



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DEL PÁRAMO EN RELACIÓN AL
CARBONO ORGÁNICO TOTAL ALMACENADO, EN LA COMUNIDAD
HUACONA SAN ISIDRO, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DEL
CHIMBORAZO”**

TESIS DE GRADO

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
ING. EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:
JOSÉ LUIS HERRERA ROBALINO**

**RIOBAMBA – ECUADOR
2011**

DEDICATORIA

A mis padres Marcela y Luis, a mi hermano David, y las montañas templos hermosos de fe y amor.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y familia, amigos!

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Facultad de Ciencias.

Al proyecto REDD-PÁRAMO, a la Embajada de Finlandia y a la fundación M.A.R.CO., a su director ejecutivo Ing. Carlos Falconí, y a todas las personas que la conforman por acogerme y apoyarme, ya que sin el apoyo de la fundación no habría sido posible el presente trabajo de investigación.

A la Dra. Susana Abdo por su valiosa colaboración en la dirección de la presente tesis.

Al Dr. Bolívar Flores miembro del tribunal de tesis por sus acertadas opiniones y colaboración.

A los docentes de la ESPOCH: Ing. Isabel Escudero, Ing. Mario Oñate, quienes aportaron importantes observaciones al desarrollo del presente trabajo.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE ING. EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal de Tesis certifica que el trabajo de investigación: “CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DEL PÁRAMO EN RELACIÓN AL CARBONO ORGÁNICO TOTAL ALMACENADO, EN LA COMUNIDAD HUACONA SAN ISIDRO, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DEL CHIMBORAZO”, de responsabilidad del señor egresado José Luis Herrera Robalino, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Yolanda Días DECANA FAC. CIENCIAS	-----	-----
Dr. José Vanegas DIRECTOR ESCUELA ING. EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL	-----	-----
Dra. Susana Abdo DIRECTORA DE TESIS	-----	-----
Dr. Bolívar Flores MIEMBRO DEL TRIBUNAL	-----	-----
Tec. Carlos Rodríguez DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN	-----	-----
NOTA DE TESIS	-----	

Yo José Luis Herrera Robalino, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual de la tesis de grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

José Luis Herrera R

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ADEVA	Análisis de varianza
C org	Carbono Orgánico
DA	Densidad aparente
Desv. Est.	Desviación estándar
MO	Materia Orgánica
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
PCM	Pruebas de comparación múltiple
REDD	Reducción de emisiones por deforestación y degradación

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	VII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IX
CAPÍTULO I.....	- 1 -
1. MARCO TEÓRICO.....	- 1 -
1.1. EL RELIEVE TERRESTRE	- 1 -
1.1.1. LOS FACTORES INTERNOS DEL RELIEVE.....	- 1 -
1.1.2. LOS FACTORES EXTERNOS DEL RELIEVE	- 2 -
1.1.3. LAS FORMAS DEL RELIEVE	- 4 -
1.2. LOS PÁRAMOS ECUATORIANOS	- 5 -
1.2.1. LA HISTORIA DEL USO Y LA CONSERVACIÓN DE LOS PÁRAMOS EN EL ECUADOR	- 9 -
1.2.2. LOS PÁRAMOS: ECOSISTEMAS PRODUCTIVOS CON LÍMITES	- 10 -
1.2.3. LA ALTERNATIVA PRODUCTIVA: LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL PÁRAMO	- 11 -
1.3. EL PERFIL DEL SUELO Y SUS HORIZONTES.....	- 15 -
1.3.1. NOMENCLATURA "A B C" PARA LOS HORIZONTES DEL SUELO	- 16 -
1.4. LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO	- 21 -
1.4.1. EL PAPEL DE LOS SUELOS EN EL CICLO DEL CARBONO.....	- 21 -
1.4.2. DINÁMICA DEL CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS	- 22 -
1.4.3. EL PAPEL FUNDAMENTAL DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS	- 26 -
1.4.4. ECOSISTEMAS FORESTALES: EMISIÓN DE CO ₂ Y CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS.....	- 26 -
1.4.5. TIERRAS CULTIVADAS: EL PAPEL DE LAS PRÁCTICAS AGRONÓMICAS	- 27 -
1.4.6. MEDIDA DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN EL SUELO.....	- 28 -

1.4.7.	EVALUACIÓN DEL CAMBIO EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO	- 32 -
1.5.	CONTENIDO DE CARBONO EN LOS PÁRAMOS ECUATORIANOS	- 35 -
CAPÍTULO II.....		- 37 -
2.	METODOLOGÍA	- 37 -
2.1.	UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD.....	- 37 -
2.2.	DIAGNÓSTICO BASE DE LOS USOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DEL SUELO EN LA COMUNIDAD.....	- 37 -
2.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CANTIDAD DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL ALMACENADO EN LOS SUELOS BAJO USO AGRÍCOLA, DE PLANTACIÓN FORESTAL Y PAJONAL	- 38 -
2.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	- 41 -
CAPÍTULO III.....		- 45 -
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 45 -
3.1.	DIAGNÓSTICO BASE DE LOS USOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DEL SUELO EN LA COMUNIDAD.....	- 45 -
3.1.1.	ENTREVISTAS A ADULTOS MAYORES.	- 45 -
3.1.2.	ASPECTOS GENERALES DE LA COMUNIDAD	- 51 -
3.1.3.	DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL USO DEL SUELO.....	- 53 -
3.2.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CANTIDAD DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL ALMACENADO EN LOS SUELOS BAJO USO AGRÍCOLA, DE PLANTACIÓN FORESTAL Y PAJONAL.....	- 55 -
3.2.1.	RESULTADOS.....	- 55 -
3.2.2.	RELACIÓN DEL CONTENIDO DE C ORG. POR USO DE SUELO Y ENTRE LOS PISOS ALTITUDINALES.	- 57 -
3.2.2.1.	Relación del contenido de C org. en el uso de suelo agrícola.	- 58 -
3.2.2.2.	Relación del contenido de C org. en el uso de suelo plantación forestal.....	- 60 -
3.2.2.3.	Relación del contenido de C org. en el uso de suelo pajonal.	- 62 -
3.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	- 64 -
CAPÍTULO IV		- 70 -
4.	CONCLUSIONES.....	- 70 -
CAPÍTULO V		- 72 -
5.	RECOMENDACIONES	- 72 -
CAPÍTULO VI		- 74 -

6. RESUMEN.....	- 74 -
SUMMARY	- 76 -
CAPÍTULO VII	- 78 -
7. BIBLIOGRAFÍA.....	- 78 -
CAPÍTULO VIII	- 81 -
8. ANEXOS.....	- 81 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Descripción de los tratamientos.	- 39 -
Tabla N° 2. Matriz del diseño.	- 42 -
Tabla N° 3. Tabla del análisis de Varianza (ADEVA).	- 43 -
Tabla N° 4. Matriz de comparación.	- 44 -
Tabla N° 5.	- 46 -
Tabla N° 6.	- 47 -
Tabla N° 7.	- 47 -
Tabla N° 8.	- 48 -
Tabla N° 9.	- 49 -
Tabla N° 10.	- 50 -
Tabla N° 11. Resultados de los análisis de laboratorio resumidos.	- 56 -
Tabla N° 12. Contenido de carbono orgánico.	- 56 -
Tabla N° 13. Matriz de tratamientos vs repeticiones.	- 64 -
Tabla N° 14. Tabla de análisis de varianza.	- 64 -
Tabla N° 15. Sumatorias ($\sum y_i$) ordenados con su respectiva nomenclatura.	- 65 -
Tabla N° 16. Restas entre combinaciones de ($\sum y_i$) previamente ordenadas descendientemente.	- 66 -
Tabla N° 17. Matriz de comparación con el valor de referencia (se encuentran resaltados en amarillo los valores que son mayores al valor de referencia).	- 67 -
Tabla N° 18. Descripción de los tratamientos entre los cuales no existen diferencias significativas. . -	68 -
Tabla N° 19. Descripción de los tratamientos entre los cuales existen diferencias significativas. -	69 -

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Contenido medio de carbono orgánico para algunas unidades de suelos FAO-UNESCO y unidades de suelos WRB (FAO/UNESCO (1974) y unidades de suelos WRB (de Batjes, 1996)	- 29 -
Cuadro N° 2. Total de existencias de carbono orgánico del suelo (COS) y contenido medio (kg C/m ²) en las principales Zonas Agroecológicas (para los 0,3 y 1 m superiores) (FAO/UNESCO (1974) y unidades de suelos WRB (de Batjes, 1999))	- 31 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Mosaico de horizontes principales.	- 17 -
Figura N° 2. Mosaico de horizontes mezcla.	- 18 -
Figura N° 3. Mosaico de horizontes con las principales letras sufijo.....	- 20 -
Figura N° 4. Modelo de la dinámica del carbono en el suelo (Balesdent et al., 2000).....	- 24 -
Figura N° 5. Ubicaciones de la materia orgánica del suelo en la matriz del suelo (Chenu, sin publicar); ePOM: partículas externas de materia orgánica; iPOM: partículas internas de materia orgánica	- 25 -
Figura N° 6. Evolución de la concentración de carbono en los suelos limosos entre 1928 y 1991 con o sin adición de abonos orgánicos (lugar experimental del INRA, Las 42 parcelas, Versailles, Francia)	- 32 -
Figura N° 7. Evolución del carbono en el experimento de conversión de tierras de pastoreo a tierra arable.	- 33 -
Figura N° 8. Disminución del carbono orgánico del suelo después de la deforestación y el cultivo de maíz (Arrouays y Pellisier, 1994).....	- 34 -

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico N° 1.	- 46 -
Grafico N° 2.	- 47 -
Grafico N° 3.	- 47 -
Grafico N° 4.	- 48 -
Grafico N° 5.	- 49 -
Grafico N° 6.	- 50 -
Grafico N° 7. Contenido de carbono orgánico por piso altitudinal y uso de suelo.	- 57 -
Grafico N° 8. Contenido de carbono orgánico total por piso altitudinal.	- 57 -
Grafico N° 9. Relación de contenido de C org. por profundidad para el uso de suelo agrícola en ambos pisos altitudinales.	- 58 -
Grafico N° 10. Relación de contenido de C org. por profundidad para el uso de suelo plantación forestal en ambos pisos altitudinales.	- 62 -
Grafico N° 11. Relación de contenido de C org. por profundidad para el uso de suelo pajonal en ambos pisos altitudinales.	- 63 -

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1. Vista de la comunidad, se aprecia el centro urbano en la parte derecha de la imagen.	- 51 -
Fotografía N° 2. Perfil característico del suelo.....	- 53 -

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Coordenadas de los linderos de la comunidad.....	- 81 -
Anexo N° 2. Modelo del cuestionario para la entrevista.....	- 84 -
Anexo N° 3. Resultados completos entregados por el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.....	- 86 -
Anexo N° 4. Especies vegetales representativas de los páramos ecuatorianos y sus usos.....	- 88 -
Anexo N° 5. Fotografías del desarrollo de la investigación.....	- 89 -

INTRODUCCIÓN

Debido al proceso del calentamiento global, causado (al menos en parte) por el ser humano y sus actividades que provocan la acumulación de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, clorofluorocarbonos, ozono), la preocupación mundial por la reducción de estos gases ha aumentado, tal es así que el Protocolo de Kioto entró en vigor en febrero del año 2005. Uno de los lineamientos de este protocolo para reducir las emisiones y cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ha sido la captura del carbono por medio de la biomasa terrestre y el suelo, según consta en los artículos 1.3 y 1.4 del protocolo (FAO, 2002).

Dada la gran cantidad de carbono orgánico almacenado en los suelos de los páramos, éstos representan una oportunidad para las comunidades parameras para entrar a los mercados de pago por conservación de carbono, significando esto al mismo tiempo un ingreso económico y además un alivio de la presión del ser humano sobre este ecosistema.

El Ecosistema Páramo es un pastizal alpino neotropical, que cubre grandes áreas entre la línea de árboles entre (3000 - 3800 m.s.n.m.) y el límite de la nieve (4,400 -4,800) m.s.n.m.) en los Andes del Norte (Luteyn, 1992; Medina, Vásquez 2001). Este ecosistema presenta características importantes a ser conservadas en el aspecto cultural, social y natural, la importancia ecológica se refiere a la elevada biodiversidad (especialmente florística) que tiene, tomando en cuenta sus características climáticas y altitudinales, su papel en la regulación de la dinámica hídrica, su función como reservorio de carbono. Los suelos del páramo centro y norte del Ecuador, almacenan grandes cantidades de carbono orgánico, debido a sus características edafológicas relacionadas con su origen de cenizas volcánicas modernas (cuaternario) y a su altura sobre el nivel de mar, dando como resultado una descomposición lenta de la materia orgánica, así concentrándose está en la parte superior del suelo.

La importancia económica se centra en que es la fuente productiva para sus habitantes, ya sea por la agricultura, ganadería de especies mayores o menores, en menor medida la recolección y el uso de productos forestales maderables o no maderables, además del potencial referente al ecoturismo, aún no desarrollado en la zona de estudio.

La importancia cultural se refiere al rico legado que los habitantes del páramo (principalmente indígenas) han heredado, esta es expresada por medio de sus tradiciones, en sus fiestas, sus costumbres de vida, su cosmovisión y la tradición oral.

El páramo ecuatoriano en general, y los páramos de la provincia del Chimborazo se encuentran actualmente bajo una importante presión por las actividades humanas, entre estas tenemos el avance de la frontera agrícola, las quemas y la ganadería ovina y bovina, y debido a que los habitantes de este ecosistema se ven obligados a sembrar cultivos a mayor altura –consecuentemente de menor productividad- debido a que las partes bajas de sus territorios muestran una tendencia a agotar su capacidad productiva.

Es así que la Embajada de Finlandia, a través del Fondo Finlandés de Cooperación Local, en colaboración con Fundación M.A.R.CO. (Minga para la Acción Rural y la Cooperación), el CIP (Centro Internacional de la Papa), CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina), y la UvA (Universidad de Ámsterdam) han llevado a cabo el proyecto llamado “El Ecosistema Páramo y potenciales pagos REDD para conservación de carbono” en dos comunidades piloto dentro de la COCIHC (Corporación de Organizaciones Campesinas e Indígenas de las Huaconas y Culluctús), y como parte de tal proyecto el presente trabajo de investigación es desarrollado en la Comunidad Huacona San Isidro, con el objetivo de caracterizar el suelo del páramo en relación al carbono orgánico total almacenado.

Para que el objetivo sea alcanzable se han desarrollado los objetivos específicos “Realizar un diagnóstico base de los usos históricos del suelo y usos actuales del suelo en la comunidad” y “Determinar y realizar un análisis comparativo de la cantidad de carbono orgánico total almacenado en los suelo bajo uso agrícola, de plantación forestal, y pajonal”.

En la comunidad la agricultura está siendo dejada de lado por la ganadería debido a que es mas rentable, la agricultura tiende a ser principalmente fuente de alimentos para el

autoconsumo de los habitantes⁽¹⁾. Consecuentemente con el cambio productivo gradual de agricultura a ganadería, hay una mayor incidencia de quemas de pajonal bajo la idea de que luego de ésta, el pajonal se regenera con nuevos brotes verdes, aptos para la alimentación del ganado, pero no se ha tomado mucho en cuenta que esta actividad trae consigo un impacto importante en el suelo del páramo, porque se pierde la cobertura vegetal propendiendo a la oxidación de la materia orgánica contenida en el suelo y es afectada la estructura de la parte superior del suelo además de matar a los microorganismos que viven en esa zona. Entre los cambios de uso del suelo en la comunidad se cuenta la introducción de plantaciones forestales de pino (*Pinus Radiata*) cerca al centro urbano aproximadamente por el año 1998⁽¹⁾ y que actualmente una de las dos plantaciones ha sido explotada.

Luego de la presente investigación se han obtenido resultados experimentales y datos de campo que sugieren usos adecuados de los suelos para la conservación y el sustento futuro de sus habitantes.

1: Diagnóstico Proyecto Agroforestal, Fundación Marco, 2009

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. EL RELIEVE TERRESTRE

1.1.1. LOS FACTORES INTERNOS DEL RELIEVE

El relieve terrestre está constituido por las rocas formando pliegues o fallas.

Una roca es una porción de la corteza terrestre que está compuesta por varios minerales. Aunque la mayor parte son sólidas, también hay rocas líquidas como el petróleo. Las rocas se clasifican en tres grupos:

- Las rocas magmáticas se forman por el enfriamiento del magma puede tener lugar en el interior de la Tierra por un proceso muy lento, como ocurre con el granito. También puede enfriarse de manera rápida al ser expulsado al exterior en una erupción volcánica.
- Las rocas sedimentarias se forman por la erosión de otras rocas y cuyos restos han sido transportados por ríos, mares, viento, etc., y se han depositado en algún lugar. También pueden proceder de depósitos orgánicos.
- Las rocas metamórficas nacen por la transformación de las anteriores al sufrir una gran presión o calor. El granito se convierte en gneis, y la caliza en mármol. Las rocas se transforman por causas muy diversas: erosión, presión, calor,

sedimentación, etc. Esto da lugar a otro tipo de rocas. Este proceso se llama ciclo de las rocas.

La formación del relieve

Las rocas constituyen la corteza terrestre. Se pueden encontrar formando grandes cordilleras de plegamiento, porque los materiales se han plegado o formando fallas, porque en lugar de plegarse se han fracturado y desplazado en bloques. El pliegue es una ondulación de los materiales plásticos y moldeables. La falla es la fractura y desnivelación de los materiales de la corteza. Se trata de materiales duros y rígidos que al sufrir presiones se rompen en vez de plegarse.

Los pliegues y las fallas, así como volcanes y terremotos, son el resultado de las fuerzas internas constructoras del relieve, estas fuerzas se relacionan con las placas que forman la corteza terrestre. En las zonas de subducción se generan los pliegues, los volcanes y los terremotos. Las fallas se encuentran en macizos antiguos, rígidos y cristalizados.

1.1.2. LOS FACTORES EXTERNOS DEL RELIEVE

Las formas del relieve cambian lentamente por la acción de los factores externos: el viento, el agua, el hielo, y se sedimentan en las zonas más bajas. De esta manera, el relieve se transforma. Las rocas se rompen de diversas maneras:

- Por la variación brusca de temperatura, en zonas áridas y en húmedas y frías.
- Por la disolución de minerales, como la caliza, que da lugar a cuevas y ríos subterráneos.

La erosión pluvial, fluvial y litoral

El agua es el factor erosivo más importante en las zonas de clima húmedo, ejerce su acción erosiva de diversas formas:

La erosión pluvial provocada por la lluvia, produce arroyadas que arrastran los suelos y las rocas.

La erosión fluvial producida por las corrientes de agua (arroyos y ríos). Es la más intensa, arranca los materiales rocosos, los transporta y los sedimenta en zonas más bajas construyendo así formas de relieve: barrancos, valles, cañones y llanuras aluviales.

La erosión litoral, producida por las aguas marinas, altera las costas a través de la acción de las olas dando lugar a los acantilados. Las corrientes depositan arenas construyendo playas.

La erosión eólica, glacial y de los seres vivos

El viento es un agente erosivo cuya acción sobre el relieve recibe el nombre de erosión eólica, es propio de las zonas secas, especialmente los desiertos.

El hielo es un agente erosivo cuya acción se denomina erosión glacial, es propia de zonas frías y de alta montaña. Los glaciares acumulan grandes masas formando circosglaciares que más tarde darán lugar a lagos. Al descender el glaciar hacia lugares más bajos mediante lenguasglaciares, van formándose valles glaciares.

Los seres vivos intervienen en el proceso erosivo: la vegetación disminuye la erosión de los suelos, pero también pueden romper las rocas donde hay poco suelo. La actividad del ser humano es un agente que modifica el relieve de manera notable a través de cultivos, industrias, construcción de túneles etc., denominándose erosión antrópica.

1.1.3. LAS FORMAS DEL RELIEVE

Las formas del relieve continental

Las principales son las montañas, las mesetas, las llanuras y las depresiones.

- Las montañas son grandes elevaciones del terreno, hay dos tipos de montañas:
 1. Las montañas jóvenes, son más recientes y proceden de la era terciaria como los Pirineos, los Alpes, los Andes y el Himalaya.
 2. Las montañas antiguas se formaron en los plegamientos de la era primaria: están muy erosionadas y son de menor altitud como las montañas del centro de Europa o los Apalaches en América del Norte. Normalmente las montañas no están aisladas sino unidas formando cordilleras como las Rocosas, en América del Norte: los Andes, en América del Sur: la cordillera del Himalaya en Asia: los Alpes y los Pirineos, en Europa
- Las mesetas son zonas elevadas, por encima de los 300 m, cuya superficie superior es más o menos llana, son el resultado de la erosión de antiguas cordilleras, pueden tener gran altitud como la de Pamir, que es la más alta del mundo con unos 4.000 m y se encuentra en el centro de Asia.
- Las llanuras son zonas bajas, donde se han acumulado sedimentos en épocas recientes, suelen localizarse al lado de relieves elevados. Otras llanuras, como los Llanos del Orinoco, son fluviales y se encuentran a los lados de los ríos. También existen llanuras litorales: la más importante es la del este de Estados Unidos.
- La depresión es una zona hundida entre dos elevaciones. Pueden ser relativas, cuando están por encima del nivel del mar, o absolutas, cuando están por debajo de ese nivel.

Riesgos naturales que modifican el relieve

Los terremotos y los volcanes tienen la capacidad de alterar significativamente el relieve terrestre, las zonas de riesgo volcánico coinciden con las zonas de riesgo sísmico.

