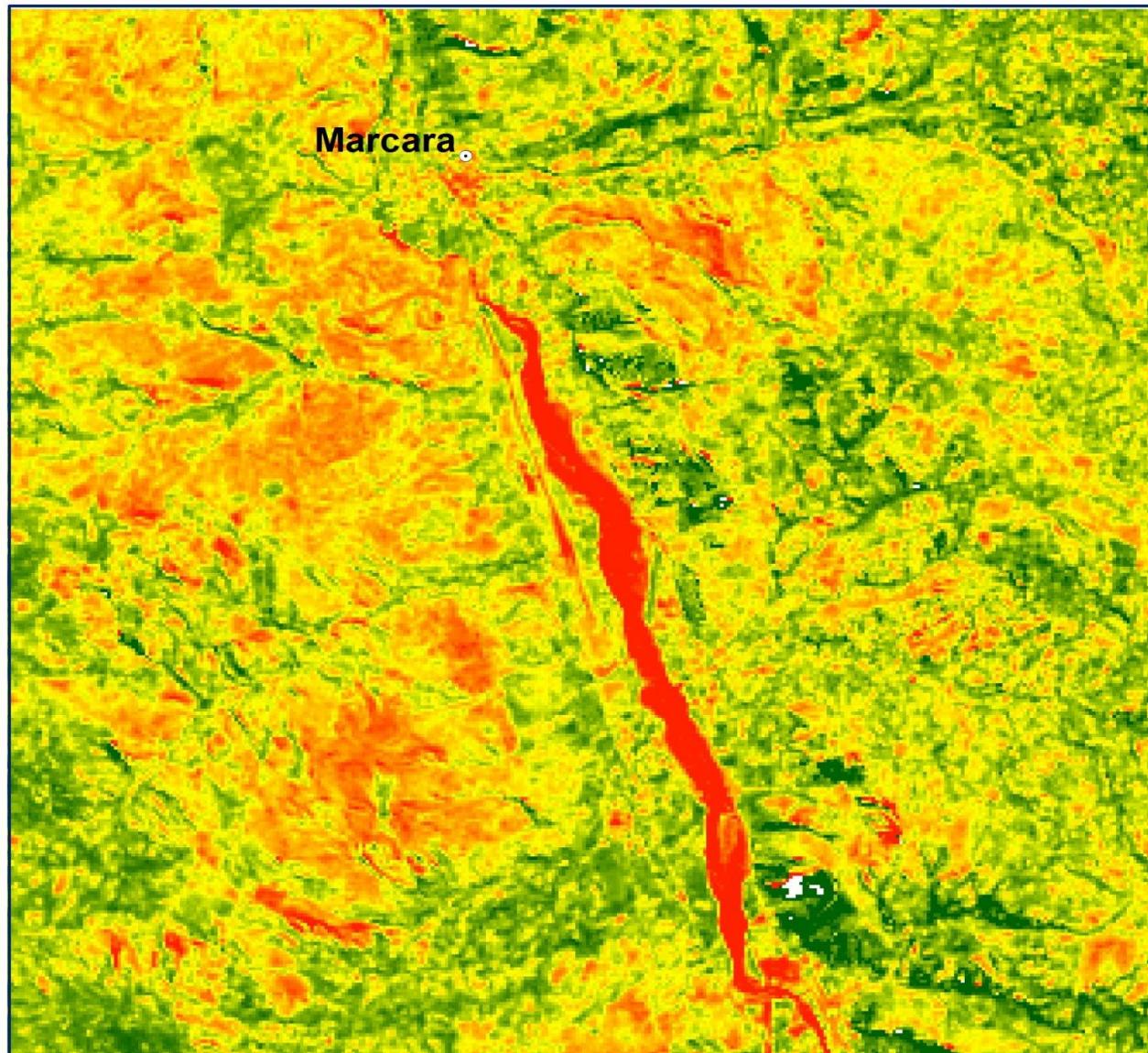
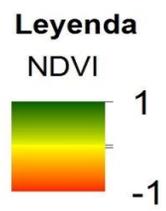
*Sady García Bendezu*  
**Dr. Sady García Bendezu**  
 Jefe del Laboratorio