1.2. LOS PÁRAMOS ECUATORIANOS

Los páramos sudamericanos propiamente dichos se encuentran desde la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia y la Cordillera de Mérida en Venezuela, hasta la depresión de Huancabamba en el Perú (aproximadamente entre los 11° de latitud Norte y los 8° de latitud Sur), y constituyen un componente importante de la biodiversidad de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú (Luteyn 1999; Hofstede *et al.* 2003). También hay páramos en Costa Rica y Panamá (Kappelle 2003), mientras que en las montañas tropicales de otros continentes se utilizan nombres diferentes para un ecosistema que puede ser considerado un bioma mundial, para el cual el término “páramo” está siendo crecientemente utilizado en varios idiomas. Las montañas tropicales del África oriental (Hedberg & Hedberg 2003) y las alturas de Papua-Nueva Guinea y otros lugares elevados y tropicales en el Asia y Oceanía poseen ecosistemas sorprendentemente similares a los páramos americanos en términos paisajísticos y fitosociológicos, lo que se ha llamado “adaptaciones convergentes y diferenciación divergente” (Mena 1984, Hedberg 1992, Hope & Hnatiuk 2003). Esta ubicuidad se explica fácilmente si se consideran las dos características biogeográficas y ecológicas esenciales para que éstos existan y que se pueden resumir en una sola frase: gran altitud en la zona tropical. Otras áreas del mundo como México y Guatemala, Hawai y Nueva Zelanda poseen ecosistemas parecidos. Las altitudes entre las que se encuentra este ecosistema típicamente tropical varían bastante, pero, en términos generales, se encuentra sobre la línea de bosques continuos (los bosques andinos) y llega hasta donde pueden existir plantas por debajo las nieves eternas. En el Ecuador se usa comúnmente la altitud de 3.500m como límite inferior, pero las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas hacen que este límite varíe mucho y que se encuentren a veces páramos desde los 2.800 m, especialmente en el sur del país, o bosques cerrados hasta por sobre los 4.000 m (Medina

&Mena 2001). En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6% del territorio nacional (Medina & Mena 2001). En términos relativos, Ecuador es el país que más páramos tiene con respecto a su extensión total. Colombia tiene la mayor extensión de páramos en términos globales, mientras que los demás países los tienen en proporciones menores. Los páramos están por encima de lo que es o lo que algún día fue el ecosistema de bosques andinos, en la actualidad fuertemente alterado (Coppus *et al.* 2001). La zona de transición entre los dos ecosistemas, marcada en términos generales por la disminución en la altura y densidad de los árboles con respecto al bosque nublado inferior, se denomina generalmente subpáramo (Cuatrecasas 1958).

Los páramos forman parte de una notable biodiversidad a escala de ecosistemas que se presenta en el Ecuador gracias a tres factores principales: la situación ecuatorial, la presencia de la cordillera de los Andes y otras sierras menores, la existencia de una fuente perhúmeda amazónica y de varias corrientes marinas frías y cálidas frente a las costas. Dada la gran altitud y por esto las bajas temperaturas y la alta incidencia de neblina e irradiación solar, el clima es muy extremo para los seres vivos presentes. El clima durante el año es estable, pero hay una diferencia muy marcada entre el día y la noche, lo que se puede resumir en “verano todos los días, invierno todas las noches” (Hedberg & Hedberg 1979). No obstante su gran altitud y sus extremas condiciones climáticas, los páramos muestran una notable pluralidad de seres vivos en varios grupos, especialmente plantas, aves, anfibios y mamíferos. Estas especies, provenientes del norte, el sur, la Amazonía o evolucionadas en el propio páramo desde hace millones de años, cuando los Andes empezaron su ascenso como una gran arruga tectónica (van der Hammen & Cleef 1986, Ulloa & Jørgensen 1995), se han adaptado a condiciones climáticas extremas. La alta irradiación solar, las bajas temperaturas propias de las alturas y los cambios drásticos de temperatura a lo largo del día (que generan una estacionalidad diaria superficialmente parecida a la estacionalidad anual de las latitudes mayores) han generado una biodiversidad especial que presenta adaptaciones como la vellosidad, los colores oscuros, la pequeñez y dureza en las hojas, la protección de órganos jóvenes en materia (viva o muerta) producida con anterioridad y la disminución del metabolismo en las horas de más frío, entre otras. En algunos casos, como el de los frailejones, las adaptaciones pueden ser microscópicas y muy sofisticadas. Entre los animales sobresale en este sentido el colibrí “estrella del

Chimborazo” (*Oreotrochiluschimborazo*), que disminuye su metabolismo hasta casi llegar a un estado de coma en las horas de la noche y madrugada, para recuperarse y volar en busca de néctar en los momentos menos fríos del día (Carrión 2000). En otras especies, las adaptaciones parecen estar ausentes, y posiblemente muchas de ellas sobreviven en este medio gracias a la protección que ofrece la vegetación circundante (Lægaard 1992). Es notable, por ejemplo, la cantidad de pequeñas hierbas aparentemente poco acondicionadas a este ambiente que crecen entre el pajonal, las rosetas, los arbustos y las almohadillas (Mena & Balslev 1986). A lo largo de su extensión en Sudamérica se han reconocido más de 4.000 plantas vasculares parameras (Rangel 2000), la mayoría de ellas endémicas a este ecosistema (Luteyn 1999). En el Ecuador se ha estimado la existencia de 1.500 especies de plantas vasculares, una cifra alta para ecosistemas montañosos (León Yáñez 1993). Al contrario de lo que parece suceder en los otros países parameros, especialmente Colombia y Venezuela, la discusión acerca de cuán natural es el páramo está bastante activa en el Ecuador, donde por lo menos los típicos pajonales parecen haber sido en buena parte generados en algunos casos desde hace siglos por acciones humanas como la quema, el pastoreo con ganado foráneo y la plantación de especies forestales exóticas (Lægaard 1992; Hofstede 1995, 2001, 2002b; Sarmiento y Frolich 2002).

La existencia de manchas de bosques densos en altitudes de hasta 4.000 metros en sitios relativamente protegidos en medio de una matriz de pajonal, que muchas veces sigue siendo quemada y pastoreada, hace surgir la interrogación: ¿son remanentes de ecosistemas boscosos mucho más extensos y que se han salvado de las quemas? ¿O están en las zonas donde naturalmente los bosques pueden crecer y mantenerse a esas altitudes, con o sin quemas? También existen páramos de pajonal que parecen no haber sufrido impactos mayores y que representan una vegetación natural. Este tipo de páramo en el Ecuador, el pajonal, es uno de los varios tipos que se pueden encontrar en el país. Un criterio útil para clasificarlos (Proyecto Páramo 1999, Mena & Medina 2001) es que a más de los pajonales, que representan un 60% de la totalidad de la superficie de páramos del Ecuador, hay:

- Páramos de frailejones, dominados por *Espeletia pycnophylla* en las provincias limítrofes con Colombia y en una población aberrante en el centro del país (Llanganates).

- Páramos húmedos hacia la hoya amazónica, donde los pajonales son remplazados por otras herbáceas como el bambú enano *Neurolepis aristata* y varias formadoras de almohadillas.
- Páramos secos sobre arenales, especialmente alrededor del Chimborazo, donde la paja más común (*Calamagrostisintermedia*) es remplazada en gran parte por *Stipa ichu*.
- Superpáramo en las montañas más altas, donde pocas especies vegetales pueden sobrevivir a las condiciones edáficas y climáticas sobre los 4.200 metros.
- Superpáramos azonales en los lahares del Cotopaxi y el Antisana, con una vegetación en sucesión temprana que, a elevaciones mucho menores, evoca los superpáramos verdaderos.
- Páramo arbustivo, endémico al Parque Nacional Podocarpus en el Sur del país.

Los suelos de los páramos son una de sus características más sobresalientes, especialmente por la significación que han adquirido en los últimos tiempos como los mantenedores primarios del servicio ambiental máspreciado del páramo: la captación y distribución de agua hacia las tierras bajas. En el Ecuador la mayor parte de ellos es de origen volcánico reciente. Esta característica, sumada a la frialdad general del clima de los páramos, que evita que la materia orgánica se descomponga rápidamente, genera una estructura tridimensional especial que funciona como una esponja que cumple con la función hidrológica mencionada. Además, este suelo al contener hasta un 50% de materia orgánica, es un sumidero de carbono y así contribuye, de manera pasiva pero importante, a paliar los efectos del calentamiento global por causa de la acumulación atmosférica de gases como el dióxido de carbono (Podwojewski & Poulénard 2000a, b).

1.2.1. LA HISTORIA DEL USO Y LA CONSERVACIÓN DE LOS PÁRAMOS EN EL ECUADOR

El estado de conservación de este ecosistema en el Ecuador, al igual –en términos generales– que en los otros países parameros, puede resumirse diciendo que existe un mosaico de diferentes estados desde bien conservado hasta muy degradado. Un estudio demostró para el Ecuador una C invertida en el sentido de que el estado de conservación de los páramos del norte, del sur y del oriente es mejor que el de los páramos centrales y occidentales (Coppus *et al.* 2001). Hofstede *et al.* (2002a) han estimado que la mitad de todos los páramos de pajonal tiene un bajo estado de conservación y apenas una décima parte está en buen estado de conservación. La explicación básica para la aparición de este patrón parece estar en que las provincias de la Sierra central y particularmente en la cordillera occidental, han sido más accesibles y han tenido históricamente más habitantes y que las otras zonas, especialmente las orientales, presentan una topografía y un clima poco propicios para los asentamientos y las actividades de los seres humanos. La utilización de los páramos ecuatorianos, especialmente los de la sierra central (fundamentalmente las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar y Cañar) se remonta a tiempos preincaicos (Ramón 2002, Suárez 2002). Se encuentran fortificaciones, miradores, reservorios y otros indicios de culturas como la Cañari, la Puruhá, la Caranqui y la Palta en varios puntos a lo largo de las partes altas de los Andes ecuatorianos. El páramo constituyó uno de los elementos unificadores del Imperio Inca, como lo demuestra, por ejemplo, el hecho de que mucho del Qapac Ñan o Gran Camino del Inca vaya por este ecosistema, o las varias fortificaciones y observatorios estratégicos (pucarás) incas en las alturas andinas. La llegada de la invasión española en el siglo 15 representó el segundo gran cambio para los páramos ecuatorianos. El primero fue la colonización Inca, que importó técnicas avanzadas para la agricultura, entre ellos el uso de camélidos y con ellos los usos directos de páramo y no sólo para vías y fortificaciones. Los usos tradicionales incluían el pastoreo ligero para camélidos y, en las partes más bajas, agricultura con tubérculos andinos y ganadería de animales menores como el cuy. La gente europea parece haber encontrado cierto parecido entre los ecosistemas altoandinos que

primero visitaron y los sitios yermos de Castilla conocidos precisamente como páramos, tal vez básicamente por la escasez de especies arbóreas.

De entre la serie de especies traídas del viejo continente, como vacas, ovejas y caballos, se empezaron a usar extensivamente grandes rebaños de ovejas en estas tierras, por la aparente aptitud para esta especie. Con el auge de la industria de la lana en la Colonia, hubo rebaños de ovejas de varias decenas de miles de cabezas. Los impactos negativos de esto todavía pueden observarse activamente. El ecosistema páramo no está evolutivamente adaptado, como una sabana africana, a la presencia y acción de grandes herbívoros. Aparte de que en muchos casos arrancan de raíz las plantas - las cuales carecen de una gran capacidad regenerativa - el propio peso de los individuos y la forma roma de sus cascos generan cambios irreversibles en la vegetación y el suelo (Hofstede 1995, Ramón 2002). Esto, junto a la quema del pajonal para que surjan plantas jóvenes, supuestamente más apetecibles para el ganado exótico; el avance de la frontera agrícola a altitudes exageradas; la plantación de especies arbóreas exóticas como los pinos, y otras actividades como turismo mal planificado y la minería, han generado una situación de creciente impacto y amenaza para el ecosistema. Este impacto, aparte de los daños inmediatos y mediatos sobre la biodiversidad y el ambiente en términos amplios, se manifiesta en un descenso en la calidad de vida tanto de la gente que vive directamente del ecosistema –en su mayoría comunidades indígenas y campesinas marginadas– como de la que vive indirectamente del páramo y que suma millones de personas que usan el agua que baja de él (cada vez de menor cantidad y calidad) para riego, agua potable e hidroelectricidad en las tierras bajas.

1.2.2. LOS PÁRAMOS: ECOSISTEMAS PRODUCTIVOS CON LÍMITES

El análisis de la productividad del ecosistemaparamero es un tema que puede plantearsedesde varios frentes, todos ellosinterrelacionados: la productividad en términospuramente ecológicos, la productividadrelacionada con la agrobiodiversidad nativa yexótica, y la productividad relacionada con losservicios ambientales potenciales o reales delecosistema.

En términos puramente ecológicos, se tratade la producción primaria, es decir, la cantidadde materia orgánica fabricada gracias a lafotosíntesis por parte de las plantas y

otrosseres autótrofos. En los páramos no disturbados, con suelos ricos y una insolación notable, esta producción primaria puede ser relativamente alta, a pesar de la gran altitud a la que se encuentran, aunque la capacidad se pierde notablemente cuando se altera demasiado la cobertura vegetal original a través de prácticas como el sobrepastoreo y la quema repetitiva (Hofstede 1995, Ramsay & Oxley 2001).

1.2.3. LA ALTERNATIVA PRODUCTIVA: LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL PÁRAMO

Aparte de los usos que pueden prestar varias especies o grupos de especies del páramo, el ecosistema como un todo también genera beneficios para la sociedad, tanto en el páramo mismo como a grupos humanos alejados del páramo pero que lo aprovechan de manera muy importante (muchas veces sin enterarse de ello). Ya se ha considerado un par de casos el servicio ambiental relacionado con la belleza escénica (frailejones y yaguales). De hecho, esta característica viene dada por el conjunto de frailejones y yaguales y no por los individuos aislados. El paisaje de páramo, en general, puede ser muy atractivo y así generar ingresos para las comunidades locales y para empresas a más amplia escala a través de un ecoturismo bien entendido y manejado. Hay ejemplos de comunidades que están intentando desarrollar actividades en este sentido, como las que forman parte de la Federación de Organizaciones y Comunidades Indígenas de las Faldas del Chimborazo y de empresas grandes que aprovechan la infraestructura y la superficie de las grandes haciendas, como las de la zona del Cotopaxi (Pérez 2001). Si bien el ecoturismo bien manejado puede ser una alternativa muy sustentable para las comunidades parameras, se corre al momento el riesgo de que cualquier comunidad vea en su páramo una oportunidad de éstas cuando en realidad su infraestructura podría ser insuficiente (local y regionalmente), su capacitación inadecuada y la misma oferta turística reducida (Perrone 2001). La vegetación también tiene que ver, de manera tal vez indirecta pero muy importante, con ambos servicios ambientales que han recibido mucha atención en los últimos tiempos: la provisión de agua y la retención de carbono. Son los particulares suelos parameros los que realizan de manera directa estas funciones, pero la vegetación contribuye tanto en su formación como en su conservación y retención. El cambio climático y más específicamente el calentamiento global se deben a que en el último siglo el uso de combustibles fósiles y la deforestación

han aumentado exponencialmente, con la consecuente producción excesiva de CO₂ (dióxido de carbono), lo que ha causado que su concentración en la atmósfera sea mucho más alta que la natural. Por esto el planeta se está calentando: es el llamado efecto invernadero. Para la mitigación de este efecto, existen dos maneras complementarias de bajar la concentración de CO₂ atmosférico. La primera es evitar o al menos disminuir importantemente, las emisiones de CO₂ y la segunda es remover el exceso que ya está en la atmósfera. Evitar o disminuir sustancialmente las emisiones se puede lograr por medio de una industria y unos vehículos más eficientes en su uso de combustible, pero también al evitar la tala de bosques, que en su mayoría después se queman y así producen CO₂. Eliminar CO₂ de la atmósfera actualmente se puede hacer sólo de una manera: plantando árboles, ya que un árbol en crecimiento fija CO₂ en vez de emitirlo.

¿Qué papel puede tener el páramo en todo esto? En primer lugar, en el páramo también existe destrucción de vegetación natural (pajonal y pequeños bosquetes), lo que es una fuente de emisión de CO₂. Pero hay otro aspecto importante: el páramo es un ecosistema que tiene suelos profundos y con una gran cantidad de materia orgánica (o sea, carbono) almacenado en su suelo (en ciertas condiciones mucho más que en bosque tropical, Hofstede & Aguirre 1999). Por diferentes prácticas agrícolas no tan sostenibles, este suelo orgánico tiende a agotarse y a erosionarse, un proceso en que el carbono se oxida y también forma CO₂ que se va a la atmósfera. En otras palabras, con una buena protección del páramo, evitando las quemas de la vegetación natural y la erosión del suelo, se está previniendo la emisión de carbono en forma de CO₂ a la atmósfera y contribuyendo a paliar el efecto invernadero. De otro lado, los pajonales del páramo bajo ofrecen buenas oportunidades de forestación con ciertas especies de árboles autóctonas de la zona y que pueden fijar el CO₂ de la atmósfera, aportando así en la lucha contra el calentamiento global. En el Ecuador existe un programa internacional que financió por esta razón 20.000 hectáreas de plantaciones forestales. Sin embargo, este programa empleó en su gran mayoría especies exóticas (*Pinusradiatay P. patula*), que tienen efectos ambientales no siempre positivos (Hofstede *etal.* 2002b, Farley *et al.* 2004). Además, se ha discutido críticamente el efecto social, cultural y económico de estas actividades sobre las comunidades parameras (Smith & Scherr 2002, Albán & Argüello 2004). El mecanismo de mercado para el carbono desarrollado bajo el protocolo de Kioto se denomina el

Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Desafortunadamente para el páramo, este mecanismo no se aplica a carbono almacenado en los suelos y vegetación, sino únicamente a la revegetación o siembra. Por esto, la gran cantidad de carbono que hay en sus suelos, que colabora de manera indirecta pero importante a mitigar el efecto invernadero, todavía no puede ser considerada ni utilizada como una alternativa económica viable para las comunidades u otros dueños del páramo. Además, precisamente por la discusión alrededor de los impactos ambientales y sociales de las plantaciones forestales en páramo y porque los costos para el establecimiento de estas plantaciones resultan mucho más grandes (en términos de costo por tonelada de CO₂ fijado) de lo que se pensó originalmente, la posibilidad de poder aprovechar del mercado de carbono en el páramo parece no ser muy grande. La capacidad del páramo como almacenador y distribuidor del agua proveniente de las lluvias, los deshielos y la condensación de la neblina se basa en una estructura especial de sus suelos, salvaguardada por la vegetación que crece sobre ellos, y que los hace funcionar como una esponja que recoge y distribuye el agua de manera constante y limpia, incluso en épocas de sequía. Al igual que en el caso anterior, se trata de una característica muy frágil que se perturba profundamente por prácticamente cualquier intervención en el páramo. Esta estructura no se recupera como lo hace la de una esponja típica y por tanto pierde su capacidad hidrofílica una vez que se ha alterado (es una esponja de una sola vida, Podwojewski & Poulénard 2000, Podwojewski *et al.* 2002). El servicio ambiental que presta el páramo en este sentido es excepcional: la mayor parte del agua que sirve para el riego, el agua potable y la hidroelectricidad de los campos y pueblos serranos, e incluso de aquellos amazónicos y costeros, tiene sus fuentes en las grandes alturas andinas (lo propio sucede en los otros países parameros). Recientemente se ha desarrollado un interés especial por la protección de los páramos que circundan a ciudades como Quito y Cuenca, de parte de las agencias de agua correspondientes y de ONGs y comunidades interesadas. Hay varios modelos que se han empleado en este sentido. La empresa municipal de agua potable de la ciudad de Cuenca (ETAPA), por ejemplo, entre sus estrategias para manejar la creciente demanda de agua de esta ciudad en el sur de la sierra ecuatoriana, ha logrado la concesión del manejo del Parque Nacional Cajas, que posee mayormente páramos y de donde nace buena parte de la provisión hídrica de la zona. También con este fin ha empezado a comprar tierras de boques andinos y de páramo. El Municipio de Quito por su

parte ha generado un fondo especial para conservar a las cuencas altas de los cauces que cubren sus necesidades de agua. En este caso, no hay un recargo en la planilla sino que de lo que se cobra luego se destina un porcentaje a la conservación de los páramos, bajo la administración de un fondo semi-independiente (FONAG). Por su parte, el Municipio de Pimampiro ha desarrollado un mecanismo que hace que los usuarios y usuarias del agua en las partes bajas paguen a la gente que conserva los páramos en las partes altas. Este pago por servicios ambientales es uno de los temas más candentes en la actualidad. En principio, de lo que se trata es que como en Pimampiro, quienes usan el agua abajo reconozcan a los que están arriba cuidando las fuentes, en algunos casos incluso dejando de usar para su propio provecho esas tierras.

Aunque estos mecanismos de buscar una forma de valorar al principal servicio ambiental y compensar a gente que cuida las fuentes de agua (páramos) suenan como una solución casi ideal para mucha gente, en la práctica hay muchas dudas y complicaciones. Hasta ahora han habido varios estudios de análisis de los mencionados casos (Hofstede & Albán 2002, Landell-Mills & Porras 2002, Albán & Argüello 2004). Cada modelo analizado tiene sus ventajas y desventajas, y probablemente hay más básicas relacionadas con el funcionamiento y la ética de estos sistemas son: ¿Cuánto ganamos o perdemos (en términos monetarios, ecológicos y sociales) al conservar un área natural? ¿Cuánto están dispuestos a apoyar (¿pagar?) la sociedad y el Estado para mantener estos servicios y cómo se puede aumentar esta disponibilidad? ¿Quién debe cobrar? ¿A quién? ¿Qué papel deben jugar los gobiernos, las comunidades, las agencias de desarrollo y la academia en este proceso? ¿Cómo se debe cambiar la percepción de la gente en la ciudad para que acepte ser parte del apoyo para asegurar estos servicios tan importantes? ¿Cómo asegurar que la ayuda realmente llegue a los que más lo necesitan y merecen, y no causar más inequidad social y cultural? ¿Cómo evitar que se generen posiciones opuestas a propuestas positivas frente a percepciones posiblemente erradas? (Hofstede & Mena 2000). Particularmente en el Ecuador, pero también en Bolivia y en menor intensidad en Colombia y Venezuela, hay hoy día un clima de rechazo desde ciertas organizaciones sociales a temas relacionados con los llamados ajustes de la economía y la globalización, como son los tratados de libre comercio y otros procesos neoliberales. En este contexto, la discusión alrededor de la gestión de servicios ambientales ha sido politizada a tal grado que hablar de pago por

servicios ambientales o expresiones parecidas es prácticamente sinónimo de promover la privatización del agua y de los recursos naturales a favor de transnacionales y en detrimento de la gente marginada. Aunque, en esencia, de lo que se trata es de generar mayor equidad entre los de arriba y los de abajo con respecto a este fundamental servicio, se deben pasar estos procesos por un severo filtro de ética y por un análisis profundo de las consecuencias reales en términos de equidad y soberanía, en el que haya una amplia participación. Entre otras cosas, no se puede pedir a la gente que vive en el páramo, muchas veces en condiciones precarias, que no haga lo que hace y ha hecho desde hace mucho tiempo porque está afectando a los de abajo, pero sin darles alternativas. Estas alternativas deben incluir el pago (sea en efectivo o de otra manera) por el “valor de no uso de los páramos”, que afecta negativamente a quienes lo usufructúan directamente y que beneficia trascendentalmente a quienes lo usufructúan de manera indirecta aguas abajo. Una parte fundamental del problema está en la falta de conocimiento y sensibilización de parte de este segundo grupo con respecto a esta realidad, frente a lo cual ya hay esfuerzos aislados pero prometedores (Manosalvas 2005).

1.3. EL PERFIL DEL SUELO Y SUS HORIZONTES

Como la edafización actúa desde la superficie y va perdiendo su intensidad conforme profundizamos en el perfil del suelo, el material se altera de un modo diferencial y como resultado de la actuación de estos procesos de meteorización y translocación se pasa de un material homogéneo o uniforme, como es la roca, a un material heterogéneo, estratificado en capas con diferentes propiedades como es el suelo; es decir, se produce la horizonación del material. Y es precisamente esta característica, representada por la variación regular de las propiedades y constituyentes del suelo en función de la profundidad, la característica más representativa de los suelos, rasgo que los diferencia claramente de las rocas a estas capas se las denomina horizontes y su superposición constituye el perfil del suelo.

Los horizontes constituyen las unidades para el estudio y para la clasificación de los suelos.

Los horizontes edáficos son capas aproximadamente paralelas a la superficie del terreno. Se establecen en función de cambios de las propiedades y constituyentes (que son el resultado de la actuación de los procesos de formación del suelo) con respecto a las capas inmediatas. Los horizontes se ponen, normalmente, de manifiesto en el campo, en el perfil del suelo, pero los datos de laboratorio sirven para confirmar y caracterizar a estos horizontes. Generalmente bastan solo tres propiedades para establecer la horizonación de un suelo: color, textura y estructura, aunque otras propiedades, como la consistencia, son a veces de gran ayuda. El más mínimo cambio detectado (en una sola o en varias de estas propiedades) es suficiente para diferenciar un nuevo horizonte.

1.3.1. NOMENCLATURA "A B C" PARA LOS HORIZONTES DEL SUELO

La designación de horizontes constituye uno de los pasos fundamentales en la definición de los suelos, para designar a los horizontes del suelo se usan un conjunto de letras y de números.

Horizontes principales

H. Acumulaciones de materia orgánica sin descomponer (>20-30%), saturados en agua por largos períodos. Es el horizonte de las turbas.

O. Capa de hojarasca sobre la superficie del suelo (sin saturar agua; >35%), frecuente en los bosques.

A. Formado en la superficie, con mayor % materia orgánica (transformada) que los horizontes situados debajo. Típicamente de color gris oscuro, más o menos negro, pero cuando contiene poca materia orgánica (suelos cultivados) puede ser claro. Estructura migajosa y granular.

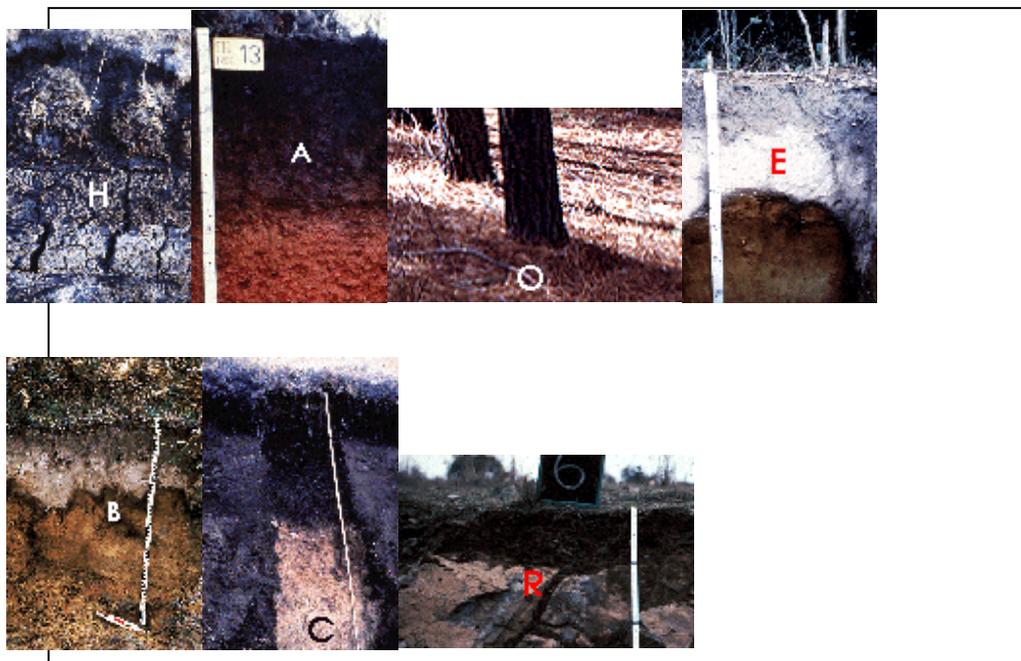
E. Horizonte de fuerte lavado. Típicamente situado entre un A y un B. Con menos arcilla y óxidos de Fe y Al que el hor. A y el hor. B. Con menos materia orgánica que el A. Muy arenosos y de colores muy claros. Estructura de muy bajo grado de desarrollo (la laminar es típica de este horizonte).

B. Horizonte de enriquecimiento en: arcilla (iluvial o *in situ*), óxidos de Fe y Al (iluviales o *in situ*) o de materia orgánica (sólo si es de origen iluvial; no *in situ*), o también por enriquecimiento residual por lavado de los carbonatos (si estaban presentes en la roca). De colores pardos y rojos, de cromas (cantidad de color) más intensos o hue (tonalidad del color) más rojo que el material original = hor. C). Con desarrollo de estructura edáfica (típicamente en bloques angulares, subangulares, prismática).

C. Está constituido por la parte más alta del material rocoso *in situ*, sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y la química (la alteración química es casi inexistente ya que en las primeras etapas de formación de un suelo no suele existir colonización orgánica). Sin desarrollo de estructura edáfica, ni rasgos edáficos. Blando, suelto, se puede cavar con una azada. Puede estar meteorizado pero nunca edafizado.

R. Material original. Roca dura, coherente. No se puede cavar.

Figura N° 1. Mosaico de horizontes principales.



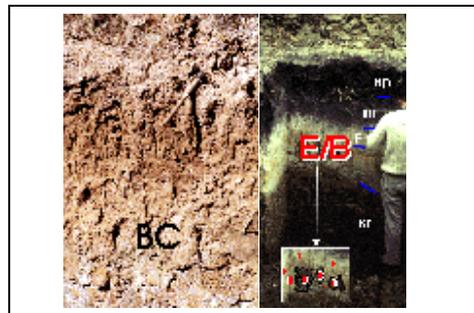
Horizontes de transición

Se presentan cuando el límite entre los horizontes inmediatos es muy difuso, existiendo una capa ancha de transición con características intermedias entre los dos horizontes. Se representan por la combinación de dos letras mayúsculas (p.ej., AE, EB, BE, BC, CB, AB, BA, AC y CA). La primera letra indica el horizonte principal al cual se parece más el horizonte de transición.

Horizontes mezcla

En algunas ocasiones aparecen horizontes mezclados que constan de partes entremezcladas. Están constituidos por distintas zonas en cada una de las cuales se puede identificar a un horizonte principal (en la misma capa existen trozos individuales de un horizonte completamente rodeados de zonas de otro horizonte). Se designan con dos letras mayúsculas separadas por una raya diagonal (p.ej. E/B, B/C); la primera letra indica el horizonte principal que predomina.

Figura N° 2.Mosaico de horizontes mezcla.



Letras sufijo más usuales

Las letras minúsculas se usan como sufijos, para calificar a los horizontes principales especificando el carácter dominante de este horizonte. Las letras minúsculas van inmediatamente después de las letras mayúsculas.

p horizonte arado, (de plow = arar). Prácticamente siempre referida al hor. A, (Ap).

h acumulación de materia orgánica (h de humus). Normalmente por mezcla, en el horizonte A de suelos vírgenes (Ap y Ah son excluyentes) y sólo en los podzoles, por iluviación, en el horizonte B (Ah Bh).

w horizonte B de alteración, (de weathering = meteorización) reflejada, con respecto al horizonte inferior, por: la arcilla (alto contenido, formada in situ), y/o el color (más rojo o más pardo), y/o la estructura (edáfica, no la de las rocas originales). Si en el material original había carbonatos el B se puede formar simplemente por lavado de estos carbonatos (hor. de enriquecimiento residual). Bw.

t acumulación de arcilla iluvial, (de textura, o sea granulometría). Bt.

k acumulación de carbonatos secundarios (k de kalcium). Llamado "ca" en otras terminologías). En B (frecuente), en C (muy frecuentemente) y a veces en A (Ak Bk Ck).

y acumulación de yeso. Ay ByCy

z acumulación de sales más solubles que el yeso ($y + z = sa$, en otras terminologías). AzBzCz.s acumulación de sesquióxidos, típico de los podzoles. Bs, también en los ferralsoles.

s acumulación de sesquióxidos, típico de los podzoles. Bs, también en los ferralsoles.

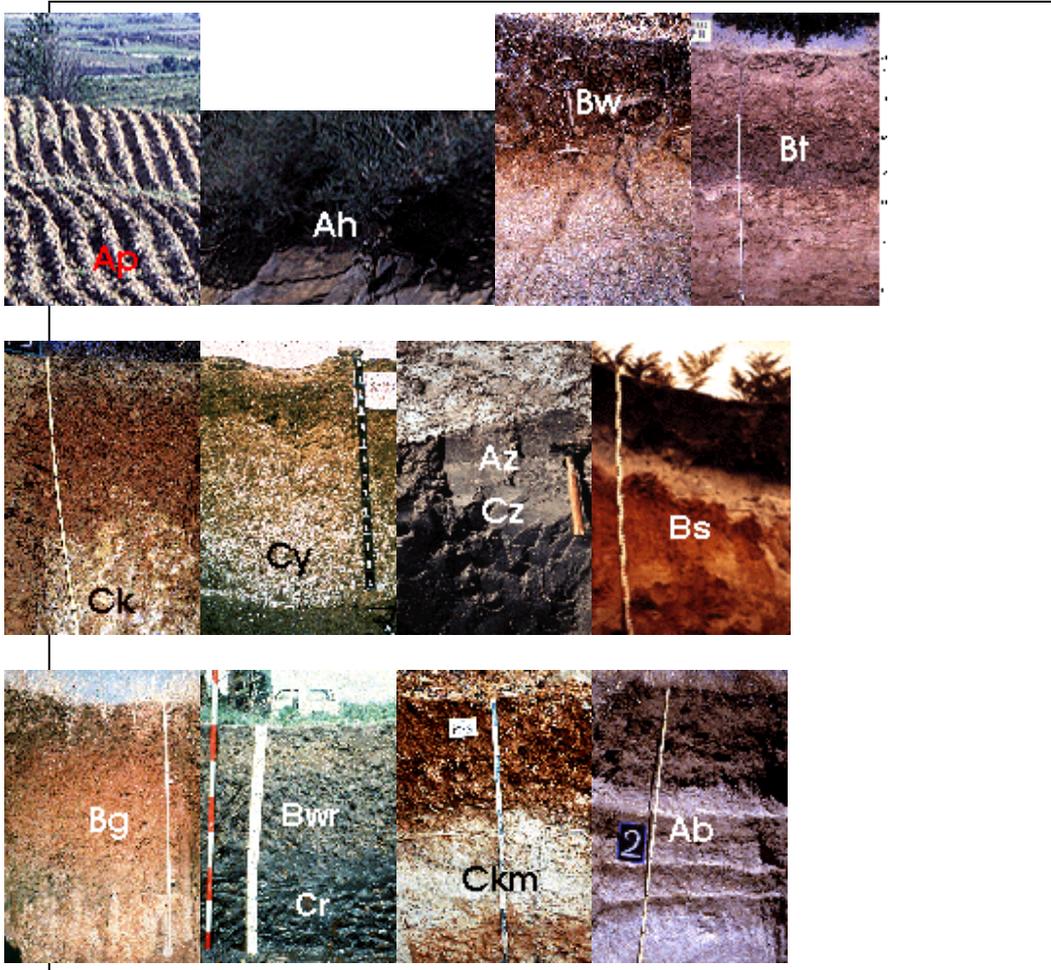
g moteado (abigarrado) por reducción del Fe. Manchas de colores pardos/rojos y gris/verde. Hidromorfía parcial. Bg Cg y más raramente Ag.

r reducción fuerte, como resultado de la influencia de la capa freática, colores gris verdoso / azulados (hidromorfía permanente, o casi). Cr Br.

m fuertemente cementado. Frecuentemente por carbonatos (Bmk), pero en otras condiciones puede ser por materia orgánica (Bmh), por sesquióxidos de Fe (Bms) o por sílice (Bmq)

b horizonte de suelo enterrado (paleosuelo) o bicíclico (p.e. Btb), (de buried = enterrado).

Figura N° 3. Mosaico de horizontes con las principales letras sufijo.



Cifras sufijo

Se usan las cifras sufijos para indicar una subdivisión vertical de un horizontes del suelo. El número sufijo siempre va después de todas las letras símbolo. La secuencia numérica se aplica solo a un conjunto de letras determinado, de tal forma que la secuencia se empieza de nuevo en el caso de que el símbolo cambie (p.e. Bt1 - Bt2 - Btg1 - Btg2). Sin embargo, una secuencia no se interrumpe por una discontinuidad litológica (p.e. Bt1 - Bt2 - 2Bt3 - 2Bt4 - 3Bt5).

Cifras prefijo

Se usan las cifras prefijos, para indicar discontinuidades litológicas, indican que el material que formó el suelo no era homogéneo, (por ejemplo, suelo formado a partir de distintos estratos sedimentarios superpuestos).

1.4. LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

1.4.1. EL PAPEL DE LOS SUELOS EN EL CICLO DEL CARBONO

El ciclo terrestre del carbono en el suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima en cerca de 1 500 Pg C a 1 m de profundidad (cerca de 2 456 a dos metros de profundidad). El carbono inorgánico representa cerca de 1 700 Pg pero es capturado en formas más estables tales como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos.

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO₂.

Históricamente se han notado grandes variaciones. Houghton (1995) estima que las emisiones correspondientes al cambio de uso de la tierra -deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas- fueron cerca de 140 Pg entre 1850 y 1990 (de 0,4 Pg/año en 1850 a 1,7 Pg/año en 1990), con una liberación neta hacia la atmósfera de 25 Pg de carbono. De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación.

En el pasado, el desarrollo de la agricultura fue la principal causa del incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, pero hoy día, los mayores contribuyentes son la

combustión de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte (6,5 Pg/año).

Un hecho importante, es que mientras la deforestación de muchas áreas tropicales produce emisiones de carbono estimadas en 1,5 Pg/año, al mismo tiempo se produce una acumulación en los ecosistemas terrestres de 1,8 a 2 Pg/año. Esto representa lo que es conocido como el carbono faltante en el ciclo: un sumidero que podría estar situado principalmente en la parte norte del hemisferio norte (Schindler, 1999). Los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica conciernen la vegetación - ingreso de residuos, composición de las plantas-, los factores climáticos -condiciones de temperatura y humedad- y las propiedades del suelo -textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez.

Otros factores relacionados con la fertilización del suelo (N, P o S) o con el riego, tienen efecto sobre la producción de las plantas y por lo tanto sobre el contenido de materia orgánica.

La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo depende sobre todo de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno -drenaje-, el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, y el manejo del suelo (Lal et al., 1995). En un tipo de suelo dado expuesto a prácticas constantes, se alcanza un casi-equilibrio -situación estable- de la materia orgánica del suelo después de 30 a 50 años (Greenland, 1995). En el contexto del combate del calentamiento global y del Protocolo de Kioto, un punto importante es cómo crear en los suelos agrícolas de todo el mundo un sumidero de carbono bien cuantificado. Tal captura de carbono será relevante para los artículos 3.3 y 3.4 del Protocolo y también tendrá efectos positivos adicionales para la agricultura, el ambiente y la biodiversidad.

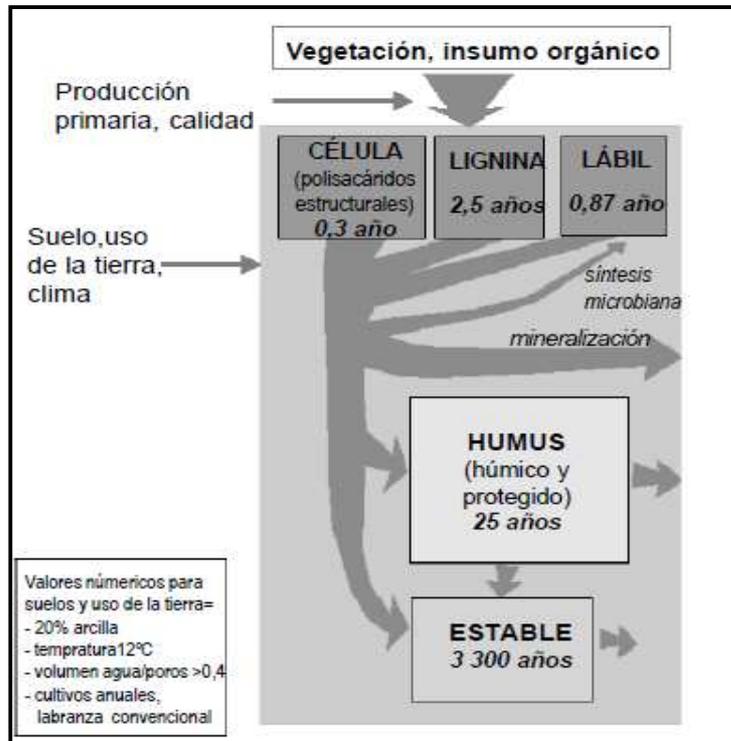
1.4.2. DINÁMICA DEL CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) (Figura N° 4.). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono

que ingresa al mismo es lábil y sola una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg/año).

La materia orgánica del suelo tiene una composición muy compleja y heterogénea y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo. Se han desarrollado un gran número de métodos de separación para identificar los distintos constituyentes de la materia orgánica del suelo, grupos cinéticos, p. ej. grupos que pueden ser captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra definidos por una cierta tasa de recambio del carbono. El sistema tradicional de separación en fracciones fúlvicas y húmicas no separa las fracciones con diferentes tasas de recambio (Balesdent, 1996) como se considera en los modelos. Los métodos de separación física tales como el fraccionamiento según el tamaño de las partículas, la densidad de las fracciones o las fracciones por tamaño de los agregados permiten la separación de fracciones cinéticas significativas (Feller, 1979; Balesdent, 1996). Entre estas fracciones, las partículas de materia orgánica son muy sensibles a los cambios en el uso de la tierra (Cambardella, 1998; Gregorich et al., 1996). Existen algunos métodos directos para determinar la biomasa microbiana, la cual representa de uno a cinco por ciento del total de la materia orgánica del suelo y es una fuente de reserva de nutrientes (N, P). Esta es una fracción muy lábil que fluctúa con la estación y que también responde rápidamente a los cambios de manejo del suelo. Los métodos de isótopos tales como el carbono 14 o la abundancia natural del carbono 13 son muy valiosos ya que permiten una estimación del tiempo de residencia de la materia orgánica y sus fracciones en el suelo. La abundancia de carbono 13 natural es adecuada para las tasas de recambio para períodos de años a siglos y el carbono 14 para períodos de siglos a milenios. Ambos pueden ser aplicados a muestras masivas de suelos o a fracciones aisladas de los mismos. El método de la abundancia de carbono 13 natural puede ser usado solamente si en ese sitio ha ocurrido un cambio de vegetación de un tipo fotosintético C3 a un tipo C4 o viceversa.

Figura N° 4. Modelo de la dinámica del carbono en el suelo (Balesdent et al., 2000)

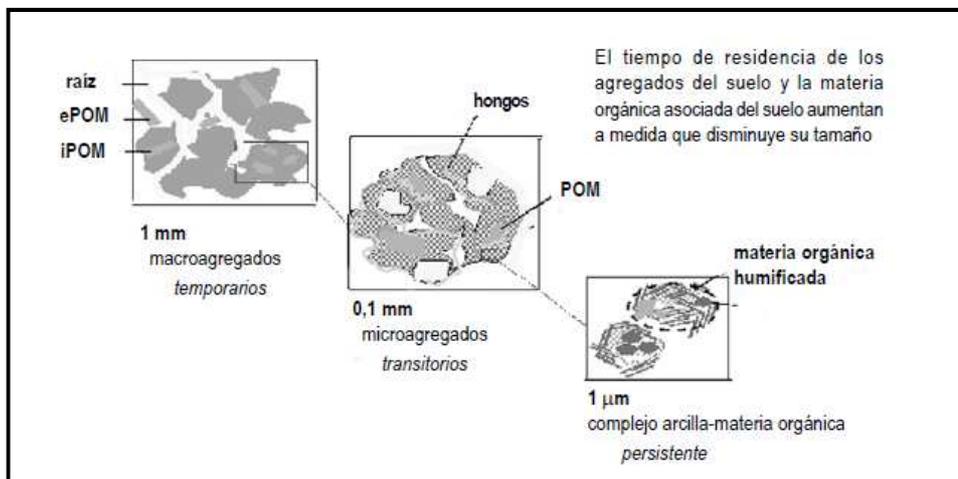


La gran ventaja de los métodos isotópicos radica en que la tasa de recambio de la materia orgánica puede ser medida de modo de deducir directamente el tiempo de residencia de los diferentes compartimientos. Cuando hay un cambio importante en la vegetación (bosques/cultivos/pasturas) es posible seguir la evolución de los distintos tipos de residuos de las plantas (Cerri et al., 1985).

Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia variando de uno a pocos años, dependiendo de la composición bioquímica –por ejemplo, la lignina es más estable que la celulosa-, a décadas o a más de 1 000 años (fracción estable). También hay alguna conexión con la composición, pero principalmente con el tipo de protección o el tipo de uniones químicas. Para la fracción del carbono estable se debe hacer una distinción entre la protección física o química o captura: protección física significa un encapsulado de los fragmentos de la materia orgánica por las partículas de arcilla o por los macro- o microagregados del suelo (Figura N° 5.) (Puget et

al., 1995; Balesdent et al., 2000); protección química se refiere a uniones especiales de la materia orgánica con otros constituyentes del suelo -coloides o arcillas-, pero más a menudo esto concierne compuestos orgánicos del suelo muy estables. Sin embargo, el término captura de carbono tal como se usa en el Protocolo de Kioto no toma en consideración esas distinciones y es equivalente al término almacenamiento de cualquier forma de carbono.