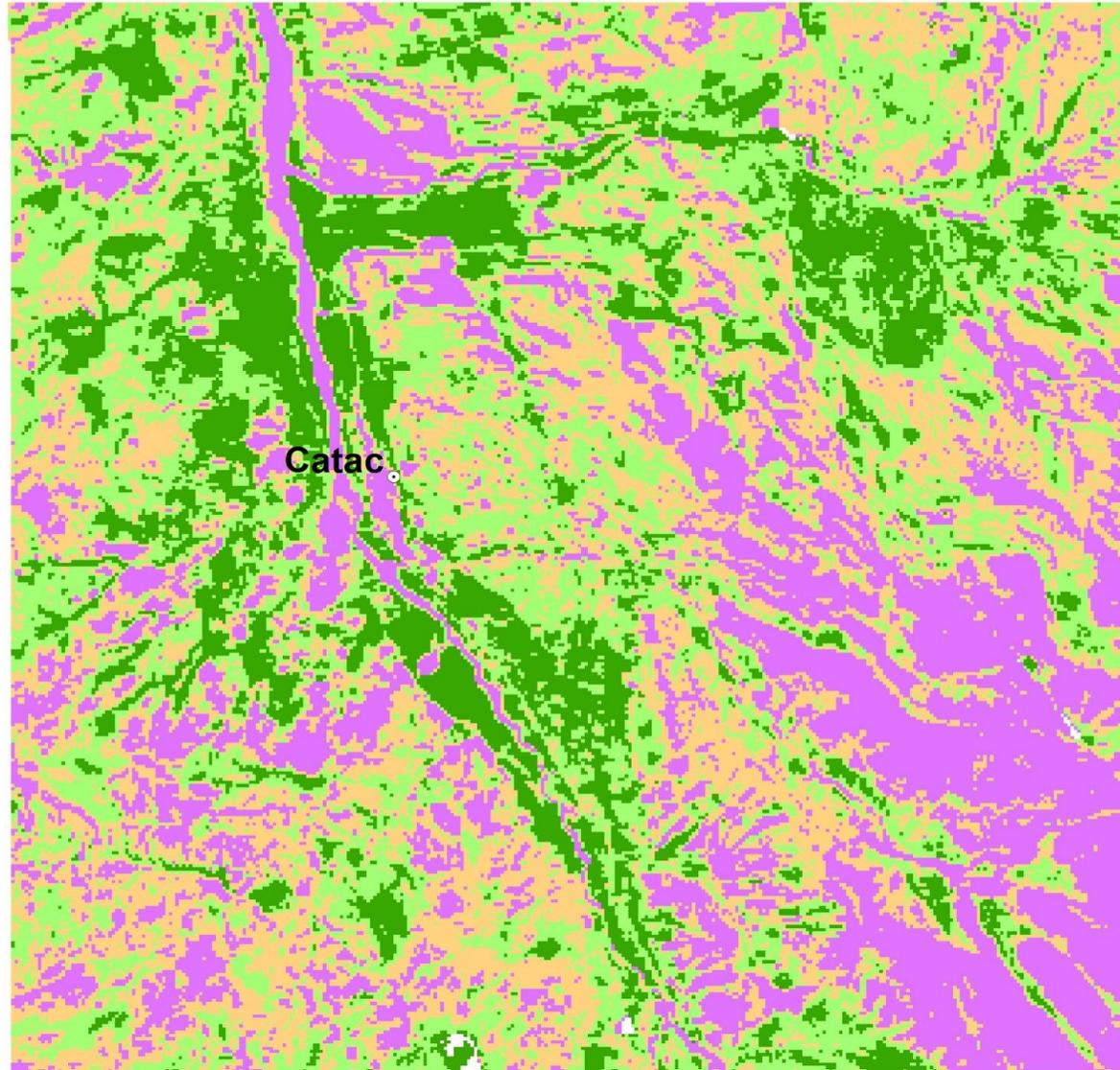
**A-2**

# **PROCESAMIENTO NDVI**



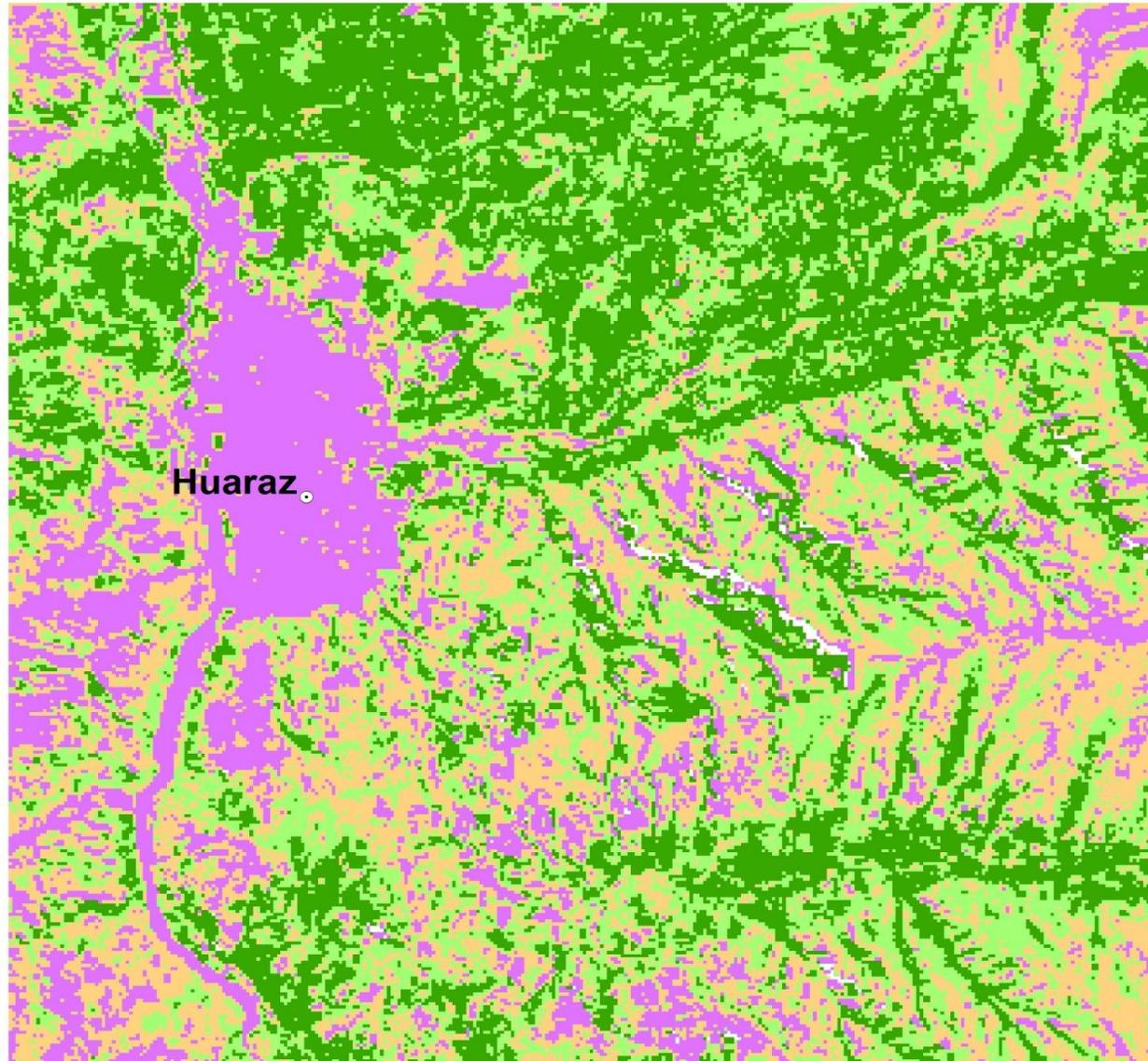






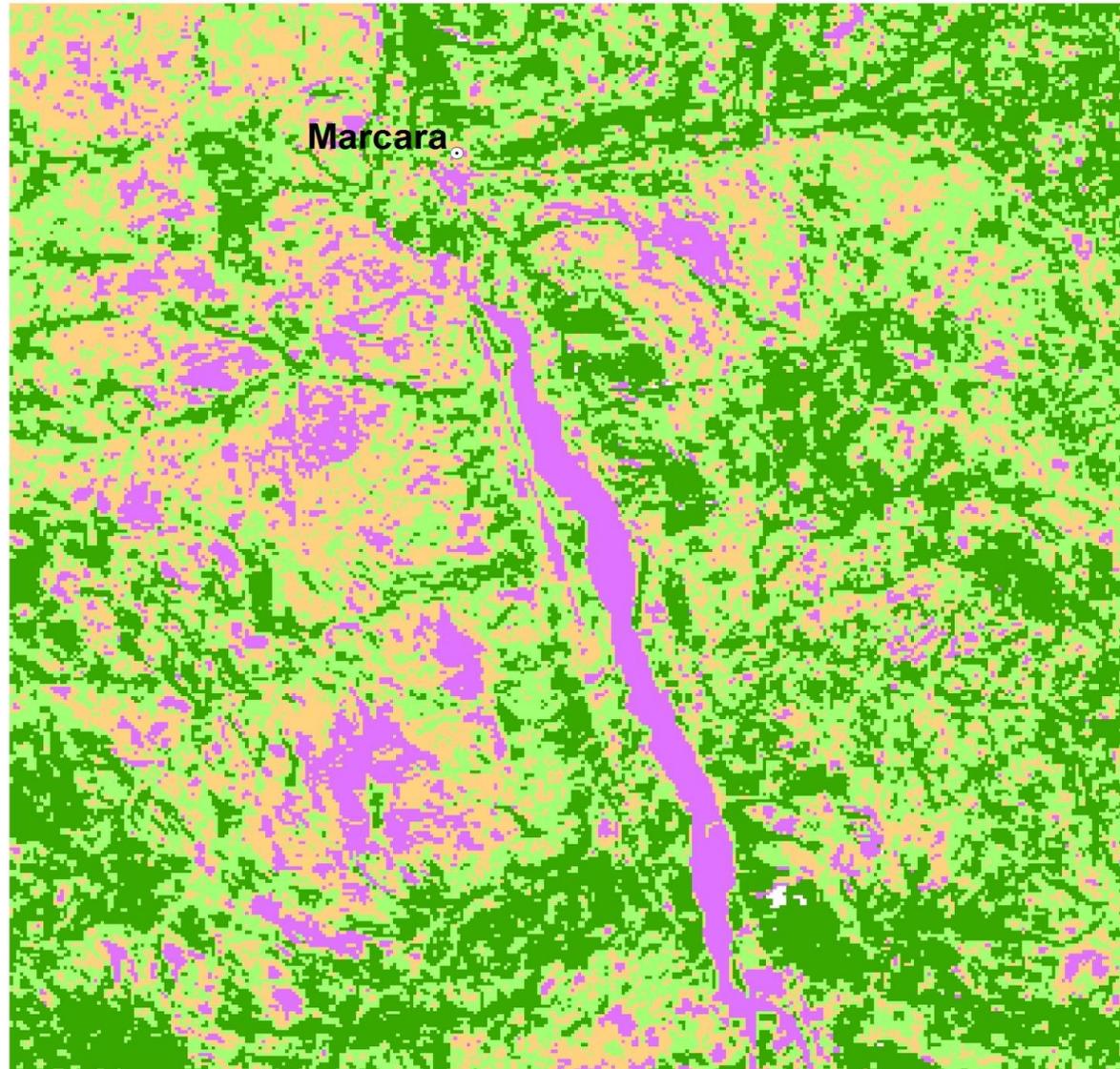
**Leyenda**

Símbolo	Zona
	Suelo desnudo
	Vegetación dispersa poco vigorosa
	Vegetación abundante y vigorosa
	Vegetación muy densa y vigorosa



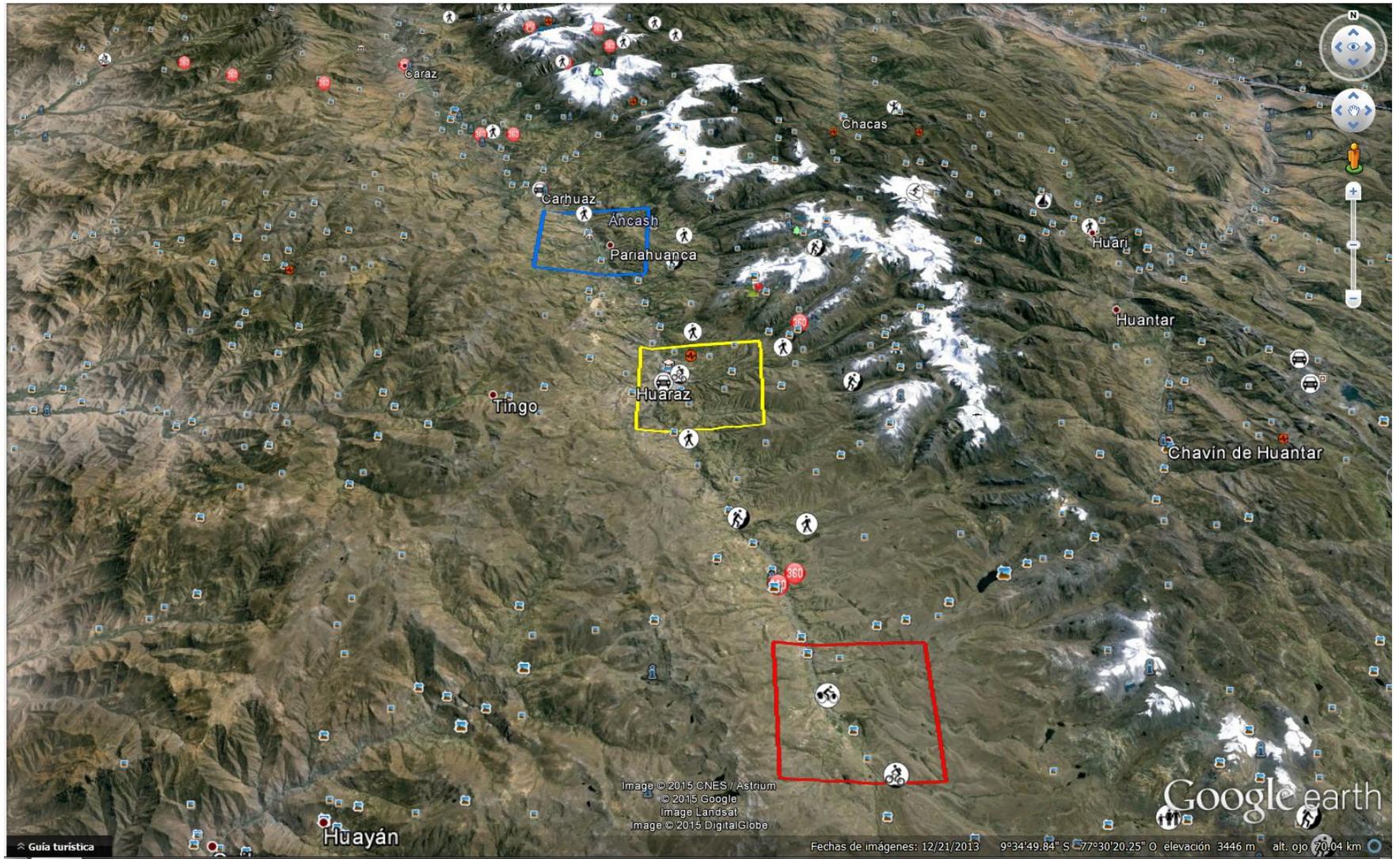
**Leyenda**

Símbolo	Zona
	Suelo desnudo
	Vegetación dispersa poco vigorosa
	Vegetación abundante y vigorosa
	Vegetación muy densa y vigorosa



**Leyenda**

Símbolo	Zona
	Suelo desnudo
	Vegetación dispersa poco vigorosa
	Vegetación abundante y vigorosa
	Vegetación muy densa y vigorosa