Figura N° 5. Ubicaciones de la materia orgánica del suelo en la matriz del suelo (Chenu, sin publicar); ePOM: partículas externas de materia orgánica; iPOM: partículas internas de materia orgánica



Los diferentes grupos de materia orgánica en los suelos son influenciados por distintos factores. Las partículas de materia orgánica libre y la biomasa microbiana de los suelos son controladas por el aporte de residuos -manejo de residuos de cultivos o cobertura del suelo- y el clima. La agregación del suelo, la textura y la mineralogía controlan la materia orgánica en macroagregados y por lo tanto, la labranza tiene un gran efecto sobre el tamaño de esos reservorios. Los otros reservorios son menos afectados por los factores agronómicos pero lo son sobre todo por factores pedológicos (microagregación, composición de la arcilla).

1.4.3. EL PAPEL FUNDAMENTAL DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (p. ej. producción y economía) como en sus funciones ambientales - entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996). La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas.

1.4.4. ECOSISTEMAS FORESTALES: EMISIÓN DE CO₂ Y CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS

El almacenamiento de carbono y su liberación por los ecosistemas forestales -ya sea a causa de la forestación, la reforestación o la deforestación- están considerados en el Artículo 3.3 del Protocolo de Kioto. Sin embargo, el Artículo 3.4 también se considera cuando se trata del manejo de bosques en zonas tropicales en razón de las importantes interacciones con la captura de carbono en los suelos. Los bosques cubren el 29 por ciento de las tierras y contienen el 60 por ciento del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36 por ciento del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1 500 Pg). Recientemente fue llevado a cabo un balance completo de los bosques de Francia por Dupouey 1989. Este estudio comprendió 540 parcelas de la red europea de supervisión forestal. La media total del carbono del ecosistema fue de 137 t C/ha; de este total, el suelo representa el 51 por ciento (71 t), los restos vegetales superficiales 6 por ciento y las raíces 6 por ciento. Estos datos son muy cercanos a los proporcionados en el último informe del IPCC (IPCC 2000) para los bosques en Tennessee

(Estados Unidos de América). También se proporcionan datos para los bosques tropicales cerca de Manaus (Brasil). El total de carbono en el sistema es mayor (447 t/ha) y así como el depósito de suelo orgánico (162 t, 36 % del total). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos –que contienen cerca del 40 por ciento del total del carbono- son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. Por lo general, en los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación -o la reforestación-, ese equilibrio es afectado. Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos (FAO, 1993) y que muy a menudo parte del carbono orgánico se pierde dando lugar a una considerable emisión de CO₂. Por lo tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono. La reforestación, sobre todo en los suelos degradados con bajo contenido de materia orgánica, será una forma importante de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo.

1.4.5. TIERRAS CULTIVADAS: EL PAPEL DE LAS PRÁCTICAS AGRONÓMICAS

El desarrollo de la agricultura ha implicado una gran pérdida de materia orgánica del suelo. Hay varias formas de las diferentes prácticas de manejo de tierras que pueden ser usadas para aumentar el contenido de la materia orgánica del suelo tales como el incremento de la productividad y de la biomasa -variedades, fertilización e irrigación. El cambio climático global puede tener un efecto similar. Las fuentes de materia orgánica también incluyen residuos orgánicos, compostaje y cultivos de cobertura. Las principales formas de obtener un incremento de la materia orgánica en el suelo están asociadas a la agricultura de conservación y comportan la labranza mínima o cero y el uso de una cobertura vegetal continua y protectora formada por materiales vegetales vivos o muertos sobre la superficie del suelo.

1.4.6. MEDIDA DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN EL SUELO

La materia orgánica que está sobre la superficie del suelo no es tomada en consideración en la evaluación de las existencias de carbono del suelo. En los suelos cultivados, esto significa que los residuos vegetales son considerados una fase transitoria; sin embargo, los residuos superficiales de los cultivos, los cultivos de cobertura o la cobertura en si misma son partes importantes del agrosistema. Del mismo modo, los residuos de los bosques pueden llegar a 8 o 9 kg/C/m² en los bosques de zona templada (Dupouey et al., 1999) y a 5 o 6 kg/C/m² en un bosque tropical sobre un ferralsol (Andreux y Choné, 1993). Las raíces vivas son consideradas como biomasa de carbono y en las tierras de pastoreo, por ejemplo, pueden contribuir con la mayor parte del carbono del suelo.

El método más comúnmente aplicado es la determinación del carbono orgánico total a diferentes profundidades o globalmente para uno o más horizontes y transformar los datos tomando en consideración la densidad y la pedregosidad del suelo. Las estadísticas se calculan sobre diferentes muestras para determinar las existencias de carbono. Los resultados pueden ser expresados en kg/cm², t/ha o Gt (Pg) totales sobre áreas especificadas y a varios rangos de profundidad.

La escala puede ser el lugar o parcela, la cuenca, la región, un país específico o un continente o la zona agroecológica (FAO/IIASA, 1999). La extensión espacial es construida usando mapas digitales para las distintas unidades de suelos considerados. El número de análisis de perfiles de suelos usados es muy importante y hasta ahora, en general, ha habido una falta de buenos datos referenciados.

Con respecto a las existencias de carbono a escala mundial, hay tres referencias importantes. Sombroek et al., (1993), usaron el Mapa Mundial de Suelos FAO/UNESCO (a escala 1:5 000 000) y cerca de 400 perfiles de suelos, agrupados por unidades de suelo de la FAO, con el rango y los valores medios para el contenido de carbono orgánico y la densidad para cada unidad de suelo.

Post et al., (1982) y Eswaran et al., (1993) usaron el U.S. SoilTaxonomy y más perfiles de análisis (cerca de 16 000), la mayoría de los cuales provenían de pedones en los Estados

Unidos de América (WSR-SCS). La estimación total de las existencias de carbono orgánico es de 1550 Pg; se ofrecen más detalles relativos a las existencias de carbono para los diferentes órdenes o subórdenes de suelos o para las distintas profundidades de los perfiles. En conclusión, los autores remarcan en su estimación la importancia de tomar en consideración el uso de la tierra y los cambios en el manejo de la tierra.

Cuadro N° 1. Contenido medio de carbono orgánico para algunas unidades de suelos FAO-UNESCO y unidades de suelos WRB (FAO/UNESCO (1974) y unidades de suelos WRB (de Batjes, 1996)

Unidad del suelo		Contenido medio de carbono kg/m ²		
FAO-UNESCO	WRB	0 - 30 cm	0 - 100 cm	0 - 200 cm
Podzoles	Podzoles	13,6	24,2	59,1
Rendzinas	Leptosoles	13,3	-	-
Litosoles	Leptosoles	3,6	-	-
Chernozems	Chernozems	6,0	12,5	19,6
Nitsoles	Nitsoles	4,1	8,4	11,3
Xerosoles	Calcisoles/Cambisoles	2,0	4,8	8,7
Yermosoles	Calcisoles/Gypsisoles	1,3	3,0	6,6
Ferralsoles	Ferralsoles	5,7	10,7	16,9
Vertisoles	Vertisoles	4,5	11,1	19,1
Andosoles	Andosoles	11,4	25,4	31,0

Más recientemente, Batjes (1996) llevó a cabo una revisión de las estimaciones usando la base de datos Wise con 4353 perfiles (19222 análisis de carbono), con una representación geográfica más significativa. Este estudio confirmó un total de carbono del suelo de cerca de 1500 Pg en los horizontes superiores (0-100 cm) pero a su vez reveló la presencia de existencias importantes y estables de carbono a profundidades entre 100 y 200 cm de profundidad, especialmente en suelos tropicales (Cuadro N° 1.). El autor consideró que el sistema general de información de suelos (FAO/UNESCO, 1974) no estaba completamente adaptado como para permitir la estimación de cambios en las propiedades del suelo inducidas por los cambios en el uso de la tierra u otros factores, por ejemplo, el cambio climático.

Los datos presentados en el Cuadro N° 1. ilustran la gran variación del carbono orgánico en relación a los tipos de suelos. Los valores son de 2 kg/m² para xerosoles o arenosoles o

más de 10 kg/m² para podzoles, andosoles o rendzinas. Las cantidades totales de carbono en los suelos de las zonas áridas (xerosoles, yermosoles) son bajos, cerca de 7 kg/m², comparados con los suelos en los trópicos de cerca de 15 a 30 kg/m², pero son distintos dependiendo de la textura y la mineralogía.

Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados – degradados o mejorados- por los cambios en el uso y el manejo de la tierra.

Muchos de los citados estudios estadísticos sobre las existencias de carbono del suelo y su distribución se basaron esencialmente en mapas de suelos. Se han hecho evaluaciones similares en Francia (Arrouays et al., 1999) las cuales toman en consideración los tipos de suelos y la cubierta vegetal. Los análisis de carbono del suelo disponibles fueron datos pedológicos georreferenciados que procedían de datos de la base nacional de datos y de una red sistemática de supervisión del suelo (16 x 16 km) disponible a escala europea pero limitada a suelos forestales. La información de un mapa de suelos y de un mapa de uso de la tierra fue usada para producir estadísticas simples sobre las existencias de carbono bajo diferentes tipos de uso de la tierra (con 13 tipos de uso, de acuerdo con las definiciones Corine LandCover) y tipos de suelos (con 17 grupos de suelos definidos por la FAO). El número total de combinaciones fue de 138. El mapa de carbono del suelo resultante para Francia permitió hacer una estimación de las existencias de carbono (3,1 Pg a una profundidad de 30 cm) y también para identificar los principales factores que controlan la distribución del carbono: uso de la tierra, tipo de suelo u otras características (climáticas, pedológicas, etc.).

Otros trabajos han intentado combinaciones similares entre tipo de suelos y vegetación (Howard et al., 1995 en Gran Bretaña; Moraes et al., 1998 en Rondonia, Brasil; Van Noordwijk et al., 1997 en las zonas forestales húmedas).

Los datos del suelo y los datos del uso de la tierra deberían ser usados para determinar las existencias de carbono en el suelo. Mientras que los factores del suelo y los factores climáticos son importantes para explicar el almacenamiento de carbono o los reservorios en largos períodos, los cambios de vegetación o uso de la tierra determinan los cambios en la

captura de carbono en períodos más cortos. A menudo, sin embargo, en la mayor parte de los perfiles de suelos disponibles, la historia de uso de la tierra no ha sido documentada.

Cuadro N° 2. Total de existencias de carbono orgánico del suelo (COS) y contenido medio (kg C/m²) en las principales Zonas Agroecológicas (para los 0,3 y 1 m superiores) (FAO/UNESCO (1974) y unidades de suelos WRB (de Batjes, 1999))

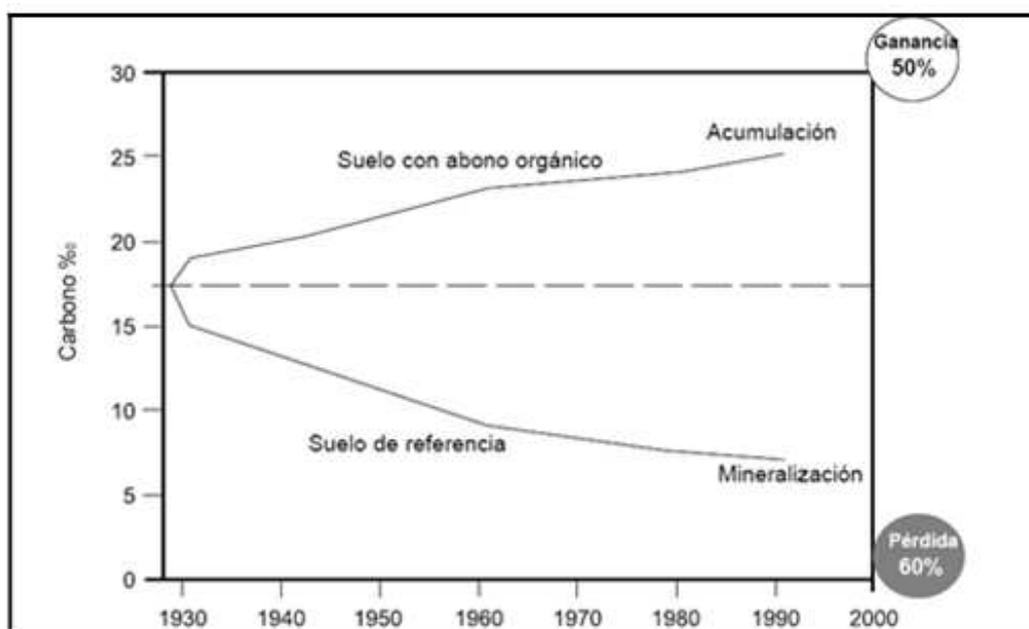
Zona Agroecológica	Reservorios de COS pesados espacialmente (Pg C)		Densidad media del COS (kg/m ²)	
	hasta 0,3 m profundidad	hasta 1 m profundidad	hasta 0,3 m profundidad	hasta 1 m profundidad
Trópico, cálido húmedo	92 - 95	176 - 182	5,2 - 5,4	10,0 - 10,4
Trópico, cálido, estacionalmente seco	63 - 67	122 - 128	3,6 - 3,8	7,0 - 7,3
Trópico, fresco	29 - 31	56 - 59	4,4 - 4,7	8,4 - 8,9
Árida	49 - 55	91 - 100	2,0 - 2,2	3,7 - 4,1
Subtrópicos con lluvias de verano	33 - 36	64 - 68	4,5 - 4,7	8,6 - 9,1
Subtrópicos con lluvias de invierno	18 - 20	37 - 41	3,6 - 3,9	7,2 - 8,0
Oceánico templado	20 - 22	40 - 44	5,8 - 6,4	11,7 - 12,9
Continental templado	21 - 126	1233 - 243	5,6 - 5,9	10,8 - 11,3
Boreal	203 - 210	478 - 435	9,8 - 10,2	23,1 - 24,0
Polar y alpino (excl. hielos terrestres)	57 - 63	167 - 188	7,0 - 7,8	20,6 - 23,8

Batjes (1999) también discutió la distribución del total de las existencias de carbono del suelo según las principales zonas ecológicas. Tales zonas muestran grandes diferencias en el almacenamiento del carbono orgánico (Cuadro N° 2.) sobre todo en relación a la temperatura y a la lluvia. Las existencias de carbono en el suelo hasta un metro de profundidad varían entre 4 kg/m² en las zonas áridas y 21-24 kg/m² en las regiones polares o boreales, con valores intermedios de 8 a 10 kg/m² en las zonas tropicales. La contribución de las regiones tropicales a las existencias globales de carbono en el suelo es de 384-403 Pg C a un metro de profundidad y 616-640 Pg C a dos metros de profundidad (Batjes, 1996), comparada con cerca de 1 500 Pg en todo el mundo (2 736-2 456 Pg a dos metros de profundidad). Las zonas áridas que cubren el 40 por ciento de la superficie global de tierras, almacenan sólo el cinco por ciento (100 Pg) del total. Estas zonas agroecológicas -desarrolladas por FAO- pueden constituir un marco de referencia para evaluar y supervisar el almacenamiento de carbono en los suelos.

1.4.7. EVALUACIÓN DEL CAMBIO EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO

Existen numerosos ejemplos históricos bien documentados de cambios en las existencias de carbono del suelo en las zonas templadas, muchos de ellos procedentes de experimentos agronómicos a largo plazo.

Figura N° 6. Evolución de la concentración de carbono en los suelos limosos entre 1928 y 1991 con o sin adición de abonos orgánicos (lugar experimental del INRA, Las 42 parcelas, Versailles, Francia)

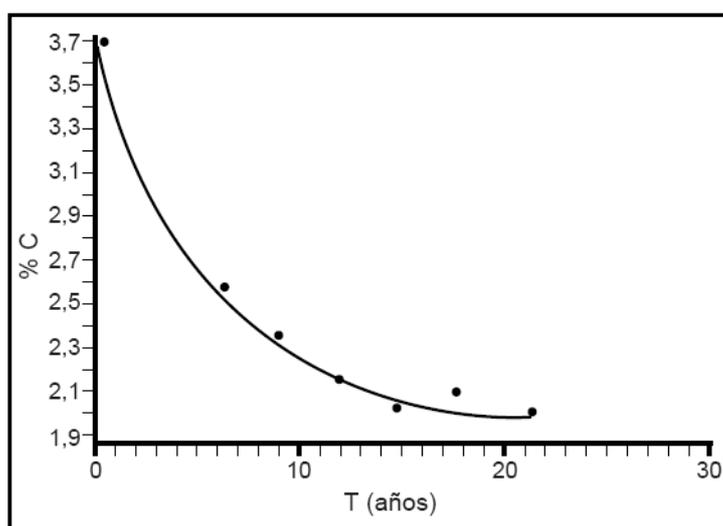


El experimento de Versailles (Francia) conocido como las 42 parcelas fue establecido en 1929, sin ningún cultivo y quitando toda la vegetación natural y con o sin fertilización o enmiendas del suelo. El suelo es típicamente limoso con un contenido inicial de carbono de 1,7 por ciento. En 50 años el contenido de carbono orgánico en el suelo sin enmiendas disminuyó de un 60 por ciento a un 0,7 por ciento; en el suelo con fertilizantes orgánicos (100 t/ha/año) aumentó en 50 por ciento a 2,5 por ciento (Figura N° 6). En ambos casos, la tasa de cambio es decreciente y el nivel -nuevo estado de equilibrio- es cercano.

El experimento de Rothamsted -trigo Broadbalk- es el experimento agronómico a largo plazo más antiguo. Fue establecido en 1843 con cultivo continuo de trigo y con rotaciones y

las parcelas han sido sometidas a diferentes tratamientos. La aplicación de estiércol ha llevado a la duplicación del contenido del carbono orgánico; con solo residuos de los cultivos, el contenido de carbono del suelo permaneció estable. En el mismo conjunto de experimentos (Rothamsted Highfield) la conversión de tierras de pastoreo a tierras arables resultó en una pérdida de 55 por ciento de carbono total en un plazo de 20 años, de 3,5 por ciento a 2 por ciento de carbono (Figura N° 7.); pérdidas similares de carbono se encontraron donde las praderas naturales se convirtieron a tierras agrícolas, en Canadá o los Estados Unidos de América.

Figura N° 7. Evolución del carbono en el experimento de conversión de tierras de pastoreo a tierra arable.



Otro experimento de larga duración (90 años) es el ensayo estático de fertilización de Bad Lauchstadt (Alemania) donde los resultados demuestran el efecto positivo de la fertilización - especialmente nitrógeno- sobre el contenido de carbono del suelo.

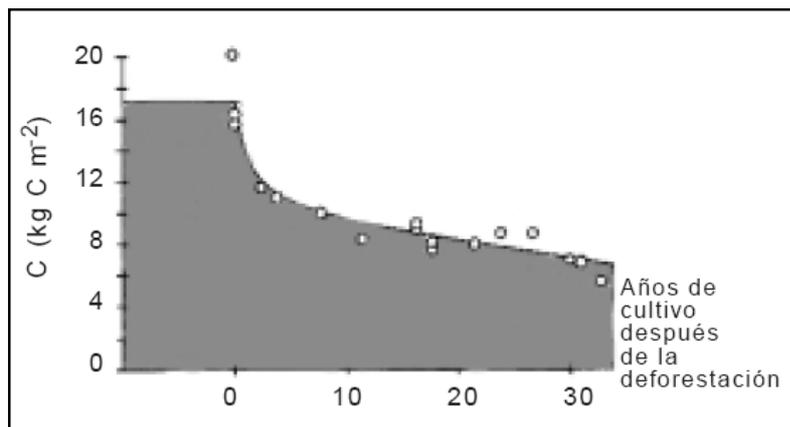
Estos experimentos a largo plazo ofrecen datos con los cuales es posible evaluar el efecto de los cambios en la cobertura y en el uso de la tierra pero también desarrollar o evaluar modelos. Están incluidos en SOMNET, una red de materia orgánica del suelo (Powlson et al., 1998).

En todos estos experimentos, la labranza rutinaria de la tierra fue incluida como una práctica estándar. Sin embargo, un cierto número de experimentos a relativamente largo plazo (cerca de 20 años), en los Estados Unidos de América (Dick et al., 1998), Alemania

(Tebruegge y During, 1999) y Rusia (Kolchugina et al., 1995) hicieron posible evaluar los efectos de distintos tipos de labranza y labranza cero sobre el almacenamiento de carbono; estas pueden disminuir el contenido de carbono orgánico entre 10 y 30 por ciento. En los Estados Unidos de América, ha sido establecida una red regional específica en los Central Great Plains sobre este tema (Lyon, 1998).

Experimentos similares también existen en bosques templados (Arrouays y Pelissier, 1994) y tropicales (Neill et al., 1998) que permiten la evaluación de los efectos de la deforestación y de la reforestación en el almacenamiento de carbono en el suelo. La deforestación, por lo general, implica una pérdida casi total de la biomasa y de carbono debajo de la tierra entre 40 y 50 por ciento en el lapso de pocas décadas, la mitad de lo cual ocurre en menos de cinco años (Figura N° 8.) El nuevo estado de equilibrio dependerá del nuevo uso de la tierra (Davidson y Ackerman, 1993; Sombroek et al., 1993). En el caso de la deforestación seguida por pasturas (Neill et al., 1998; Choné et al., 1991), estudios sobre isótopos del carbono muestran el relativamente rápido reemplazo de las existencias del carbono original del suelo forestal por compuestos del carbono derivados de las pasturas. Con la reforestación, el carbono sobre y debajo de la superficie de la tierra se incrementará lentamente, dependiendo de la tasa de crecimiento de los árboles.

Figura N° 8. Disminución del carbono orgánico del suelo después de la deforestación y el cultivo de maíz (Arrouays y Pellisier, 1994)



Otros experimentos a largo plazo sobre las emisiones y secuestro de carbono han sido llevados a cabo en zonas templadas. Un buen número de estudios comparativos a largo plazo muestra que los sistemas orgánicos y sostenibles mejoran los suelos por medio de la acumulación de materia orgánica y carbono en el suelo, con un incremento paralelo de la actividad microbiana: en Estados Unidos de América (Lockeretz et al., 1989; Wander et al., 1994, 1995; Petersen et al., 2000), Alemania (El Titi, 1999; Tebrügge, 2000), Reino Unido (Smith et al., 1998; Tilman, 1998), países escandinavos (Katerer y Andrén, 1999), Suiza (FiBL, 2000) y Nueva Zelandia (Reganold et al., 1987, 1993).