**A-3**

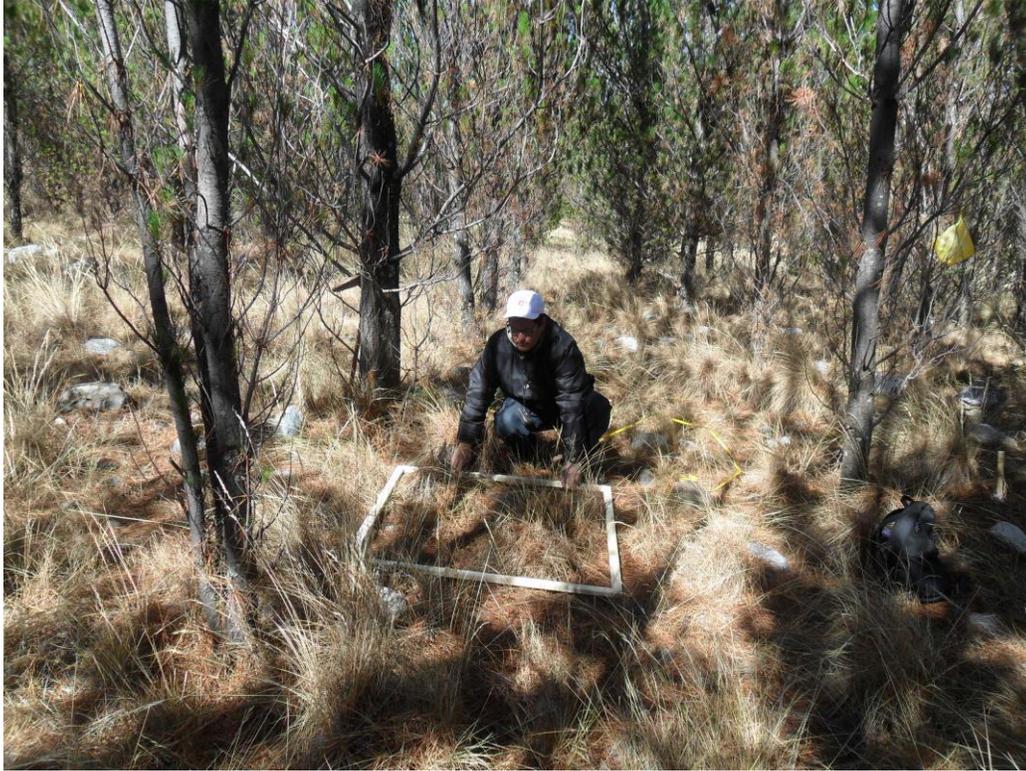
**ALBUM FOTOGRAFICO**



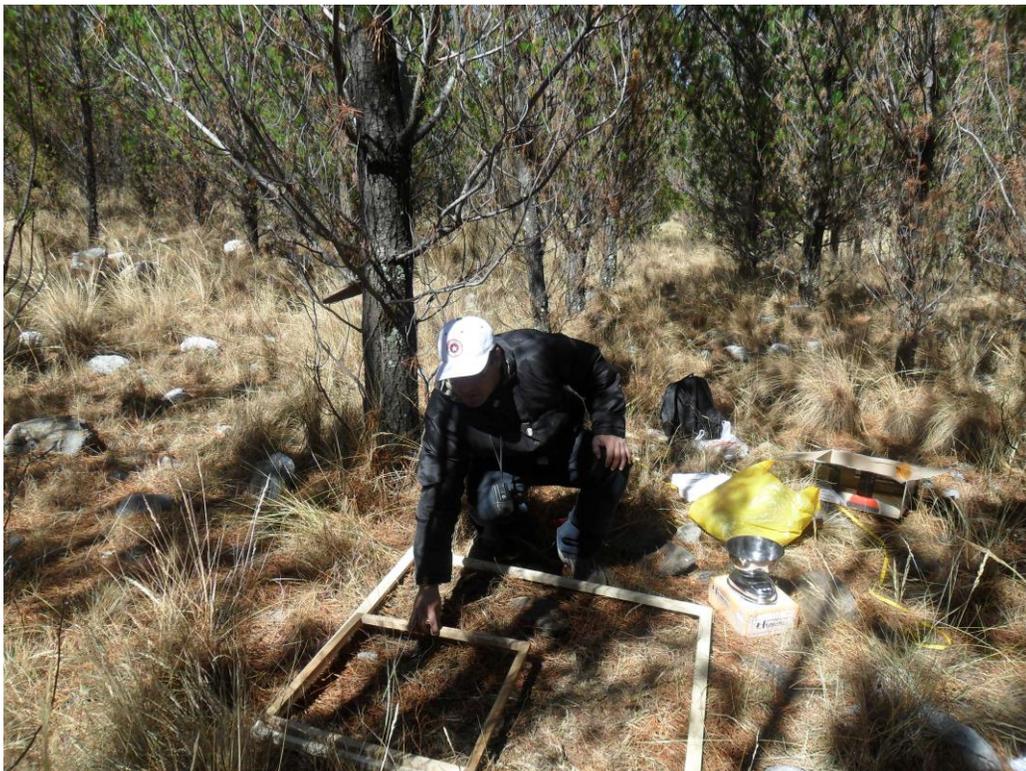
**Bosque de *Pinus radiata* en el sector Catacpata – Catac - Racuy**

Fotos 01 y 02: Iniciando con las mediciones dasométricas en el bosque forestal de pino, mediante el empleo de forcípula.





Fotos 03 y 04: Realizando el encuadre para el muestreo de la vegetación herbácea y hojarasca, mediante el empleo del marco de madera de 1 m<sup>2</sup> y 0.25m<sup>2</sup> respectivamente.





Fotos 05 y 06: Estaqueo de ejes en los sub cuadrantes, con el objeto de identificar el espacio de muestreo.





Foto 07: Balanza gramera digital, empleado en el pesaje del material herbáceo y hojasca.



Fotos 08 y 09: Bosque *Eucalyptus globulus* en la localidad de Marcará, nótese plantaciones de diferentes edades; recolección de horajasca dentro del sub cuadrante.





Fotos 10 y 11: Realizando acciones de medición dasométrica en el bosque de *Eucalyptus globulus* en la localidad de Catac-Recuay.





Fotos 12 y 13: Midiendo el DAP con forcípula en el Bosque *Eucalyptus globulus* (Catac); estufa de la UNASAM utilizada en el secado de muestras vegetales .





Fotos 14 y 15: Muestras debidamente acondicionadas y etiquetadas para su secado en estufa; nótese el rebrote a partir de tocones en el bosque de *Eucalyptus globulus* (Catac).





Fotos 16 y 17: Muestreo de suelos a prof. (0.0 a -0.25 m y -0.25 a -0.50) en los Bosques: *Eucalyptus globulus* (Catac) y *Pinus radiata* (Huaraz).



Fotos 18 y 19: Muestreo de suelos en los bosques de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiatus* en la localidad de Catac y Huaraz respectivamente.





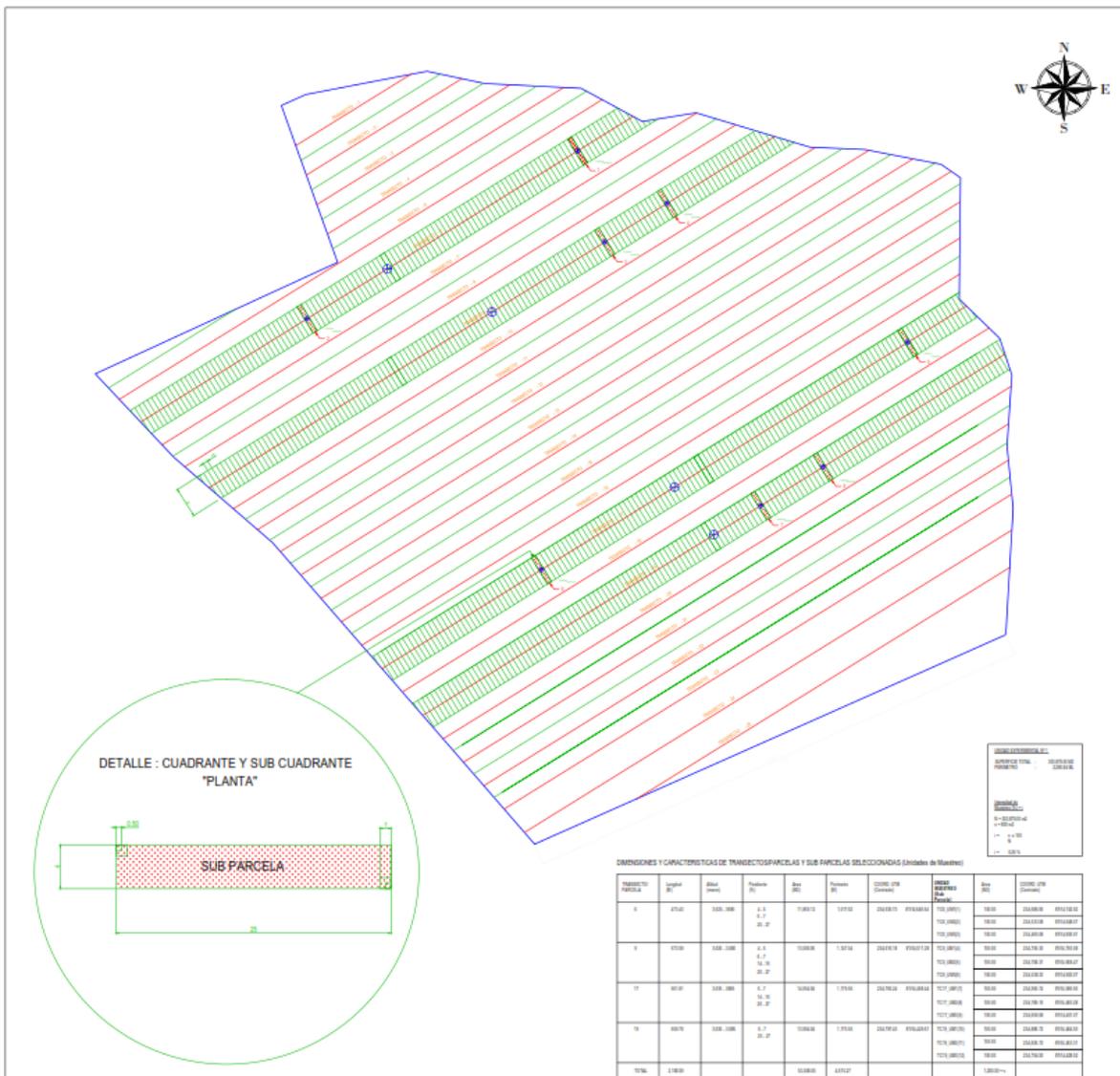
Foto 20: Muestreo de suelos a prof. de 0.0 a -0.25 m y -0.25 a -0.50) en el Bosque de *Eucalyptus globulus* en Catac; nótese el cilindro para el muestreo de la densidad aparente.



Foto 21: Muestreo de suelos (0.0-0.25m y 0.25-0.50) en el Bosque de *Eucalyptus globulus* en Marcará.

**A-4**

**MAPAS Y PLANOS**



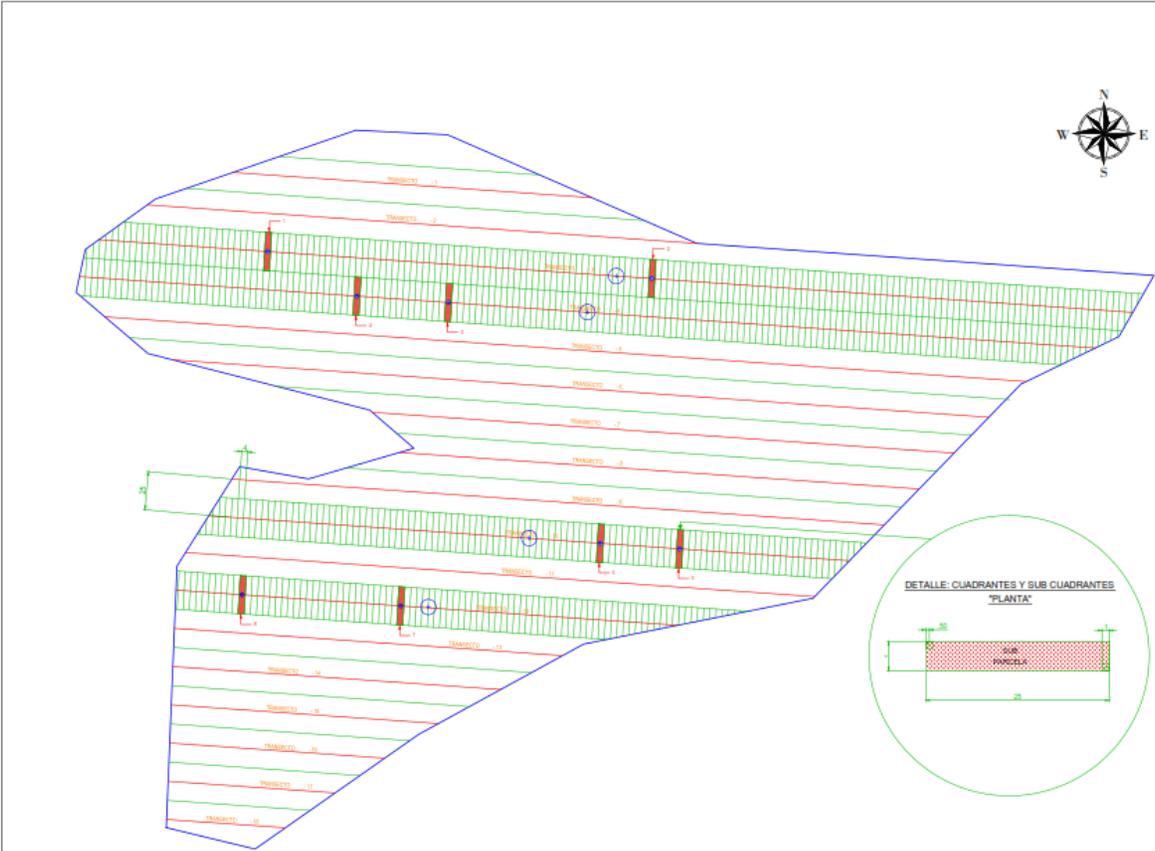
RESUMEN GENERAL	
ÁREA TOTAL	200000,00
ÁREA ÚTIL	100000,00
Escala:	
1:1000	
1:500	
1:200	

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE TRÁNSITOS/Parcelas Y SUB PARCELAS SELECCIONADAS (Unidades de Medidas)

TRÁNSITO/Parcela	Longitud (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	CÓDIGO (P/R)	CÓDIGO (P/R)	Área (m²)	CÓDIGO (P/R)	Área (m²)
1	4750	500,00	4,5	1,000	1,000	200000	000000	100,000	000000	000000,00
2	9500	1000,00	4,5	1,000	1,000	200000	000000	100,000	000000	000000,00
3	9500	1000,00	4,5	1,000	1,000	200000	000000	100,000	000000	000000,00
4	9500	1000,00	4,5	1,000	1,000	200000	000000	100,000	000000	000000,00
5	9500	1000,00	4,5	1,000	1,000	200000	000000	100,000	000000	000000,00
TOTAL	20000	2000,00	10,0	2,000	2,000			2000000		2000000,00

<b>UNIVERSIDAD DE SALAMANCA</b>		
<b>PROGRAMA DE DOCTORADO</b>		
<b>Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Aplicados a la Gestión Ambiental</b>		
Título: <b>Doctorado en el Área de Gestión Ambiental y Planificación de Recursos Naturales</b>		
Plan: <b>DEPARTAMENTO DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO (DCTE) - SECTOR COMERCIAL CC.CC. (DCTE - COMERCIO)</b>		
Responsable:	Director:	Plan de:
Ing. Pedro Pablo Calvo Calvo	Pd. Juan F. Calvo Calvo	<b>DUM-1</b>
Plan de:	Co-Director:	
	Ing. Pedro Pablo Calvo Calvo	
Fecha:	Revisión:	Fecha:
Edición de Plan:	1,000	Octubre 2015





DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE TRANSECTOS, PARCELAS Y SUB PARCELAS SELECCIONADAS (ordenadas de Menor a Mayor)

TRANSECTO PARCELA	Longitud (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	COORDENADAS (Centro)	ÁREA (m²)	Perímetro (m)	COORDENADAS (Centro)
1	871.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
2	861.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
3	851.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
4	841.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
5	831.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
6	821.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
7	811.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
8	801.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
9	791.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
10	781.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
11	771.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
12	761.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
13	751.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
14	741.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
15	731.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
16	721.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
17	711.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
18	701.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
19	691.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
20	681.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
21	671.00	1.24	2.7	1.00	1.00	223973.22 862177.10	173.0000	1000	224000.00 862150.00
TOTAL	1300.00						1.0000		