Estimaciones similares de los flujos anuales de almacenamiento de carbono en los suelos fueron hechas en Francia por Balesdent y Arrouays (1999). Los cálculos se basaron en registros históricos de áreas de uso de la tierra con atribuciones de las medias de reservorios de carbono en equilibrio para cada tipo de uso de suelo. Los valores para los diferentes reservorios de carbono total varían de 20 t/ha para tierras en descanso y viñedos a 50 t/ha para pasturas y 60 t/ha para bosques. Para evaluar el efecto del uso de la tierra sobre los distintos reservorios de carbono, se utilizó un modelo simple de dinámica del carbono en el suelo el que fue asociado con algunas constantes de tasas de descomposición de materia orgánica. Usando este método fue posible demostrar que los suelos de Francia habían acumulado más de 4 t/ha de carbono en el último siglo, con altas variaciones históricas. Estos enfoques, basados en el uso de la tierra y sus flujos, son complementarios a aquellos basados en los reservorios de carbono.

1.5. CONTENIDO DE CARBONO EN LOS PÁRAMOS ECUATORIANOS

La selva húmeda tropical tiene una biomasa con un valor de hasta 500 toneladas de materia seca por hectárea, lo que es equivalente a 250 toneladas de carbono. Si no se protege este bosque, y alguien decide tumbarlo para hacer un cultivo, se emiten 250 toneladas de carbono elemental (una unidad de carbono elemental, C, equivale a 3,6 unidades de CO₂). El pajonal de páramo tiene máximo 40 toneladas por hectárea de materia seca en su

vegetación, o sea, al quemar la vegetación se pierden máximo 20 toneladas de carbono elemental.

Pero en el cálculo anterior no se ha incluido el suelo. En la selva tropical, el suelo casi no contiene materia orgánica (carbono). La descomposición de la hojarasca es tan rápida que los restos vegetales son en la mayoría de los casos totalmente oxidados antes de ser incorporados en el suelo. Por esto, el suelo orgánico no es más profundo que 10 cm y el contenido de carbono elemental es máximo 5%. Así, si tenemos una densidad aparente del suelo de 1 kg/litro, obtenemos una cantidad de carbono en el suelo de 50 toneladas por hectárea. En el páramo, los suelos típicamente son muy negros y húmedos. Por el clima frío, la alta humedad y el hecho de que los suelos son formados en cenizas volcánicas recientes, la descomposición de materia orgánica es muy lenta. Por esto existe una gran cantidad de carbono almacenada en una capa gruesa de, en el caso de los páramos de El Ángel, hasta 2 metros de profundidad. Si se considera este caso extremo de Carchi, donde estos 2 metros tienen una concentración de 17% de carbono en el suelo, con una densidad aparente de 0,5 kg/litro, podemos calcular que en estos suelos se almacenan 1700 toneladas de carbono por hectárea. Así, es evidente que en el ecosistema paramero, si se considera el suelo, puede almacenar más carbono que la selva tropical (Hofstede, R., 2004)

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD

La comunidad Huacona San Isidro se encuentra ubicada en la parroquia Sicalpa del cantón Colta en la Provincia del Chimborazo, el centro urbano de la comunidad está ubicado en las coordenadas geográficas 1°43.919'S y 078°49.170'W, a una altitud de 3607 m.s.n.m., está conformada por aproximadamente por 240 personas pertenecientes a 60 familias, cuenta con una extensión aproximada de 650ha, de la cual la mayor parte es pajonal, una cierta extensión cubierta por plantaciones forestales de pino, y en menor medida una extensión de cultivos agrícolas ^{(1),(2)}.

1: Diagnóstico Proyecto Agroforestal, Fundación Marco, 2009

2: Proyecto REDD-Páramo, Fundación Marco, 2009.

2.2. DIAGNÓSTICO BASE DE LOS USOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DEL SUELO EN LA COMUNIDAD

Como primer paso se llevaron a cabo reuniones con los miembros de la comunidad para socializar el proyecto de investigación y contar con la autorización de los mismos. Se realizaron recorridos a pie por el territorio de la comunidad tanto en su parte alta (3600-4200 m.s.n.m.) como en su parte baja (3200-3600 m.s.n.m.), observándose sus características de relieve y perfil de suelo, además se tomaron las mediciones por GPS de las coordenadas UTM de los linderos de la comunidad.

Para conocer el uso histórico del suelo se llevaron a cabo entrevistas a los adultos mayores los cuales por medio de su testimonio contribuyeron a la obtención de un panorama de los usos anteriores del suelo de la comunidad en décadas anteriores.

Estas actividades tuvieron como objetivo el brindar una imagen de la configuración topográfica actual, el uso que históricamente ha tenido el suelo y la posible ubicación de los puntos de muestreo para la presente investigación.

2.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CANTIDAD DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL ALMACENADO EN LOS SUELOS BAJO USO AGRÍCOLA, DE PLANTACIÓN FORESTAL Y PAJONAL

Una vez seleccionados los sitios de muestreo en los 2 pisos altitudinales, cada uno con sus respectivos tres usos de suelo, originando 18 tratamientos (Tabla N° 1.) se procedió a llevar a cabo el muestreo, este consistió en tres repeticiones por cada tratamiento, dos repeticiones fueron hechas por medio de calicatas de 1x1x1m (cada una) y la restante repetición se realizó con un muestreo en zigzag barrenando en 30 puntos, en total se obtuvieron 54 muestras (unidades experimentales) cada una constituida por aproximadamente 1Kg de muestra y dispuesta en fundas ziploc, estas fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

En el laboratorio se analizaron las siguientes variables físico-químicas de las muestras: pH, nitrógeno asimilable, fósforo asimilable, potasio asimilable, humedad, densidad aparente, materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico. Para la presente investigación son esenciales los resultados en las variables: densidad aparente y porcentaje de carbono orgánico; en cambio las restantes variables analizadas sirven como información de respaldo o de base para futuros estudios de la relación de éstas con el contenido de carbono orgánico.

Tabla N° 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Código	Descripción
T1	A1B1C1	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(0-30cm)
T2	A1B1C2	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(30-60cm)
T3	A1B1C3	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T4	A1B2C1	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T5	A1B2C2	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(30-60cm)
T6	A1B2C3	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T7	A1B3C1	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T8	A1B3C2	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(30-60cm)
T9	A1B3C3	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T10	A2B1C1	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(0-30cm)
T11	A2B1C2	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(30-60cm)
T12	A2B1C3	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T13	A2B2C1	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T14	A2B2C2	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(30-60cm)
T15	A2B2C3	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T16	A2B3C1	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T17	A2B3C2	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(30-60cm)

T18	A2B3C3	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(más de 60cm)
-----	--------	--

Para encontrar la cantidad total de carbono orgánico almacenado en cada uso de suelo en los dos pisos altitudinales, se sumaron los promedios de las tres repeticiones hechas en cada uno de los tres tratamientos que componen dicho uso de suelo en dicha profundidad. La cantidad de carbono orgánico de cada repetición en los tratamientos se obtuvo de la siguiente manera:

Datos de laboratorio:

Densidad aparente (gr/cm³)

Porcentaje de carbono orgánico (%)

Cálculos:

Para cada unidad experimental correspondiente a cada piso altitudinal, uso de suelo, profundidad y repetición:

Cálculo del volumen de suelo:

- Profundidad = 30cm
- Volumen en una hectárea de superficie y en 30cm de profundidad: 3000 m³.

Cálculo de la cantidad de carbono orgánico almacenado:

- Transformación de densidad aparente de gr/cm³ a Kg/m³
- $Masa \left(\frac{ton}{ha} \right) = volumen (m^3) \times DA \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
- Transformación del porcentaje de carbono orgánico a unidades decimales
 $(\% \times \frac{0.01}{1\%})$
- Cálculo cantidad de carbono orgánico en muestra: $\frac{Ton CO}{ha} = \% CO \times masa$

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental utilizado para el tratamiento estadístico de los resultados obtenidos en el laboratorio es un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) de tres factores:

- Factor A. Pisos altitudinales
 1. 3200 a 3600 msnm
 2. 3601 a 4200 msnm

- Factor B. Uso del suelo
 1. Uso agrícola
 2. Plantación forestal
 3. Pajonal

- Factor C. Profundidad del suelo
 1. 0 a 30 cm
 2. 31 a 60 cm
 3. más de 61cm

Aplicándose:

Repeticiones: 3 (por cada tratamiento)

Tratamientos: 18 (Tabla N° 6.)

Unidades experimentales: 54

Desarrollo del diseño experimental

El modelo matemático del Diseño de Bloques Completos al Azar es:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + e_{ij}$$

$$H_0: T = 0 \quad H_1: T \neq 0$$

El tratamiento estadístico de los resultados obtenidos de laboratorio empieza por agrupar a los tratamientos vs las tres repeticiones en una matriz, los tratamientos constando en las filas y las repeticiones como columnas, en la matriz deben constar las sumatorias tanto de las filas ($\sum y_{i.}$) como de las columnas ($\sum y_{.j}$). El modelo de la matriz se presenta en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2. Matriz del diseño.

			n		
k	1	2	...	n _j	$\sum y_{i.}$
1					
2					
...					
n _i					
$\sum v_j$					$\sum y_{..}$

Para obtener la Tabla de Análisis de Varianza (Tabla N° 3.) el diseño utiliza las siguientes fórmulas:

- Suma de cuadrados de los tratamientos: $SCT = \sum(Y_{ij})^2 - \frac{Y_{..}^2}{nk}$
- Suma de cuadrados de los bloques: $SCB = \frac{1}{k} \sum(Y_{ij})^2 - \frac{Y_{..}^2}{nk}$
- Suma de cuadrados de los tratamientos: $SCTr = \frac{1}{n} \sum(Y_{ij})^2 - \frac{Y_{..}^2}{nk}$
- Suma de cuadrados del error: $SCE = SCT - SCB - SCTr$

Tabla N° 3. Tabla del análisis de Varianza (ADEVA).

FV	GL	SC	CM	RV	F
Tratam.					
Bloques					
Error					
Total					

Pruebas de comparación múltiple.

Se utilizó la prueba de Tukey, el modelo propuesto por este autor es:

$$> q_{\alpha, rm} GLE \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

Del análisis de la tabla de ADEVA se proceden a realizar las pruebas de comparación múltiple a las columnas “n” y/o a las filas “k” de la matriz de la Tabla N° 2. según corresponda.

Para realizar las pruebas de comparación múltiple se procede a ordenar las sumatorias $\sum y_{.j}$ y/o $\sum y_{i.}$ de la matriz de la Tabla N° 2. en orden descendente asignándoles una letra según el orden alfabético, luego de lo cual se procede a encontrar las restas de las combinaciones binarias de los valores ordenados anteriormente en combinaciones tales como A-B, A-C..., A-R, B-C, B-D,...B-R,C-D,.....,Q-R.

Los resultados obtenidos son dispuestos en una matriz de comparación del tipo $(..., C, B, A) \times (..., C, B, A)$ (Tabla N° 4) en la cual aparece el valor de referencia obtenido a partir del modelo utilizado por Tukey para las pruebas de comparación múltiple. En esta matriz los valores que son menores al valor de referencia indican que las sumatorias “ $\sum y_{i.}$ ” y/o “ $\sum y_{.j}$ ” correspondientes a los componentes “n” y/o “k” de la matriz en la Tabla N° 2. notienen una diferencia significativa, siendo lo contrario para los valores que son mayores al valor de referencia, indicando en este caso que la diferencia es significativa.

Tabla N° 4. Matriz de comparación.

Valor de referencia:				
	...	C	B	A
...	-	C - ...	B - ...	A - ...
C		-	B - R	A - C
B			-	A - B
A				-

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DIAGNÓSTICO BASE DE LOS USOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DEL SUELO EN LA COMUNIDAD

3.1.1. ENTREVISTAS A ADULTOS MAYORES.

Las entrevistas se realizaron con la colaboración de 5 personas adultas mayores residentes en la comunidad según la encuesta que se encuentra en el anexo N° 2. A continuación se presenta la tabulación e interpretación de cada una de las preguntas:

Pregunta N° 1. Hace cuanto vive en la comunidad?.

El 100% de los entrevistados respondió que hace más de 10 años, ya que la mayoría nacieron allí y otros migraron después del matrimonio a temprana edad, siendo esto relevante para la entrevista ya se cumple la condición de que sean adultos mayores en la actualidad.

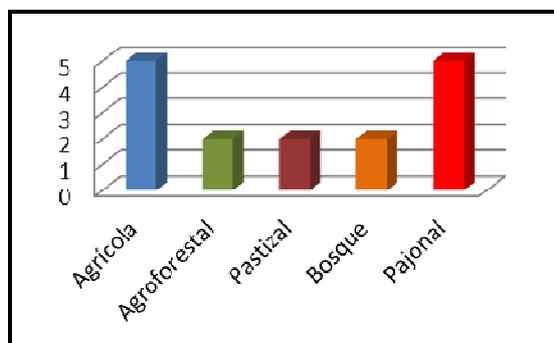
Pregunta N° 2. El uso actual del suelo es:

Tabla N° 5.

Uso suelo	N°	Porcentaje
Agrícola	5	100
Agroforestal	2	40
Pastizal	2	40
Bosque	2	40
Pajonal	5	100

Grafico N° 1

Uso del suelo



Se tuvo como resultado que los usos agrícolas y pajonal son mencionados por el 100% de los entrevistados, y al uso agroforestal, pastizal y bosque con un 40%, esto da cuenta de la percepción principal de los encuestados es de que los suelos de la comunidad están predominantemente cubiertos de pajonal y cultivos agrícolas, con un importante componente (40%) de la percepción de otros usos de suelo, teniendo el factor agrícola principalmente la orientación para el autoconsumo, ya que hace algunos años la comunidad tiende a una conversión a la ganadería (mas rentable económicamente); el pajonal es considerado un factor importante por la extensión que ocupa. Cabe destacar que los pastizales ocupan una gran extensión de la comunidad por la introducción a la ganadería y por proyectos que se han encaminado a la siembra de pasturas mejoradas.

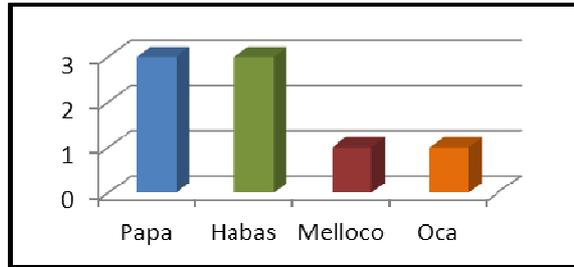
Pregunta N° 3. Que cultivos tienen sembrados en la comunidad?.

Tabla N° 6

Cultivos	N°	Porcentaje
Papa	3	60
Habas	3	60
Melloco	1	20
Oca	1	20

Grafico N° 2

Cultivos comunes en la comunidad



En un 60% de los casos se mencionan la papa y el haba, el melloco y la oca en un 20%, estos cultivos son sembrados permanentemente ya que son los únicos adaptados a esta altura.

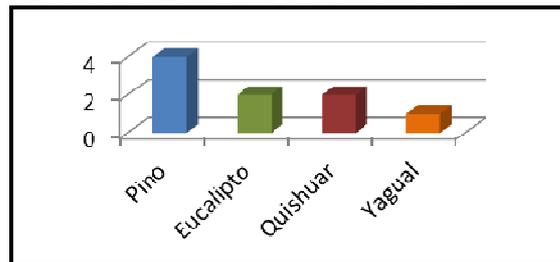
Pregunta N° 4. Que árboles conoce que estén sembrados en la comunidad?.

Tabla N° 7

Árboles	N°	Porcentaje
Pino	4	80
Eucalipto	2	40
Quishuar	2	40
Yagual	1	20

Grafico N° 3

Árboles comunes en la comunidad



Como árboles sembrados en la comunidad el 80% indican que reconocen el pino, el 40% conocen al eucalipto y quishuar, el 20% conocen el yagual; el pino corresponde a plantaciones realizadas las que se están explotando actualmente; el eucalipto, el quishuar y

el yagual son especies que se han sembrado últimamente en sistemas agroforestales, como linderos y cortinas rompe vientos.

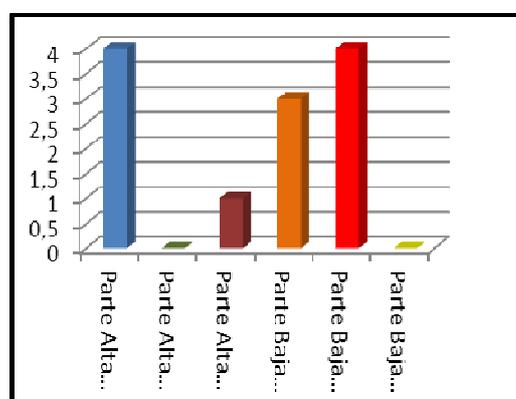
Pregunta N° 5. Conoce por historias de los mayores como eran los terrenos en esta comunidad?.

Tabla N° 8

Uso histórico terrenos	N°	Porcentaje
Parte Alta Pajonal	4	80
Parte Alta Cultivo	0	0
Parte Alta Ganadería	1	20
Parte Baja Pajonal	3	60
Parte Baja Cultivo	4	80
Parte Baja Ganadería	0	0

Grafico N° 4

Determinación previa del uso histórico del suelo



El 80% contestaron que en la parte alta existía pajonal y en la parte baja existían cultivos que eran manejados por un terrateniente, (cabe resaltar que ya existía quema de pajonal por parte del administrador de la hacienda); un 60% respondieron que también existía pajonal en la parte baja de la comunidad, ya que la extensión de la hacienda (ahora comunidad de San Isidro) era muy grande y un 20% recuerdan que en la parte alta existía ganadería ya que el terrateniente poseía ganado bravo

Pregunta N° 6. (Desde que usted vive en la comunidad) o (desde que se acuerda) se ha cambiado el uso de la tierra?.

El 100% contestaron que si y recuerdan que hace 60 años existía ya agricultura en la parte baja, cuando la hacienda estaba administrada por el terrateniente; otros relatan que hace 30 años se empezó a sembrar cultivos de ciclo corto en la comunidad (época transitoria de la Reforma Agraria) y hace 25 años se empezó a sembrar árboles en sistemas agroforestales. Actualmente en la parte baja existen solo pequeñas extensiones de pajonal.

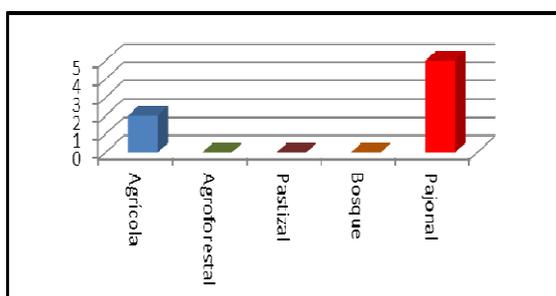
Pregunta N° 7. (Cuando usted llegó a vivir en la comunidad) o (se acuerda hace varios años) como eran los terrenos en la comunidad?.

Tabla N° 9

Uso histórico de los terrenos	N°	Porcentaje
Agrícola	2	40%
Agroforestal	0	0%
Pastizal	0	0%
Bosque	0	0%
Pajonal	5	100%

Grafico N° 5

Cambio de uso del suelo



Hasta cuando los entrevistados tienen en memoria, el 100% de ellos contestó que recuerda los suelos con pajonal y un 40% los recuerda con cultivos agrícolas, además resaltan que la agricultura se la hacía cerca de la casa de hacienda que estaba ubicada en la parte baja de la actual comunidad.

Pregunta N° 8. Piensa usted que los cambios de uso de las tierras en la comunidad han sido favorables?.

El 100% respondió que si, ya que el cambio fue muy favorable desde el punto de vista social brindándoles un ingreso primero por agricultura y luego por ganadería (leche).

Pregunta N° 9. (Desde que usted vive en la comunidad) o (desde que se acuerda) siguen teniendo la misma cantidad de agua.

El 100% respondió que no es la misma cantidad, dado que antes el caudal era (según la opinión de los encuestados) de dos hasta tres veces del caudal actual.

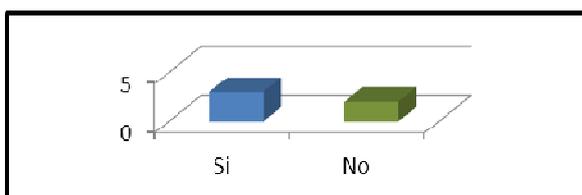
Pregunta N° 10. Accedió usted al proyecto de introducción de semillas mejoradas de pastizal?.

Tabla N° 10

Respuesta	N°	Porcentaje
Si	3	60%
No	2	40%

Grafico N° 6

Acceso a las semillas mejoradas de pastizal



El 60% respondió que si accedió y un 40% respondió que no; indicando que los pastizales a los que se accedieron fueron sembrados en terrenos comunitarios llegando a una extensión de 70 has. aproximadamente.

3.1.2. ASPECTOS GENERALES DE LA COMUNIDAD

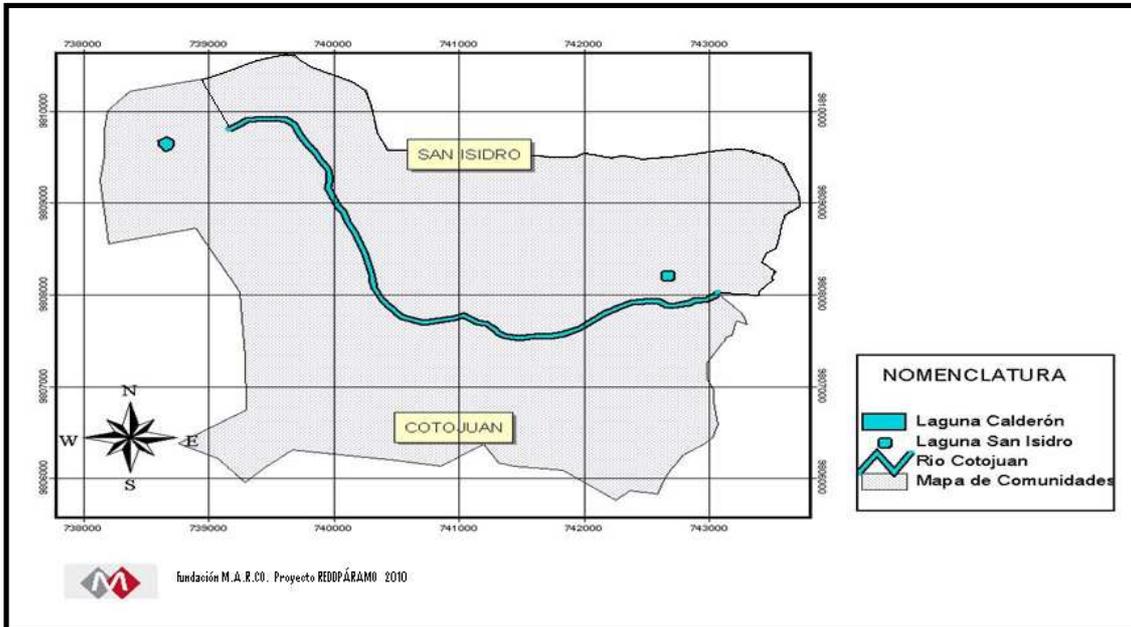
- La comunidad se encuentra comprendida en un rango altitudinal de 1000m de desnivel entre los 3200m.s.n.m. a los 4200 m.s.n.m. (Fundación Marco, 2009.), el relieve presenta un valle principal de fondo estrecho por el cual fluye un pequeño cauce de agua superficial cuyos orígenes están en los pajonales de la parte alta y que recorre en su longitud a la comunidad, ampliándose su fondo al llegar a la parte baja de la misma (Fotografía N° 1.) Las fotografías tomadas en el transcurso de la investigación se hallan en el anexo N° 5.

Fotografía N° 1. Vista de la comunidad, se aprecia el centro urbano en la parte derecha de la imagen.



- Se tomaron con un GPS las coordenadas UTM de los linderos de la comunidad (Anexo N° 1.), los cuales permitieron hacer un croquis de la misma (Imagen N° 1.).

Imagen N° 1. Croquis de la Comunidad Huacona San Isidro



- El primer horizonte edáfico en el perfil del suelo es del tipo “A” según la nomenclatura para los horizontes principales (Universidad de Granada, “El suelo, concepto y formación”, España, 2010) debido a que es formado en la superficie y contiene casi la totalidad de materia orgánica del perfil de suelo, presenta un color gris-oscuro a negro, este horizonte tiene un espesor aproximado de 1m (Fotografía N° 2.) y está claramente delimitado no existiendo un claro horizonte de transición o mezcla en su límite inferior, el horizonte sobre el cual se asienta es un horizonte tipo C porque está compuesto de material rocoso muy fragmentado por acción física-mecánica y de consistencia relativamente blanda. El horizonte superficial tipo “A” tiene el espesor mencionado excepto en las partes bajas de la comunidad en las cuales debido a acciones humanas de importante impacto (agricultura, asentamientos poblacionales, caminos) ha resultado en una destrucción parcial de este horizonte observándose procesos erosivos en el mismo.

Fotografía N° 2. Perfil característico del suelo



3.1.3. DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL USO DEL SUELO

La distribución de uso de suelo aproximadamente es:

1. Pajonales: 70%
 2. Plantaciones forestales: 8%*
 3. Agrícola y pastizales: 22%
-
1. Los pajonales se hallan en la parte alta, comprendidos entre los 3500 a los 4200 m.s.n.m. aunque el límite inferior es solo referencial porque plantaciones forestales y cultivos agrícolas llegan hasta los 3900 m.s.n.m. en algunas zonas separadas entre si.
 2. Existe una plantación forestal de Pino (*Pinus Radiata*) aún no explotada de aproximadamente 25ha de extensión ubicada entre los 3700 a los 3900m.s.n.m., y otra similar al frente del centro urbano que fue explotada en los meses de octubre a diciembre

de 2009 y que contaba con una extensión aproximada de 25ha y estaba comprendida entre los 3500-3700 m.s.n.m.

3. Los cultivos agrícolas y pastizales se hallan desde el límite inferior de 3200m.s.n.m. hasta los 3600m.s.n.m. principalmente, aunque también están presentes en menores extensiones y separadamente hasta la cota de los 3800m.s.n.m. Los cultivos agrícolas corresponden a sembríos de papas siendo estas las predominantes, también existiendo los cultivos de mellocos, habas y ocas. Los pastizales son destinados para el consumo del ganado bovino principalmente.

Otro uso de suelo no tan definido en sus límites como los anteriores descritos corresponde a los suelos destinados a la ganadería, esta en el piso alto se centra principalmente en el pastoreo de ganado vacuno bravo (30 cabezas aproximadamente) en pajonales y pastizales sembrados, adicionalmente se han observado hasta dos pequeños rebaños de ovejas (10-15 cabezas cada uno) que pastan en compañía de sus dueños, en este piso por ser utilizado para la mayor parte de actividades ganaderas y por poseer la mayor parte del pajonal de la comunidad se observan las quemadas intencionales del mismo para que los rebrotes verdes sirvan de alimento para el ganado, tales quemadas han llegado a alcanzar extensiones de 2ha** pero generalmente se consumen espontáneamente alcanzando por lo regular una extensión de 1ha mas o menos. En el piso bajo antes que ganadería se podría hablar de cuyeras y conejeras familiares confinadas a pequeños espacios y destinadas para el autoconsumo, además de la posesión por algunas familias de 1-3 cabezas de ganado en sus predios.

*: El porcentaje corresponde a la superficie total aproximada ocupada por las 2 plantaciones forestales al inicio de la investigación, de las cuales una estaba empezando a ser explotada. Hasta el mes de octubre de 2010 la mitad de las plantaciones forestales ha sido explotada.

** : En ocasiones extraordinarias las quemadas no se han extinguido sino hasta alcanzar extensiones tanto como de 4ha debido a las condiciones de viento y sequedad que han

existido al momento en que estas se desarrollaban. (obtenido a partir de conversaciones con los habitantes de la comunidad).

3.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CANTIDAD DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL ALMACENADO EN LOS SUELOS BAJO USO AGRÍCOLA, DE PLANTACIÓN FORESTAL Y PAJONAL.

3.2.1. RESULTADOS

En la Tabla N° 11. se presentan resumidos con fines ilustrativos los resultados entregados por el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, se presentan los resultados para las variables: densidad aparente, porcentaje de materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico, todos obtenidos como promedios entre las tres repeticiones de cada tratamiento y constando sus respectivas desviaciones estándar. A partir de estos resultados se ha calculado la cantidad de carbono orgánico almacenado por piso altitudinal, uso de suelo y profundidad, estos encontrándose en la Tabla N° 12, y presentados en el Gráfico N° 7.

Los resultados completos provenientes del laboratorio se encuentran en el Anexo N° 3.

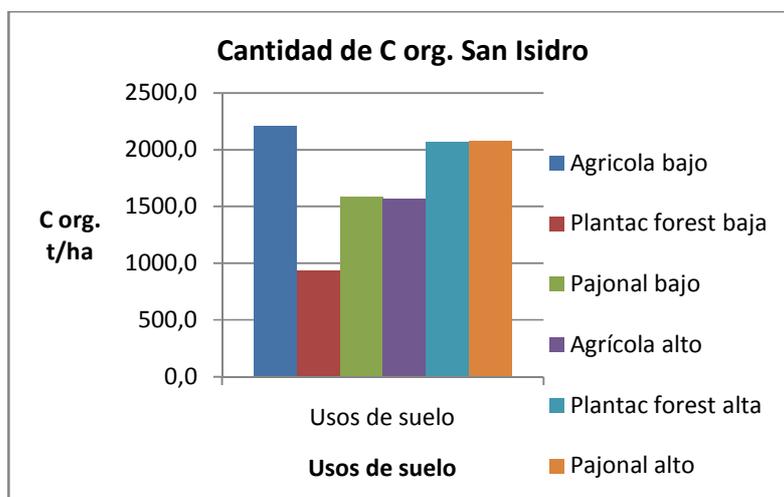
Tabla N° 11. Resultados de los análisis de laboratorio resumidos.

Altura	Uso	Prof.	Tratamiento	D.A. (gr/cm ³)	Desv. Est.	M.O. (%)	Desv. Est.	C org. (%)	Desv. Est.
3200 - 3600	Agrícola	0 - 30	T1	1,2	0,0	28	4	18,9	2,5
	Agrícola	30 - 60	T2	1,2	0,1	25	4	16,5	2,7
	Agrícola	60 - 90	T3	1,2	0,1	38	7	25,7	4,4
	Plantac. For.	0 - 30	T4	1,1	0,0	18	3	8,8	5,0
	Plantac. For.	30 - 60	T5	1,0	0,0	17	13	11,3	8,4
	Plantac. For.	60 - 90	T6	1,0	0,0	15	11	9,8	7,4
	Pajonal	0 - 30	T7	1,2	0,1	27	24	18,4	15,8
	Pajonal	30 - 60	T8	1,1	0,1	21	16	14,4	10,8
	Pajonal	60 - 90	T9	1,1	0,1	22	19	15,0	12,6
3600-4200	Agrícola	0 - 30	T10	0,7	0,1	15	12	9,8	7,8
	Agrícola	60 - 90	T11	1,1	0,1	31	11	20,6	7,4
	Agrícola	60 - 90	T12	1,2	0,1	24	6	16,2	4,3
	Plantac. For.	0 - 30	T13	1,2	0,1	19	10	12,8	6,9
	Plantac. For.	30 - 60	T14	1,1	0,1	15	19	10,1	12,8
	Plantac. For.	60 - 90	T15	1,3	0,1	48	16	32,3	10,6
	Pajonal	0 - 30	T16	1,2	0,0	27	7	17,9	4,9
	Pajonal	30 - 60	T17	1,2	0,1	26	10	17,2	6,7
	Pajonal	60 - 90	T18	1,2	0,1	33	16	21,9	10,9

Tabla N° 12. Contenido de carbono orgánico.

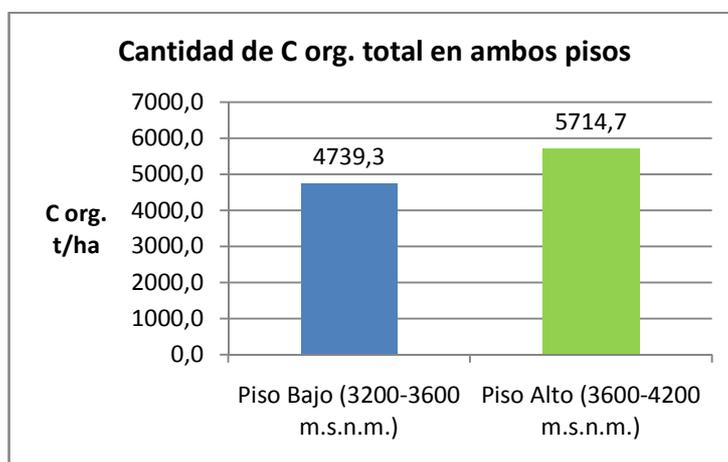
Altura m.s.n.m.	Uso	Prof cm	Tratamiento	Cant. C/prof (Ton/ha)		Cant. C Ton/ha
				Media	Desv. Est.	
3200 - 3600	Agrícola	0 - 30	T1	681,6	90,1	2210,6
		30 - 60	T2	581,1	116,6	
		60 - 90	T3	947,9	127,0	
	Plantac. For.	0 - 30	T4	280,5	168,9	939,4
		30 - 60	T5	353,5	267,2	
		60 - 90	T6	305,3	226,5	
	Pajonal	0 - 30	T7	647,8	567,7	1589,3
		30 - 60	T8	462,7	350,0	
		60 - 90	T9	478,8	410,9	
3600 - 4200	Agrícola	0 - 30	T10	305,7	224,7	1569,2
		30 - 60	T11	693,7	225,4	
		60 - 90	T12	569,8	167,6	
	Plantac. For.	0 - 30	T13	452,9	255,7	2067,5
		30 - 60	T14	336,0	420,6	
		60 - 90	T15	1278,6	380,6	
	Pajonal	0 - 30	T16	644,4	174,9	2078,0
		30 - 60	T17	615,8	298,2	
		60 - 90	T18	817,8	417,3	

Grafico N° 7. Contenido de carbono orgánico por piso altitudinal y uso de suelo.



3.2.2. RELACIÓN DEL CONTENIDO DE C ORG. POR USO DE SUELO Y ENTRE LOS PISOS ALTITUDINALES.

Grafico N° 8. Contenido de carbono orgánico total por piso altitudinal.



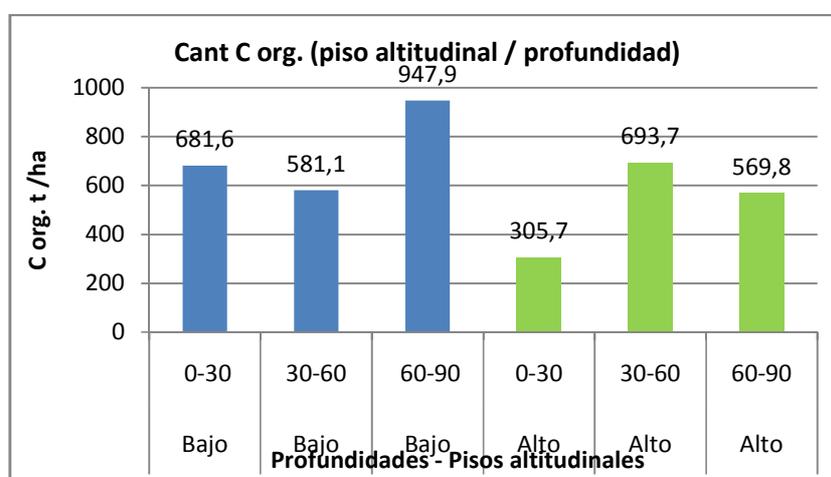
Como se aprecia en el gráfico N° 8., la parte alta del sitio de estudio (piso altitudinal alto 3600-4200m.s.n.m.) contiene una mayor cantidad de carbono orgánico en una proporción de 1.2 veces que el piso bajo (3200-3600m.s.n.m.) considerando la suma en todos los usos de suelo porcada piso (Tabla N° 12.), debido a la mayor conservación del suelo porque es

menos accesible y apropiado para las actividades humanas como asentamientos poblacionales, ganadería, agricultura, resultando en una menor destrucción de la vegetación natural que lo cubre y del horizonte “A” del perfil de suelo original que contiene altas cantidades almacenadas de carbono orgánico, por lo tanto evitando su pérdida por oxidación y erosión eólica o hídrica.

3.2.2.1. Relación del contenido de C org. en el uso de suelo agrícola.

Este uso de suelo en el piso altitudinal bajo presenta una excepción con respecto a la tendencia de que los usos de suelo ubicados en el piso altitudinal alto tienen mayores cantidades de carbono orgánico almacenado (Gráfico N° 7 y Gráfico N° 8), es así que es mayor en una proporción de 1.4 veces la cantidad que en el piso alto (ver Tabla N° 12.), esto es debido a que la agricultura en este piso ha estado presente durante décadas y su efecto en los resultados observados es debido principalmente a que los residuos de cada cosecha quedan en el suelo y aportan materia orgánica (FAO, 2000) además de procesos de lixiviación y evolución de la materia orgánica en el suelo, dando como resultado mayores cantidades de carbono orgánico almacenado que en el piso altitudinal alto.

Gráfico N° 9. Relación de contenido de C org. por profundidad para el uso de suelo agrícola en ambos pisos altitudinales.



En el gráfico N° 9. se observa que para el piso altitudinal bajo en la profundidad de 60-90 cm existe la mayor cantidad de carbono orgánico almacenado, esto es resultado de la lixiviación de la materia orgánica en descomposición desde las capas superiores tomándose en cuenta que este suelo es franco-arenoso lo que facilita este proceso, la cantidad observada en la profundidad de 0-30 cm es mayor a la de la profundidad de 30-60 cm porque en esta primera se remueve y agrega constantemente mas materia orgánica de fácil descomposición (restos de plantas de papas, habas, mellocos) además de existir una mayor actividad microbiana relacionada a la mayor cantidad de oxígeno disponible, actuando el suelo de la profundidad intermedia mas a manera de un “medio de transporte” para los lixiviados provenientes de la parte superior del suelo, añadiéndose a esto que aquí la actividad microbiana es menor debido a que existe una menor cantidad de oxígeno disponible.

Para el piso altitudinal alto se observa en la profundidad de 0-30 cm una cantidad de carbono orgánico almacenado significativamente menor a la encontrada a profundidades mayores, esto es debido a que el inicio de las actividades agrícolas en este piso altitudinal es relativamente reciente, desde mediados de la última década, y que está siendo desarrollada sobre los terrenos anteriormente cubiertos de pajonal y poco alterados y por ende con altos contenidos de carbono orgánico, las actividades agrícolas implican la retirada de la diversidad vegetativa natural del páramo además de la remoción de la parte superficial del suelo por el laboreo que lo voltea y destruye sus macroagregados así exponiendo el suelo y por tanto facilitando la oxidación de la materia orgánica (ORDÓÑEZ, R., GONZÁLES, F., 2002) esto ocasiona que esta se pierda a una tasa mayor que la que se incorpora por los residuos post cosecha de las actividades agrícolas, y tomando en cuenta que los cultivos agrícolas mencionados en el párrafo anterior pueden desarrollarse en suelos con contenidos de materia orgánica menores al 2% (SULLIVAN, 2004) a diferencia del 23% de materia orgánica aún contenida en este uso de suelo (Desv. Est.: 8. promediada entre las tres profundidades de estudio), la restante materia orgánica tiende a disminuir porque se encuentra en un desequilibrio considerando que el uso de suelo ha cambiado. Esta disminución de la materia orgánica es importante al inicio del cambio de este uso de suelo, pero con el tiempo esta tiende a alcanzar una condición de equilibrio y a aumentar, ISMAIL (1994) ha comprobado que los cambios en la distribución de la materia

orgánica originados por los distintos sistemas de manejo afectan a la capa más superficial del suelo, y el contenido de materia orgánica, y ORDOÑEZ (2002) verifico que el laboreo mínimo y la siembra directa en experimentos de 20 años de duración conducían progresivamente al aumento del contenido de materia orgánica en los primeros 50 cm de suelo.

Por lo que se deduce que actualmente bajo las prácticas agrícolas en este piso la materia orgánica está aumentando en los primeros 30 centímetros al tiempo que parte de esta esta siendo lixiviada ya transformada hacia las profundidades de 30-60y de 60-90 cm, esperándose en las próximas décadas que esta tendencia desemboque en contenidos similares a los observados para este uso de suelo en el piso altitudinal bajo.

3.2.2.2. Relación del contenido de C org. en el uso de suelo plantación forestal.

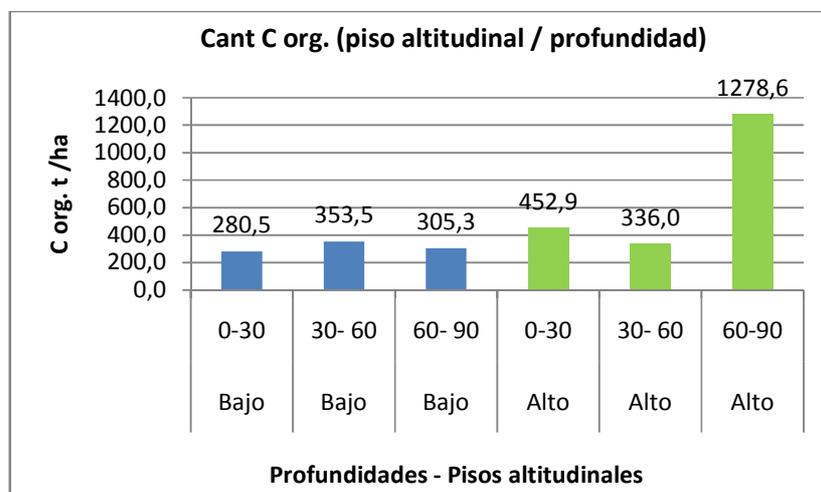
En el piso altitudinal bajo este uso de suelo contiene menores cantidades de carbono orgánico almacenado en relación a la cantidad encontrada en el piso altitudinal alto (Gráfico N° 7), tal es así que esta cantidad es 2.2 veces mayor en el piso altitudinal alto que en el bajo (tabla N° 12.) debido a que cuando la actual plantación forestal fue sembrada esta ya se encontraba sobre un horizonte superficial tipo “A” bastante alterado por las prácticas humanas y que anteriormente estaba recubierto de pajonal, pudiéndose hoy en día observar in situ que el horizonte “A” alcanza una profundidad de aproximadamente 50-70 centímetros luego del cual se observa un horizonte de transición tipo “AC” de aproximadamente 25cm de espesor, y la única plantación forestal ubicada en el piso altitudinal bajo se halla sobre este horizonte previamente alterado y por ende con un menor contenido de carbono orgánico al momento de la plantación.

GUO, et al. (2002) concluyen que la conversión de pajonales a plantaciones forestales permite el secuestro de carbono en la biomasa de los árboles, pero el efecto sobre el carbono de suelo varia de un sistema a otro, y FARLEY (2004) indica que las plantaciones forestales de pino sobre pajonales tienden a reducir la cantidad de carbono orgánico secuestrado en el suelo según un estudio realizado en los páramos de la provincia de

Cotopaxi, por lo que los resultados hallados en la presente investigación son congruentes con el conocimiento actual.

Para el piso altitudinal alto se observan contenidos aproximados a los encontrados en el piso altitudinal bajo (Gráfico N° 10) como consecuencia del efecto ya conocido de la disminución de la materia orgánica en páramos bastantes conservados que sustentan plantaciones forestales de especies exóticas (GUO, et al., 2002; FARLEY, 2004), aproximadamente la mitad de la superficie cubierta por estas plantaciones fue introducida sobre un pajonal presumiblemente en buen estado de conservación y con una mayor pendiente (aprox. 40°) y la restante plantación fue sembrada sobre un páramo en mayor estado de degradación y con una pendiente de aproximadamente 30°, tales inclinaciones de los terrenos sumadas a que el horizonte superficial "A" se halla sobre un horizonte tipo "C" menos permeable que el primero, permitiría la migración de la materia orgánica -que no ha sido oxidada y perdida hacia la atmósfera- desde el horizonte "A" a mayores profundidades y posteriormente facilitar que esta resbale en forma de lixiviados pendiente abajo sobre el horizonte "C" permitiendo su acumulación momentánea mientras la tendencia de esta es disminuir con el tiempo bajo este uso de suelo, las plantaciones tienen una edad de 12 años implicando que el flujo de agua es menor comparado al existente antes de la plantación como lo aseveran estudios realizados por FARLEY et al. (2005) en cambios de uso de suelo de pajonales a plantaciones de pino, sin embargo lo que sumado al desarrollo de las raíces de los árboles que alteran la agregación original del suelo habrían permitido este fenómeno de escurrimiento y acumulación momentánea de materia orgánica y por lo tanto de carbono orgánico en el límite inferior del horizonte "A".