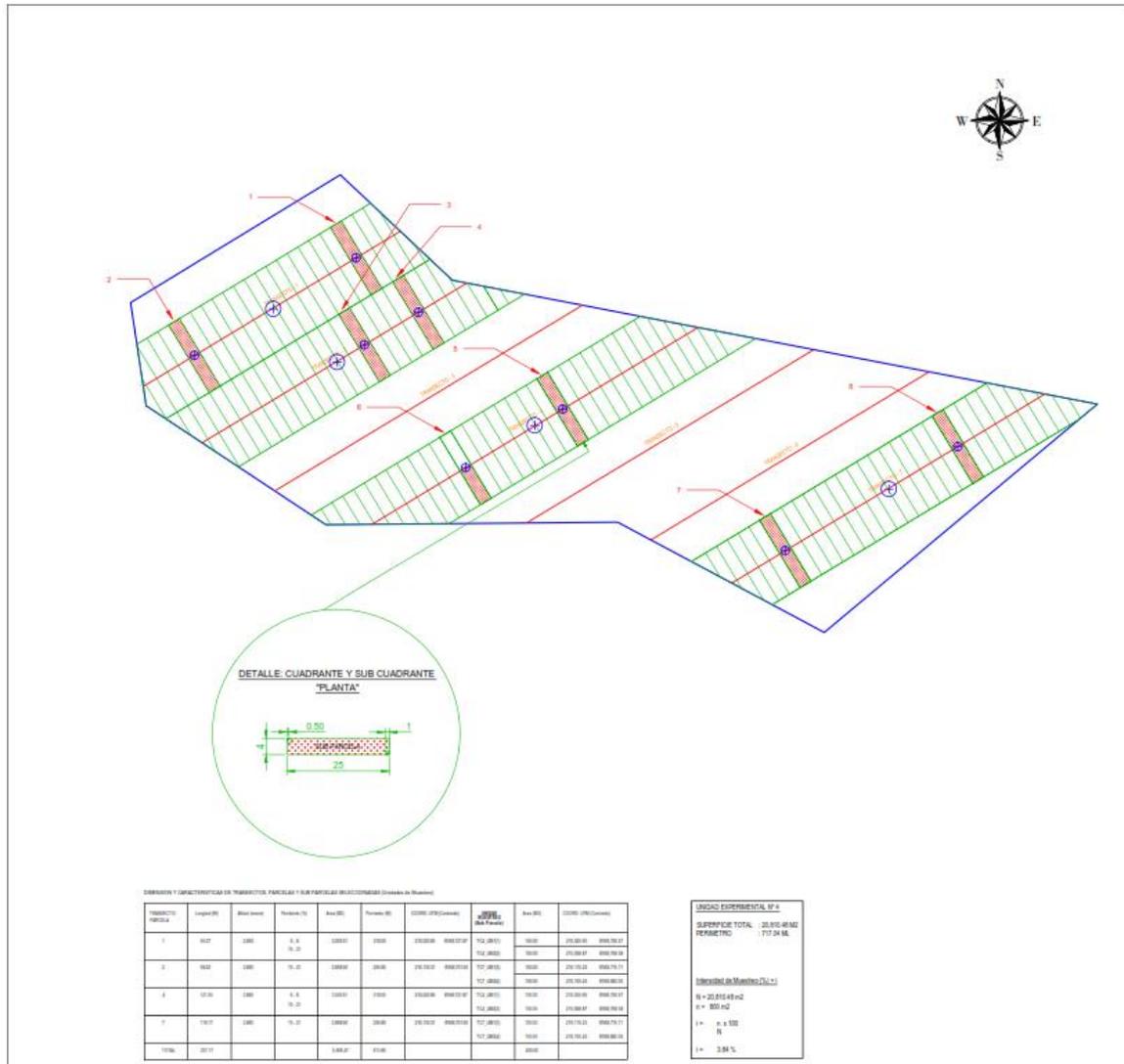
UNIDAD EXPERIMENTAL N.º 3  
 SUPERFICIE TOTAL: 162.000 m²  
 PARCELAS: 2.100 m²

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**  
 PROGRAMA DE DOCTORADO  
 Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Aplicados a la Gestión Ambiental

Departamento: **INIA**  
 Titular: **Dr. Juan Carlos Rodríguez**  
 Co-Titular: **Dr. Juan Carlos Rodríguez**

Título: **DUM-3**

Fecha: **1/10/2011**



DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE TRANSECTOS, PARCELAS Y SUB PARCELAS DE LOS CUADRANTES (Unidades de Medidas)

TRANSECTO PARCELA	Longitud (M)	Área (m²)	Número (N)	Área (M²)	Perímetro (M)	COORD. UTM (Easting)	COORD. UTM (Northing)	Área (M²)	COORD. UTM (Easting)	COORD. UTM (Northing)
1	627	1260	3, 4, 5, 6	1260	1260	172,2811	192,1912	1260	172,2811	192,1912
2	626	1260	7, 8	1260	1260	172,2811	192,1912	1260	172,2811	192,1912
3	625	1260	9, 10	1260	1260	172,2811	192,1912	1260	172,2811	192,1912
4	624	1260	11, 12	1260	1260	172,2811	192,1912	1260	172,2811	192,1912
5	623	1260	13, 14	1260	1260	172,2811	192,1912	1260	172,2811	192,1912
6	622	1260	15, 16	1260	1260	172,2811	192,1912	1260	172,2811	192,1912
7	621	1260	17, 18	1260	1260	172,2811	192,1912	1260	172,2811	192,1912
TOTAL	3717			1260	1260					

UNIDAD EXPERIMENTAL N.º 4  
 SUPERFICIE TOTAL: 20.910,45 M<sup>2</sup>  
 PERÍMETRO: 17734 ML

Identificación de Muestras (L1-L4)  
 N.º = 20.910,45 M<sup>2</sup>  
 n = 800 M<sup>2</sup>  
 I = n x 100  
 I = 3,84 %

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
 PROGRAMA DE DOCTORADO  
 Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Aplicados a la Gestión Ambiental

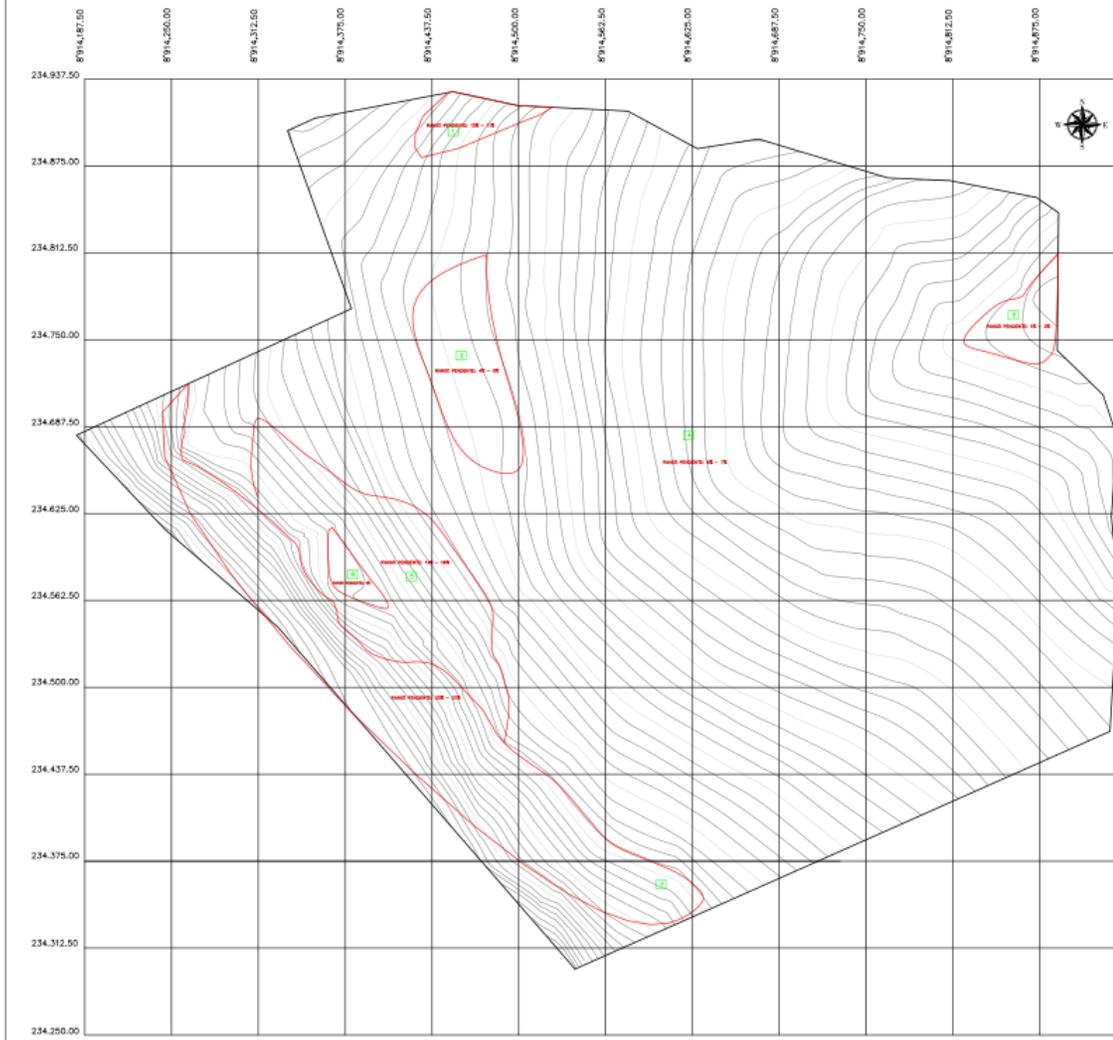
Título: "Evaluación de la Capacidad de Fijación de Carbono y el Potencial de Liberación de CO<sub>2</sub> en el Bosque Natural Páramo de Páramo"