Grafico N° 10. Relación de contenido de C org. por profundidad para el uso de suelo plantación forestal en ambos pisos altitudinales.



3.2.2.3. Relación del contenido de C org. en el uso de suelo pajonal.

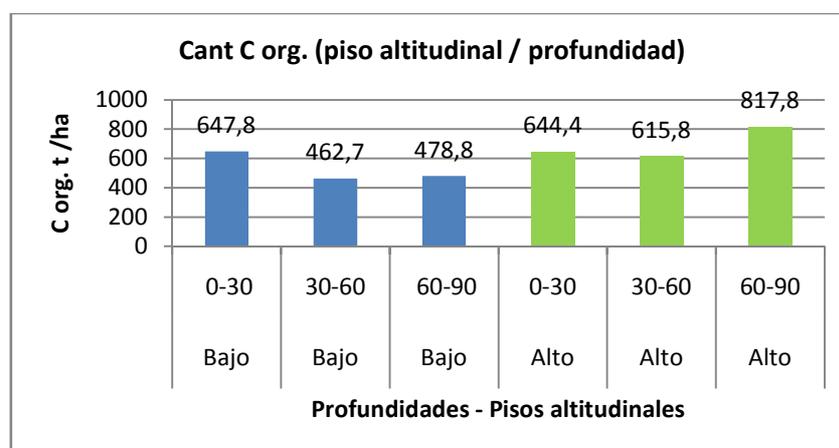
La cantidad de carbono orgánico almacenado en la parte alta es mayor que la cantidad almacenada en la parte baja (Gráfico N° 7.), en un factor de 1.3 veces mayor (tabla N° 12.), resultado de que el pajonal existente hasta la actualidad en la parte alta, histórica y actualmente no ha sufrido un impacto negativo de consideración por acciones humanas o de origen natural, al contrario con el pajonal remanente en la parte baja, esto determinando que hasta el presente el pajonal de la parte alta tenga históricamente mayores cantidades de carbono orgánico almacenado.

En el piso altitudinal bajo el rango de profundidad que contiene visiblemente la mayor cantidad de carbono orgánico almacenado es el de 0-30cm, debido a que el pajonal existente aun en este piso en su mayoría queda en forma de remanentes ubicados entre terrenos agrícolas o brechas de pastizales para la ganadería, lo que por medio de el fenómeno de migración superficial arrastra partículas de suelo y pequeños restos vegetales desde los mencionados usos de suelo hasta estos remanentes de pajonal, así incrementando el contenido de materia orgánica en la parte externa del suelo y por ende el contenido de carbono orgánico; los dos siguientes rangos de profundidad presentan un contenido casi

similar aunque es sensiblemente mayor el del rango de profundidad de 60-90cm como resultado de la mayor facilidad de lixiviación de materia orgánica transformada desde la parte superior (Gráfico N° 11).

En el piso altitudinal alto la mayoría de la superficie del suelo está cubierta por pajonales que en general se encuentran en buen estado de conservación, por lo que los resultados observados servirían como referencia de los contenidos de materia orgánica y de carbono orgánico almacenado en el ecosistema pajonal para el área de estudio y los sectores aledaños. La distribución de carbono orgánico en función de la profundidad presenta un patrón esperado tomando en cuenta la textura franco-arenosa del suelo, por estar contenida en un horizonte superficial tipo “A” y limitando en su parte inferior con un horizonte menos permeable tipo “C” sin un claro horizonte mezcla “AC” entre este y el primero, así existiendo la cantidad observada para el primer rango de profundidad como consecuencia del lento pero constante aporte de materia orgánica principalmente de restos de la diversidad vegetativa natural del páramo (Anexo N° 4) y en menor medida restos de la fauna propia, mientras la materia orgánica se transforma es lentamente transportada hacia mayores profundidades por efecto de la lixiviación, lo cual determina un contenido medio en el rango de profundidad intermedio (30-60 cm) y un máximo en el último rango de profundidad (60-90cm) por este limitar en su parte inferior con un horizonte tipo “C” menos permeable.

Gráfico N° 11. Relación de contenido de C org. por profundidad para el uso de suelo pajonal en ambos pisos altitudinales.



3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La matriz para el diseño experimental de bloques completos al azar se presenta en la Tabla N° 13.

Tabla N° 13. Matriz de tratamientos vs repeticiones.

Trat/rept	R1	R2	R3	$\sum y_i$
1	594,0	774,0	676,8	2044,8
2	579,6	698,4	465,3	1743,3
3	838,5	918,0	1087,2	2843,7
4	439,5	298,9	103,2	841,6
5	51,9	447,8	560,8	1060,5
6	85,1	293,3	537,7	916,0
7	554,4	1256,4	132,6	1943,4
8	444,0	821,7	122,4	1388,1
9	864,6	525,0	46,8	1436,4
10	198,0	155,1	564,0	917,1
11	460,8	910,8	709,5	2081,1
12	507,6	442,2	759,6	1709,4
13	727,2	221,1	410,4	1358,7
14	821,7	97,2	89,1	1008,0
15	848,4	1571,7	1415,7	3835,8
16	846,0	554,4	532,8	1933,2
17	353,1	939,9	554,4	1847,4
18	1099,8	338,4	1015,2	2453,4
$\sum y_j$	10314,2	11264,3	9783,4	31361,9

La tabla de ADEVA se encuentra expuesta en la Tabla N° 14.

Tabla N° 14. Tabla de análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	RV	F	Conclusión
Tratam.	17	3313988,7	194940,5	2,1	1,7	Ho se rechaza, se acepta H1
Bloques	2	62546,7	31273,3	0,3	2,5	Ho se acepta
Error	34	3163404,4	93041,3			
Total	53	6539939,8				

Del análisis de la Tabla N° 14. Se obtiene que para:

- **Tratamientos:** Existe una diferencia significativa, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, es necesario desarrollar pruebas de comparación múltiple.

El que existan diferencias significativas entre los tratamientos es una conclusión esperada debido a que cada tratamiento corresponde a muestras de suelo de muy diferentes condiciones de origen porque se encuentran en diferentes pisos altitudinales, bajo condiciones diferentes de uso de suelo y a diferentes profundidades.

- **Bloques:** No existe una diferencia significativa, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, no es necesario aplicar pruebas de comparación múltiple.

El que no existan diferencias significativas entre los bloques o repeticiones es esperado debido a que estas repeticiones son hechas en condiciones iguales de piso altitudinal, uso de suelo y profundidad en cada uno de los tratamientos.

Pruebas de Comparación Múltiple:

Se utilizó un nivel “2” de confianza (95%) para trabajar con el modelo de Tukey para realizar las pruebas de comparación múltiple, debido a que estas deben ser aplicadas a los tratamientos se utilizarán las sumatorias de las tres repeticiones de cada uno de ellos ($\sum y_i$) como está descrito en la Tabla N° 15.

Tabla N° 15. Sumatorias ($\sum y_i$) ordenados con su respectiva nomenclatura.

N° Tratamiento	$\sum y_i$	Nomenclatura
15	3835,80	A
3	2843,70	B
18	2453,40	C
11	2081,10	D
1	2044,80	E
7	1943,40	F
16	1933,20	G

17	1847,40	H
2	1743,30	I
12	1709,40	J
9	1436,40	K
8	1388,10	L
13	1358,70	M
5	1060,53	N
14	1008,00	O
10	917,10	P
6	915,99	Q
4	841,61	R

En la Tabla N° 16 se presentan los resultados de las restas de las combinaciones de los valores de la Tabla N°15.

Tabla N° 16. Restas entre combinaciones de ($\sum y_i$) previamente ordenadas descendentemente.

Id.	Resul.	Id.	Resul.	Id.	Resul.	Id.	Resul.								
A-B	992,1	B-C	390,3	C-D	372,3	D-E	36,3	E-F	101,4	F-G	10,2	G-H	85,8	H-I	104,1
A-C	1382,4	B-D	762,6	C-E	408,6	D-F	137,7	E-G	111,6	F-H	96	G-I	189,9	H-J	138
A-D	1754,7	B-E	798,9	C-F	510,0	D-G	147,9	E-H	197,4	F-I	200,1	G-J	223,8	H-K	411
A-E	1791,0	B-F	900,3	C-G	520,2	D-H	233,7	E-I	301,5	F-J	234	G-K	496,8	H-L	459,3
A-F	1892,4	B-G	910,5	C-H	606,0	D-I	337,8	E-J	335,4	F-K	507	G-L	545,1	H-M	488,7
A-G	1902,6	B-H	996,3	C-I	710,1	D-J	371,7	E-K	608,4	F-L	555,3	G-M	574,5	H-N	786,867
A-H	1988,4	B-I	1100,4	C-J	744,0	D-K	644,7	E-L	656,7	F-M	584,7	G-N	872,667	H-O	839,4
A-I	2092,5	B-J	1134,3	C-K	1017,0	D-L	693,0	E-M	686,1	F-N	882,867	G-O	925,2	H-P	930,3
A-J	2126,4	B-K	1407,3	C-L	1065,3	D-M	722,4	E-N	984,267	F-O	935,4	G-P	1016,1	H-Q	931,41
A-K	2399,4	B-L	1455,6	C-M	1094,7	D-N	1020,6	E-O	1036,8	F-P	1026,3	G-Q	1017,21	H-R	1005,79
A-L	2447,7	B-M	1485,0	C-N	1392,9	D-O	1073,1	E-P	1127,7	F-Q	1027,41	G-R	1091,59		
A-M	2477,1	B-N	1783,2	C-O	1445,4	D-P	1164,0	E-Q	1128,81	F-R	1101,792				
A-N	2775,3	B-O	1835,7	C-P	1536,3	D-Q	1165,1	E-R	1203,192						
A-O	2827,8	B-P	1926,6	C-Q	1537,4	D-R	1239,5								
A-P	2918,7	B-Q	1927,7	C-R	1611,8										
A-Q	2919,8	B-R	2002,1												
A-R	2994,2														

Tabla N° 16. (Continuación)

Id.	Resul.	Id.	Resul.	Id.	Resul.	Id.	Resul.										
I-J	33,9	J-K	273	K-L	48,3	L-M	29,4	M-N	298,167	N-O	52,533	O-P	90,9	P-Q	1,11	Q-R	74,4
I-K	306,9	J-L	321,3	K-M	77,7	L-N	327,567	M-O	350,7	N-P	143,433	O-Q	92,01	P-R	75,492		
I-L	355,2	J-M	350,7	K-N	375,867	L-O	380,1	M-P	441,6	N-Q	144,543	O-R					
I-M	384,6	J-N	648,867	K-O	428,4	L-P	471	M-Q	442,71	N-R	218,925						
I-N	682,767	J-O	701,4	K-P	519,3	L-Q	472,11	M-R	517,092								
I-O	735,3	J-P	792,3	K-Q	520,41	L-R	546,492										
I-P	826,2	J-Q	793,41	K-R	594,792												
I-Q	827,31	J-R	867,792														
I-R	901,692																

De la sustitución de los componentes del modelo de Tukey se obtuvo un valor de referencia de: “947,5” el cual fue utilizado para identificar a los tratamientos que presentan o no presentan diferencias significativas al ser comparados con este en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17. Matriz de comparación con el valor de referencia (se encuentran resaltados en amarillo los valores que son mayores al valor de referencia).

Valor de referencia del modelo de Tukey : 947,46																		
	R	Q	P	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
R	-	74,38	75,49	166,39	218,93	517,09	546,49	594,79	867,79	901,69	1005,79	1091,59	1101,79	1203,19	1239,49	1611,79	2002,09	2994,19
Q		-	1,11	92,01	144,54	442,71	472,11	520,41	793,41	827,31	931,41	1017,21	1027,41	1128,81	1165,11	1537,41	1927,71	2919,81
P			-	90,90	143,43	441,60	471,00	519,30	792,30	826,20	930,30	1016,10	1026,30	1127,70	1164,00	1536,30	1926,60	2918,70
O				-	52,53	350,70	380,10	428,40	701,40	735,30	839,40	925,20	935,40	1036,80	1073,10	1445,40	1835,70	2827,80
N					-	298,17	327,57	375,87	648,87	682,77	786,87	872,67	882,87	984,27	1020,57	1392,87	1783,17	2775,27
M						-	29,40	77,70	350,70	384,60	488,70	574,50	584,70	686,10	722,40	1094,70	1485,00	2477,10
L							-	48,30	321,30	355,20	459,30	545,10	555,30	656,70	693,00	1065,30	1455,60	2447,70
K								-	273,00	306,90	411,00	496,80	507,00	608,40	644,70	1017,00	1407,30	2399,40
J									-	33,90	138,00	223,80	234,00	335,40	371,70	744,00	1134,30	2126,40
I										-	104,10	189,90	200,10	301,50	337,80	710,10	1100,40	2092,50
H											-	85,80	96,00	197,40	233,70	606,00	996,30	1988,40
G												-	10,20	111,60	147,90	520,20	910,50	1902,60
F													-	101,40	137,70	510,00	900,30	1892,40
E														-	36,30	408,60	798,90	1791,00
D															-	372,30	762,60	1754,70
C																-	390,30	1382,40
B																	-	992,10
A																		-

De la tabla N° 17. se destaca que las columnas: R, Q, P, O, N, M, L, K, J, I, que corresponden a los tratamientos N° 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, no tienen diferencias

significativas entre tratamientos, la descripción de estos tratamientos se encuentra en la tabla N° 18.

En cambio las columnas H, G, F, E, D, C, B, A, que corresponden a los tratamientos N° 1, 3, 7, 11, 15, 16, 17, 18, la diferencia entre las tres repeticiones para cada uno de los tratamientos es significativa, la descripción de estos tratamientos se encuentra en la tabla N° 19.

Tabla N° 18. Descripción de los tratamientos entre los cuales no existen diferencias significativas.

Tratamiento	Código	Descripción
T2	A1B1C2	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(30-60cm)
T4	A1B2C1	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T5	A1B2C2	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(30-60cm)
T6	A1B2C3	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T8	A1B3C2	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(30-60cm)
T9	A1B3C3	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T10	A2B1C1	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(0-30cm)
T12	A2B1C3	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T13	A2B2C1	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T14	A2B2C2	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(30-60cm)

Tabla N° 19. Descripción de los tratamientos entre los cuales existen diferencias significativas.

Tratamiento	Código	Descripción
T1	A1B1C1	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(0-30cm)
T3	A1B1C3	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T7	A1B3C1	Piso altitudinal(3200-3600msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T11	A2B1C2	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (agrícola), Profundidad del suelo(30-60cm)
T15	A2B2C3	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (plantación forestal), Profundidad del suelo(más de 60cm)
T16	A2B3C1	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(0-30cm)
T17	A2B3C2	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(30-60cm)
T18	A2B3C3	Piso altitudinal(3600-4200msnm), Uso del Suelo (pajonal), Profundidad del suelo(más de 60cm)

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

- En la actualidad la actividad agrícola y la construcción de estructuras como viviendas y caminos, se halla a mayor altura que la actividad de mediados de siglo XX, a lo largo de este mismo período la ganadería mantiene niveles similares en cuanto a número de cabezas. La distribución de uso de suelo en la década de 1970 fue aproximadamente: Pajonales: 85%, Agrícola-Pastizales: 15%; La distribución actual de uso de suelo es aproximadamente: Pajonales: 70%, Agrícola-Pastizales:22%, Plantaciones Forestales: 8%.
- Los suelos del ecosistema páramo estudiados contienen altas cantidades de carbono orgánico almacenado: 1833.7 t C org./ha (promediado en el uso de suelo pajonal entre ambos pisos altitudinales) en comparación a los páramos de la provincia de Carchi – Ecuador con un contenido de 1700 t C org./ha (HOFSTEDE, R., 2004) y en relación a los páramos del austro en la provincia del Azuay – Ecuador con un contenido de 360 t C org./ha (BORJA, P., et al., 2008).
- Los suelos de la comunidad en el uso de suelo agrícola presentan una cantidad de carbono orgánico total almacenado para el piso altitudinal alto de 1569.2 t C org./ha; y para el piso al. Bajo de 2210.6 t C org./ha
- Bajo el uso de suelo plantación forestal se almacenan en el piso altitudinal alto 2067.5 t C org./ha; y en el piso altitudinal bajo se encuentran almacenadas 939.4 t C org./ha.

- En el uso de suelo pajonal se encuentran almacenadas en el piso altitudinal alto 2078.0 t C org./ha; y en el piso altitudinal bajo se hallan almacenadas 1589.3 t C org./ha.

CAPÍTULO V

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar acciones comunitarias para limitar y llegar a frenar el avance en altura de la frontera de las actividades humanas como la agricultura, siembra de plantaciones de especies exóticas, la caza exagerada de los animales que habitan por sobre los 3600m.s.n.m. mediante mecanismos de pago por servicios ambientales, ecoturismo manejado sustentablemente, agricultura de conservación en la parte baja, pudiéndose optimizar esta adaptación a nuevas o mejoradas prácticas por medio de trabajo conjunto con ONGs, entidades gubernamentales como el Consejo Provincial de Chimborazo, el Gobierno Nacional por medio de los ministerios de Ambiente, Turismo, o en proyectos nacionales como el Socio Bosque o Socio Páramo.
- Debido al alto contenido de carbono orgánico almacenado en los suelos de la comunidad se recomienda procurar conservarlos en su estado natural así manteniéndose este beneficio para la humanidad y a la vez que representa una buena oportunidad para poder ingresar a mercados de pago por servicios ambientales por el efecto de secuestro y retención de grandes cantidades de carbono considerando el ámbito nacional y de este tipo de ecosistema.
- Procurar aumentar las prácticas de la agricultura de conservación y conservar las existentes como el labrado mínimo o cero, en las zonas apropiadas para ello por bajo de los 3600m.s.n.m. por el beneficio de conservación de la capacidad productiva a largo plazo (erosión, nutrientes...), además es recomendable aumentar el uso de prácticas agroforestales como tales, todo esto además de sus beneficios intrínsecos podría jugar un papel importante como valor agregado al momento de

presentar a la comunidad como candidata a acceder a programas o proyectos de pagos por servicios ambientales y a proyectos sociales y de conservación ambiental.

- Se recomienda que no se incluyan plantaciones forestales de especies ya sean nativas o exóticas a partir de los 3600 m.s.n.m., y si se piensa incluirlas a futuro que estas sean en la parte baja de la comunidad y que estas no sean de grandes extensiones debido a su efecto negativo en materia de almacenamiento de carbono, retención y regulación del agua, en suelos como los de la comunidad que se encuentran desde un estado bastante conservado a medianamente conservado.
- El pajonal de la parte media-alta y alta actualmente representa la parte mejor conservada de este ecosistema del cual una parte se halla en la comunidad, por lo que es imperativo su conservación como un patrimonio que tiene la humanidad, limitando y frenando las acciones negativas del ser humano sobre este como plantaciones forestales, caza exagerada de sus animales, exagerado pastoreo de ganado vacuno u ovino, y la conversión de este a suelos de uso agrícola.

CAPÍTULO VI

6. RESUMEN

El objetivo de la investigación es realizarla caracterización del suelo del páramo en relación al carbono orgánico total almacenado en la comunidad Huacona San Isidro del Cantón Colta, Provincia del Chimborazo, investigación desarrollada como parte del proyecto REDD-PÁRAMO llevado a cabo por la Fundación M.A.R.CO. con el apoyo de la Embajada de Finlandia.

Se realizó un diagnóstico base de los usos históricos y actuales del suelo, además de un análisis comparativo de la cantidad de carbono orgánico total almacenado en los suelos bajo uso: agrícola, plantación forestal y pajonal; por medio de entrevistas a los habitantes, recorridos de medición y selección de sitios, muestreo en campo utilizando recorridos en zigzag y calicatas y el posterior análisis en laboratorio de muestras, estudio que fue realizado dividiendo la comunidad en dos pisos altitudinales de 3200 a 3600m.s.n.m. y de 3600 a 4200 m.s.n.m. tomándose en cuenta tres usos actuales de suelo: pajonal, agrícola y plantación forestal y aplicándose un Diseño Experimental de Bloques Completos al Azar (BCA) de tres factores (pisos altitudinales, usos de suelo y profundidad de suelo) y tres repeticiones, conjuntamente con una prueba de Tukey al 5%.

Del estudio realizado se determinó que las cantidades de carbono orgánico total almacenado son muy altas: 1833.7 t C org./ha (promediado en el uso de suelo pajonal entre ambos pisos altitudinales) siendo comparables con las mayores reservas halladas en los páramos del país según las investigaciones actuales: 1700 t C org./ha en los Páramos del Ángel en Carchi-Ecuador (HOFSTEDÉ, R., 2004). Que la influencia de las plantaciones forestales de *Pinus Radiata* sobre los pajonales tiene un efecto negativo en términos de retención de carbono: 1503.45 t C org./ha (promediado entre ambos pisos altitudinales). Y que la influencia de la agricultura tiene diferentes efectos sobre el contenido de carbono

orgánico total dependiendo del tiempo que ha sido implementada, encontrándose un promedio de 1889.9 t C org./ha entre ambos pisos altitudinales.

Se concluye que las cantidades almacenadas de carbono orgánico total son altas en los tres usos de suelo estudiados, lo cual representa una oportunidad para que la comunidad pueda acceder a los mercados de pago por retención de carbono, así disminuyendo el impacto ambiental negativo que actualmente el ser humano y sus actividades provoca en este ecosistema.

Se recomienda que los estudios para la obtención de información de base sean replicados en los ecosistemas parameros del país por tener estos las mayores cantidades de carbono orgánico total almacenado y a la vez porque proveen diversos servicios ambientales que directamente o indirectamente benefician a una gran parte de la población ecuatoriana, información que serviría para mejorar el manejo de este ecosistema, por tanto contribuyendo al desarrollo sustentable.

SUMMARY

The Objective of this investigation is carrying out the paramo soil characterization as related to the total organic carbon stored in the Huacona San Isidro community of the Colta Canton, Chimborazo Province. This investigation was developed as a part of the REDD-PARAMO project carried out by the M.A.R.CO. Foundation with the support of the Finland Embassy.

A diagnosis based on the historic and actual soil uses was carried out as well as a comparative analysis of the total organic carbon quantity stored on the soils under use: agricultural, forestry plantation and coarse straw; through interviews to the population, measurements visits and site selection, zigzag field sampling and further laboratory analyses. This study was carried out by dividing the community into two altitude floors of 3200 to 3600 m a.s.l. and 3600 to 4200 m a.s.l. taking into account three actual soil uses: coarse straw, agricultural and forestry plantation applying a Completely at Random Block Design (BCA) of three factors (altitude floors, soil uses and soil depth) and three replications, together with the Tukey test at 5%.