Resumen: "Estudio de la Capacidad de Fijación de Carbono y el Potencial de Liberación de CO<sub>2</sub> en el Bosque Natural Páramo de Páramo"

Investigador: D.º Juan Carlos Sánchez  
 Director: D.º Juan Carlos Sánchez  
 Asesor: D.º Juan Carlos Sánchez

Plaza: DUM-4

Fecha: 1/2020

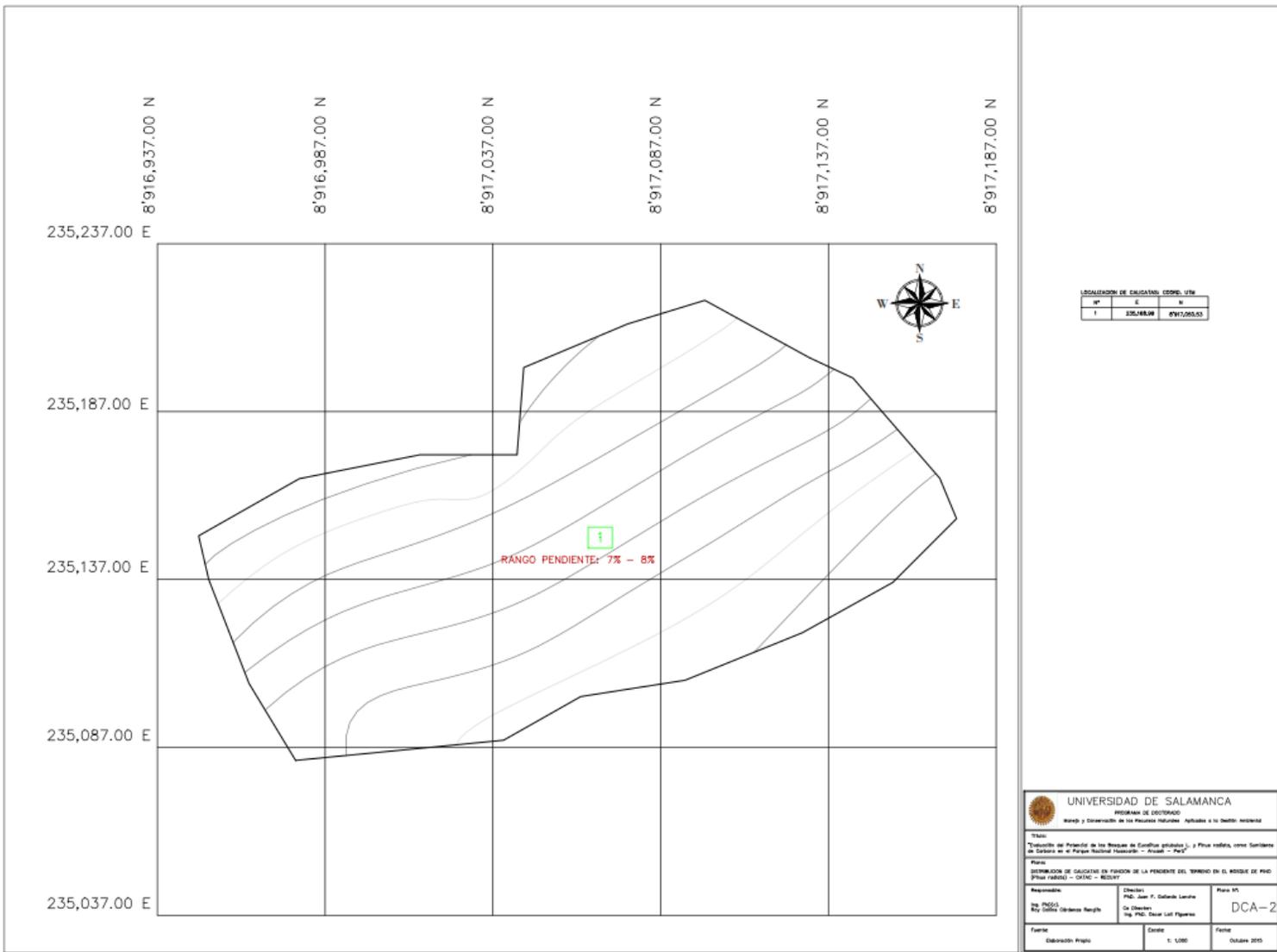


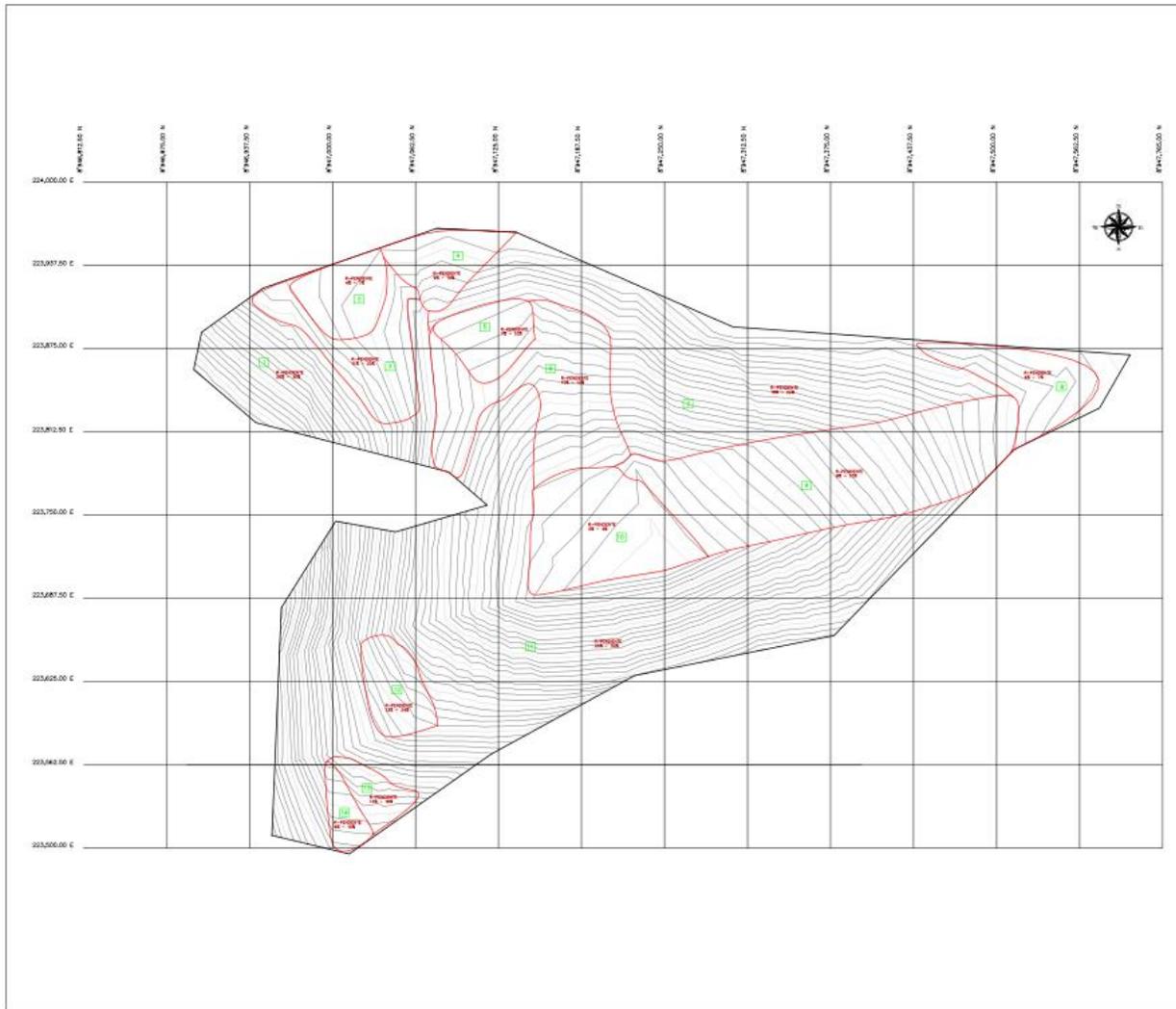
LOCALIZACION DE CALICATAS. COORD. UTM

Nº	E	N	Ejecutados
1	234,515	8914,775	*
2	234,521	8914,614	*
3	234,918	8914,643	*
4	234,685	8914,556	*
5	234,485	8914,455	*
6	234,445	8914,456	*
7	234,665	8914,233	*

\* Sección con pedregal rocoso con cascadas

 <b>UNIVERSIDAD DE SALAMANCA</b> PROGRAMA DE DOCTORADO Maestría y Conservación de los Recursos Naturales: Aplicada a la Gestión Ambiental		
Título: Evaluación del Potencial de los Bosques de Eucalipto globosa y Pinus radiata, como Sumideros de Carbono en el Parque Nacional Huescarán - Arequipa - Perú*		
Plan: DISTRIBUCION DE CALICATAS EN FUNCION DE LA PENDIENTE DEL TERRENO EN EL BOSQUE DE EUCALIPTO (Eucalyptus globosa) - CATAC - NEZUAY		
Responsable: Ing. ANDRÉS RIVERA Coordinador General	Director: ING. JUAN E. GARCÍA LÓPEZ Co. Director: Ing. ENRIQUE LÓPEZ FIGUEROA	Plano N.º: <b>DCA-1</b>
Fuente: Elaboración Propia	Escala: 1: 3,000	Fecha: Octubre 2015





Altura	Color	Linea
1	Verde	10m
2	Verde	20m
3	Verde	30m
4	Verde	40m
5	Verde	50m
6	Verde	60m
7	Verde	70m
8	Verde	80m
9	Verde	90m
10	Verde	100m
11	Verde	110m
12	Verde	120m
13	Verde	130m
14	Verde	140m
15	Verde	150m

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 Medio y Conservación de los Recursos Naturales, Aplicadas a la Gestión Ambiental

Título:  
 "Evaluación del Potencial de los Sitios de Curatización (Curtidos) y Pisos de Cosecha, como Sustentación de Cosechas en el Parque Natural Páramo de Cerrada - Páramo"

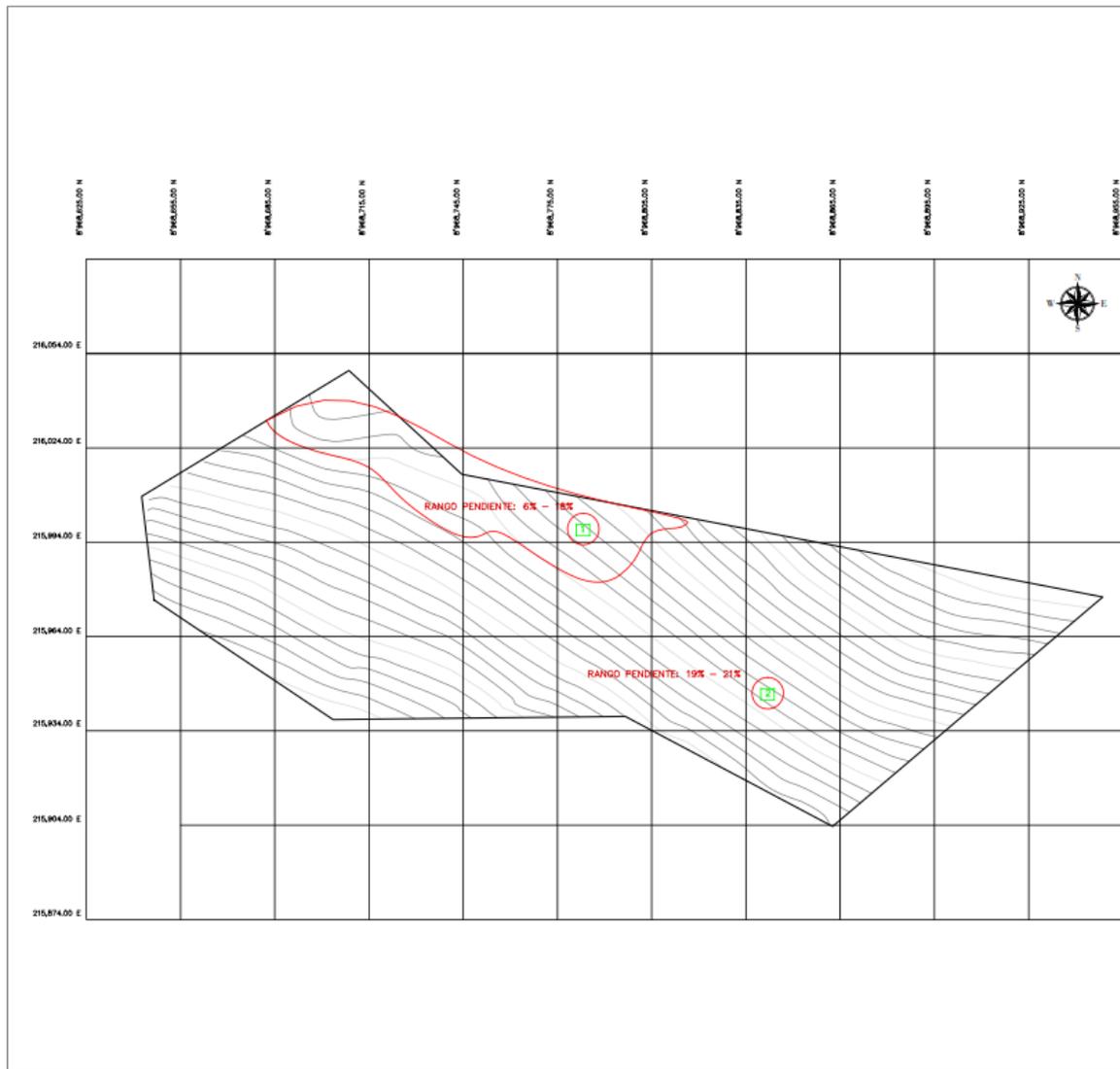
Plan:  
 DEMARCACIÓN DE CURTIDOS EN FUNCIÓN DE LA POSIBILIDAD DEL TIEMPO EN EL BOSQUE DE PINO (Zona de Cerrada - Páramo)

Elaborador:	Dirección:	Plan:
Ing. PhD.º Ray. Calle	Parque Natural de Cerrada	MT
Geógrafo	De Gestión	DCA-3
	Ing. PhD.º Oscar Luján	
	Geógrafo	

Fuente:  
 Elaboración Propia

Escala:  
 1:5.000

Fecha:  
 Octubre 2018



LOCALIZACION DE CAUSAS CODIG. UTM

Nº	E	N
1	216,962,71	216,948,84
2	216,960,87	216,948,82

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**  
 PROGRAMA DE DOCTORADO  
 Maestría y Conservación de los Recursos Acuáticos Aplicados a la Gestión Ambiental

Título:  
 "Influencia del Potencial de las Reservas de Escucha Global y el Agua subterránea en el Crecimiento de la Ciénaga de San Juan de los Ríos - Pinar"

Plan:  
 DISTRIBUCION DE CAUSAS EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TERRENO EN EL BOSQUE DE ENCINO (Carpinus betulus) - MADRID - ESPAÑA

Proponente: Dra. Fátima Rey Ochoa	Director: Prof. Juan F. Galván Lora	Página Nº: DCA-4
Revisor: Dra. Fátima Rey Ochoa	Co-Director: Dra. Fátima Rey Ochoa	Fecha: Octubre 2015