From the study it was determined that the total stored organic carbon quantities are very high: 1833.7 t org. C/ha (an average of the coarse straw soil between both altitude floors) being comparable to the highest reserves found in the country paramos according to the actual investigations: 1700 t org. C/ha in the paramos of El Ángel in Carchi, Ecuador (HOFSTEDDE, R., 2004), and that the influence of the forestry plantations of *Pinus Radiata* on the coarse straw soils has a negative effect in terms of carbon retention: 1503,5 t org. C/ha (an average between both altitude floors) and that the influence of agriculture has different effects on the total organic carbon content depending on the time it has been implemented, finding a average of 1889.9 t org. C/ha between both altitude floors.

It is concluded that the stored quantities of total organic carbon are high in the three studied soil uses which represents an opportunity for the community to be able to have an access to the markets of pay for carbon retention, thus diminishing the negative environmental impact caused in this ecosystem by the human being and his/her activities.

It is recommended to replicate the studies for the database information obtainment in the country paramo ecosystems because they have the highest total stored organic carbon

quantities and at the same time they provide diverse environmental services which directly or indirectly benefit most of the Ecuadorian population. This information will improve the ecosystem handling, thus contributing to the sustainable development.

CAPÍTULO VII

7. BIBLIOGRAFÍA

1. AMÉZQUITA, M., y otros, C stocks and sequestration – Carbon sequestration in tropical grassland ecosystems, Wageningen – The Netherlands, Wageningen Academic Publishers, 2008, 221p.
2. AUDESIRK, T., AUDESIRK, G., y otros, Biología-La Vida en la Tierra, 6ta ed., México-México, Pearson Educación, 2003, 436p.
3. CARÚA, J., y otros, Determinación de Retención de Agua en los Suelos de los Páramos - Grupo de Trabajo en Páramos (GTP), Quito – Ecuador, Abya Yala, 2008, pp. 27-45.
4. DOMÉNECH, X., PERAL J., Química Ambiental de Sistemas Terrestres, Barcelona-España, Reverté, 2006, 239p.
5. FARLEY, K., Plantaciones Forestales y Servicios Ambientales - Grupo de Trabajo en Páramos (GTP), Quito – Ecuador, Abya Yala, 2008, pp. 3-25.
6. TONNEIJCK, F., Volcanic Ash Soils in Andean Ecosystems, Zutphen - The Netherlands, KoninklijkeWohrmann Print Service, 2009, pp. 39 -107.
7. ZABALA, R., Diagnóstico Histórico-Actual de las comunidades Huacona San Isidro y Cotojuan, Fundación M.A.R.CO., Riobamba – Ecuador, 2009, 33p.

Internet.

1. Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration: A Review of Evidence and the Emerging Trade Options.

www.essex.ac.uk/ces/occasionalpapers/occ-papers.shtm

2010 - 06 -23

2. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la Tierra.

www.fao.org/docrep/005/y2779s/y2779s00.htm

2010 - 04 - 18

3. El manejo Sostenible de Suelos.

www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf

2010 - 07 -26

4. El páramo como espacio para la fijación del carbono atmosférico.

www.condesan.org/eforos/paramos2/PonenciaRHTema3.htm

2009 - 12 - 07

5. Composición y formación del suelo.

www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/.../morfologia.pdf

2010 - 05 - 04

6. El suelo, concepto y formación.

edafologia.ugr.es/introeda/tema01/indice.htm

2009 - 11 - 19

7. Evolución de la materia orgánica en los suelos de Tomejil.

www.aeac-sv.org/pdfs/materiaorganica.pdf

2010 - 10 - 16

8. Forestación: ¿Puede ayudar en un sistema no arbolado como páramo? - Producción de Servicios Ambientales.
www.infoandina.org/.../Forestacion_kfarley_bdebiebre_foro_electronico.pdf
2010 - 04 - 18
9. Los Páramos Ecuatorianos, Botánica Económica de los Andes Centrales.
www.infoandina.org/recurso.shtml?x=7384
2009 - 08 - 09
10. Hidrología del páramo.
www.paramo.be/pubs/ES/Hidroparamo.pdf
2009 - 09 - 12
11. Principios para el muestreo de suelos.
www.uach.cl/labsuelosforestales/msuelos.htm
2009 - 08 - 09
12. Protocolo de Kioto.
unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf
2010 - 03 - 26
13. The effect of land-use changes on the hydrological behavior of HisticAndosols in south Ecuador.
www.paramo.be/pubs/HP.pdf
2010 - 11 - 04
14. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo.
www.paramo.be/pubs/FEM07.pdf
2010 - 09 - 05

CAPÍTULO VIII

8. ANEXOS

Anexo N° 1. Coordenadas UTM de los linderos de la comunidad.

Numero de medición	Coordenadas UTM (Sector 17 M)		Altitud m.s.n.m.
	Latitud	Longitud	
1	737772	9810059	4302
2	739332	9810619	4218
3	739485	9810614	4208
4	739612	9810473	4201
5	739852	9810350	4167
6	740634	9810223	4190
7	740137	9809910	4143
8	740176	9809746	4108
9	740263	9809558	4094
10	740368	9809453	4070
11	740708	9809462	4065
12	740869	9809449	4061
13	741181	9809467	3891
14	741450	9809432	3795
15	741730	9809422	3710
16	742017	9809407	3674
17	741952	9809167	3690

18	742041	9809141	3693
19	742219	9809232	3661
20	742486	9808901	3644
21	742820	9808930	3653
22	737870	9809986	4228
23	738082	9810099	4274
24	738162	9809967	4200
25	738611	9809835	4130
26	738877	9809755	4107
27	738985	9809819	4091
28	739130	9809886	4065
29	739392	9809880	4037
30	739516	9809704	4015
31	739647	9809507	3986
32	739738	9809352	3946
33	739770	9809211	3923
34	739836	9808903	3868
35	739919	9808732	3841
36	740015	9808526	3813
37	740124	9808152	3769
38	740152	9807984	3758
39	740277	9807779	3742
40	740421	9807651	3703
41	740704	9807198	3676
42	740912	9807679	3660
43	741108	9807583	3637
44	741206	9807479	3624
45	741392	9807420	3612

46	741634	9807442	3594
47	741901	9807534	3577
48	742264	9807784	3549
49	742446	9807834	3525
50	742649	9807789	3505
51	742984	9807858	3490
52	743077	9807936	3480
53	743155	9807838	3482
54	743164	9808028	3460

Anexo N° 2. Modelo del cuestionario para la entrevista.



**ENTREVISTA DE USO HISTÓRICO DEL SUELO EN LOS PÁRAMOS DE LAS
COMUNIDADES DE SAN ISIDRO Y COTOJUAN**

DATOS INFORMATIVOS:

Nombres: _____

Ocupación: _____ **Edad:** _____ **Sexo:** _____

CUESTIONARIO AGRÍCOLA

1.Hace cuanto vive en la comunidad.

Menos de 1 año 1 a 5 años 6 a 10 años Más de 10 años

2.El uso actual del suelo es:

Agrícola Agroforestal Pastizal Bosque Pajonal

3. Que cultivos tienen sembrados en la comunidad.

4. Que árboles conoce que estén sembrados en la comunidad.

5. Conoce por historias de las personas mayores como eran los terrenos en esta comunidad.

6. (Desde que usted vive en la comunidad) o (desde que se acuerda) se ha cambiado el uso de la tierra.

Si No

7.(Cuando usted llegó a vivir en la comunidad) o (se acuerda hace varios años) como eran los terrenos en la comunidad.

Agrícola Agroforestal Pastizal Bosque Pajonal

8.Piensa usted que los cambios de uso de las tierras en la comunidad han sido favorables.

Si No

Porque _____

9.(Desde que usted vive en la comunidad) o (desde que se acuerda) siguen teniendo la misma cantidad de agua.

Si No

Porque _____

10. Accedió usted al proyecto de introducción de semillas mejoradas de pastizal.

Si No

En qué lugar _____

Anexo N° 3. Resultados completos entregados por el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

Piso altitudinal: 3200 - 3600			ppm								Meq/100g		Elemento total (%)	
Uso	Prof cm	Tratamiento	Repet.	Num muestra*	pH	Cal.	NH4	Cal.	P2O5	Cal.	K2O	Cal.	N	Cal.
Agricultora	0 -30	T1	1	120 25	5,9	L. Ac	35,9	M	64,3	A	0,30	M	0,25	A
			2	125 28	6,4	L. Ac	25,7	B	26,8	M	0,25	M	0,36	A
			3	128 31	6,4	L. Ac	13,4	B	48,1	A	0,30	M	0,42	A
	30 - 60	T2	1	121 26	6,0	L. Ac	45,3	M	25,4	M	0,35	M	0,28	A
			2	126 29	6,2	L. Ac	45,3	M	19,2	M	0,33	M	0,36	A
			3	129 32	6,4	L. Ac	12,8	B	11,7	B	0,38	M	0,78	A
	60 - 90	T3	1	122 27	6,0	L. Ac	39,6	M	14,5	B	0,42	A	0,39	A
			2	127 30	6,4	L. Ac	53,5	M	33,2	A	0,40	A	0,84	A
			3	130 33	6,4	L. Ac	18	B	27,2	M	0,50	A	0,57	A
Plantación	0 -30	T4	1	64 1	5,7	L. Ac	6,2	B	4,1	B	0,19	B	0,61	A
			2	67 4	6,2	L. Ac	7	B	4,7	B	0,30	M	0,72	A
			3	70 7	5,7	L. Ac	5,2	B	7,1	B	0,21	M	0,58	A
	30 - 60	T5	1	65 2	6,1	L. Ac	6	B	10,4	B	0,25	M	0,56	A
			2	68 5	5,9	L. Ac	6,4	B	4	B	0,17	B	0,56	A
			3	71 8	6,1	L. Ac	5	B	4,3	B	0,17	B	0,64	A
	60 - 90	T6	1	66 3	6,6	P.N.	3,4	B	2,5	B	0,35	M	0,33	A
			2	69 6	6,2	L. Ac	3,7	B	2,2	B	0,16	B	0,47	A
			3	72 9	6,4	L. Ac	3,7	B	4,6	B	0,15	B	0,58	A
Pajonal	0 -30	T7	1	168 43	5,6	L. Ac	23,9	B	16,3	M	0,25	M	0,59	A
			2	171 46	5,4	Ac	24,9	B	18,7	M	0,35	M	0,98	A
			3	213 70	5,9	L. Ac	25,1	B	13,1	B	0,13	B	0,98	A
	30 - 60	T8	1	169 44	5,3	Ac	28,2	B	14,1	B	0,30	M	0,74	A
			2	172 47	5,0	Ac	29,4	B	11,1	B	0,25	M	0,74	A
			3	214 71	5,5	Ac	21,8	B	24	M	1,03	A	0,95	A
	60 - 90	T9	1	170 45	5,4	Ac	10,6	B	2,9	B	0,38	M	0,48	A
			2	173 48	5,0	Ac	24,5	B	27,8	M	0,28	M	1,09A	A
			3	215 72	5,6	L. Ac	23,6	B	22,7	M	1,08	A	0,56	A

Continuación de la tabla completa de resultados.

Piso altitudinal: 3200 - 3600													
Uso	Prof cm	Tratamiento	Repet.	Num muestra*	Humedad (%)	D.A. (gr/cm3)	M.O. (%)	C org. (%)	R: C/N	Cal.			
Agricultora	0 -30	T1	1	120 25	11	1,2	24	16,5	66	A			
			2	125 28	29	1,2	32	21,5	59	A			
			3	128 31	11	1,2	28	18,8	44	A			
	30 - 60	T2	1	121 26	21	1,2	24	16,1	57	A			
			2	126 29	24	1,2	29	19,4	53	A			
			3	129 32	16	1,1	21	14,1	18	A			
	60 - 90	T3	1	122 27	24	1,3	32	21,5	55	A			
			2	127 30	28	1,2	38	25,5	30	A			
			3	130 33	14	1,2	45	30,2	53	A			
Plantación	0 -30	T4	1	64 1	44	1,09	20	13,44	22	A			
			2	67 4	46	1,06	14	9,4	13	A			
			3	70 7	40	1	20	3,44	23	A			
	30 - 60	T5	1	65 2	49	1,03	2,5	1,68	3	M.B			
			2	68 5	48	1,01	22	14,78	26	A			
			3	71 8	42	1,07	26	17,47	27	A			
	60 - 90	T6	1	66 3	51	1,05	4	2,7	8	M.B			
			2	69 6	54	1,04	14	9,4	20	A			
			3	72 9	45	1,03	26	17,4	30	A			
Pajonal	0 -30	T7	1	168 43	23	1,1	25	16,8	29	A			
			2	171 46	25	1,2	52	34,9	36	A			
			3	213 70	11	1,3	5	3,4	3	M.B			
	30 - 60	T8	1	169 44	25	1	22	14,8	20	A			
			2	172 47	30	1,1	37	24,9	34	A			
			3	214 71	12	1,2	5	3,4	4	M.B			
	60 - 90	T9	1	170 45	28	1,1	39	26,2	55	A			
			2	173 48	34	1	26	17,5	16	A			
			3	215 72	12	1,2	2	1,3	2	M.B			

Continuación de la tabla completa de resultados.

Piso altitudinal: 3600 - 4200							ppm				Meq/100g		Elemento total (%)	
Uso	Prof cm	Tratamiento	Repet.	Num muestra*	pH	Cal.	NH4	Cal.	P2O5	Cal.	K2O	Cal.	N	Cal.
A g r i c o l a	0 -30	T10	1	02 82	5,1	Ac	28	B	55,2	A	0,59	A	0,84	A
			2	05 85	5,6	L.Ac	22	B	35,1	A	0,54	A	0,49	A
			3	08 88	5,2	Ac	21,8	B	20,9	M	1,85	A	1,02	A
	30 -60	T11	1	03 83	5,3	Ac	23,4	B	36,9	A	1,00	A	0,2	A
			2	06 86	5,6	L.Ac	21,9	B	47,1	A	0,87	A	0,49	A
			3	09 89	5,0	Ac	27,7	B	18	M	1,05	A	0,84	A
	60 -90	T12	1	04 84	5,4	Ac	19,1	B	25,5	M	1,56	A	0,67	A
			2	07 87	5,6	L.Ac	18,5	B	18	M	1,23	A	0,52	A
			3	10 90	5,1	Ac	20,3	B	9,3	B	1,15	A	0,64	A
P l f a o n r t .	0 -30	T13	1	198 61	5,3	Ac	19,2	B	22,3	M	1,05	A	0,64	A
			2	201 64	5,0	Ac	29,7	B	25,5	M	0,54	A	0,98	A
			3	204 67	5,3	Ac	18,5	B	9	B	0,64	A	2,07	A
	30 -60	T14	1	199 62	5,6	Ac	55,6	M	48,5	A	1,77	A	0,9	A
			2	202 65	5,1	Ac	22,8	B	15,9	B	0,67	A	0,84	A
			3	205 68	5,4	Ac	16,5	B	5,6	B	1,13	A	0,7	A
	60 -90	T15	1	200 63	6,0	Ac	7,4	B	5,6	B	0,49	A	0,56	A
			2	203 66	5,4	Ac	25,2	B	5,9	B	0,67	A	0,7	A
			3	206 69	5,5	Ac	9,5	B	1,3	B	0,46	A	0,45	A
P a j o n a l	0 -30	T16	1	114 19	5,5	Ac	16,5	B	16,3	M	0,15	B	0,98	A
			2	117 22	5,4	Ac	25,1	B	44,7	A	0,21	M	0,42	A
			3	174 49	5,4	Ac	25,2	B	23,5	M	0,40	A	0,62	A
	30 -60	T17	1	115 20	5,3	Ac	17,4	B	17,3	M	0,18	B	0,39	A
			2	118 23	5,1	Ac	19,8	B	6,1	B	0,30	M	0,42	A
			3	175 50	5,5	Ac	19,5	B	13,4	B	0,56	A	0,63	A
	60 -90	T18	1	116 21	5,2	Ac	14	B	1,9	B	0,25	M	0,53	A
			2	119 24	5,4	Ac	13,7	B	1,9	B	0,32	M	0,95	A
			3	176 51	5,6	Ac	14,7	B	9	B	1,26	A	0,71	A

Continuación de la tabla completa de resultados.

Piso altitudinal: 3600 - 4200												
Uso	Prof cm	Tratamiento	Repet.	Num muestra*	Humedad (%)	D.A. (gr/cm3)	M.O. (%)	C org. (%)	R: C/N	Cal.		
A g r i c o l a	0 -30	T10	1	02 82	23	1,1	9	6	7	M.B		
			2	05 85	17	1,1	7	4,7	10	N		
			3	08 88	30	1	28	18,8	18	A		
	30 -60	T11	1	03 83	14	1,2	19	12,8	64	A		
			2	06 86	16	1,1	41	27,6	56	A		
			3	09 89	31	1,1	32	21,5	26	A		
	60 -90	T12	1	04 84	13	1,2	21	14,1	21	A		
			2	07 87	15	1,1	20	13,4	26	A		
			3	10 90	36	1,2	31	21,1	33	A		
P l f a o n r t .	0 -30	T13	1	198 61	21	1,2	30	20,2	32	A		
			2	201 64	22	1,1	10	6,7	7	M.B		
			3	204 67	26	1,2	17	11,4	6	M.B		
	30 -60	T14	1	199 62	22	1,1	37	24,9	28	A		
			2	202 65	26	1,2	4	2,7	3	M.B		
			3	205 68	28	1,1	4	2,7	4	M.B		
	60 -90	T15	1	200 63	23	1,4	30	20,2	36	A		
			2	203 66	29	1,3	60	40,3	58	A		
			3	206 69	23	1,3	54	36,3	81	A		
P a j o n a l	0 -30	T16	1	114 19	40	1,2	35	23,5	24	A		
			2	117 22	44	1,2	23	15,4	37	A		
			3	174 49	25	1,2	22	14,8	24	A		
	30 -60	T17	1	115 20	31	1,1	16	10,7	27	A		
			2	118 23	44	1,3	36	24,1	57	A		
			3	175 50	24	1,1	25	16,8	20	A		
	60 -90	T18	1	116 21	34	1,3	42	28,2	53	A		
			2	119 24	44	1,2	14	9,4	10	N		
			3	176 51	23	1,2	42	28,2	40	A		

Anexo N° 4. Especies vegetales representativas de los páramos ecuatorianos y sus usos.

Nombre	Familia	Nombre común	Usos principales
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	Amaranthaceae	Amaranto, sangorache	Alimento
<i>Amaranthus quitensis</i> Kunth	Amaranthaceae	Amaranto, sangorache	Alimento
<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancr.	Apiaceae	Zanahoria blanca	Alimento
<i>Blechnum</i> sp.	Blechnaceae	Llashipa	Ornamento
<i>Boletus luteus</i>	Boletaceae (Fungi)	Hongo del pino	Alimento (introd.)
<i>Buddleja incana</i> Ruiz & Pavón	Buddlejaceae	Quishuar	Leña, cortinas de viento
<i>Calamagrostis intermedia</i> (J. Presl) Steud.	Poaceae	Paja de páramo	Construcción, artesanía
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	Chenopodiaceae	Quinoa	Alimento
<i>Chuquiraga jussieu</i> J.F. Gmel.	Asteraceae	Chuquiragua	Medicina, ornamento
<i>Culcitium</i> cf. <i>longifolium</i> Turcz.	Asteraceae	Flor del Ángel	Ornamento
<i>Espeletia pycnophylla</i> Cuatr.	Asteraceae	Frailejón	Medicina (hojas)
<i>Gynoxis</i> spp.	Asteraceae	Piquil	Leña
<i>Hesperomeles</i> spp.	Rosaceae	Huagramanzana	Alimento, leña
<i>Hypericum lancioides</i> Cuatrec.	Hypericaceae	Romerillo	Leña, medicina
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	Hypericaceae	Romerillo	Leña, medicina
<i>Lupinus</i> spp.	Fabaceae	Allpachocho	Medicina
<i>Macleania salapa</i> (Benth.) Hook. f. ex Hoerold.	Ericaceae	Joyapa	Alimento
<i>Micromeria nubigena</i> (Kunth) Benth.	Lamiaceae	Sunfo	Medicina
<i>Mirabilis expansa</i> (Ruiz & Pavón) Standl.	Nyctaginaceae	Miso	Alimento (introd.)
<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Myricaceae	Laurel de cera	Leña, medicina
<i>Neurolepis aristata</i> (Munro) Hitchc.	Poaceae	Suro de páramo	?
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	Proteaceae	Cucharilla	Medicina, leña
<i>Oxalis</i> sp.	Oxalidaceae	Chirisiqui	Alimento
<i>Oxalis tuberosa</i> Molina	Oxalidaceae	Oca	Alimento
<i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham.	Pinaceae	Pino	Leña, madera, (introd.)
<i>Pinus radiata</i> D. Don	Pinaceae	Pino	Leña, madera, hongos (introd.)
<i>Polylepis</i> spp.	Rosaceae	Yagual	Leña, postes
<i>Polymnia sonchifolia</i> Poepp.	Asteraceae	Jicama	Alimento
<i>Puya</i> spp.	Bromeliaceae	Achupalla	Medicina
<i>Ranunculus gusmannii</i> Humb. ex Caldas	Ranunculaceae	Urcurrosa	Medicina
<i>Rubus</i> spp.	Rosaceae	Mora	Alimento
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Solanaceae	Papa	Alimento
<i>Stipa ichu</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	Poaceae	Paja de páramo	Construcción
<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pavón	Tropaeolaceae	Mashua	Alimento
<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	Basellaceae	Melloco	Alimento
<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	Ericaceae	Mortiño	Alimento
<i>Valeriana</i> spp.	Valerianaceae	Valeriana	Medicina
<i>Vicia faba</i> L.	Fabaceae	Haba	Alimento (introd.)

Anexo N° 5. Fotografías del desarrollo de la investigación.

- **Fotografía de un taller de socialización.**



- **Vista de la comunidad de la parte alta, media y baja.**



- **Vista de la parte mas alta de la comunidad, se aprecia en primer plano una zona quemada.**



- **Una entrevista realizada a dos habitantes adultos mayores.**



- **Toma de muestras por medio de un barreno.**



- **Toma de muestras luego de la excavación de una calicata.**



- **Algunas muestras en laboratorio a ser analizadas.**



- **Realización del análisis en laboratorio (Medición de pH).**

