

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Departamento Académico de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables



**CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO A DIFERENTES
ALTITUDES DEL PARQUE NACIONAL TINGO MARÍA**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES**

Presentado por:

ANGGELA LISSETTE RUIZ TELLO

PROMOCIÓN 2008-II

Unasinos Forjadores del Desarrollo Integral de la Amazonia y del Perú

Tingo María - Perú

2010



P06

R94

Ruiz Tello, Anggela L.

Carbono Almacenado en el Suelo a Diferentes Altitudes del Parque Nacional Tingo María. Tingo María, 2010

80 h.; 9 cuadros; 14 fgrs.; 28 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

ALMACENAMIENTO - CARBONO / ANALISIS - SUELO / SUELOS

ALTITUDINALES / PARQUE NACIONAL / METODOLOGIA / TINGO

MARIA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO / PERU.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 27 de Julio de 2010, a horas 05:00 p.m. en la Sala de Grado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

“CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO A DIFERENTES ALTITUDES DEL PARQUE NACIONAL TINGO MARÍA “

Presentado por la Bachiller: **ANGGELA LISSETTE RUIZ TELLO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de " **BUENO**".

En consecuencia la sustentante queda apta para optar el **Título de INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, MENCIÓN FORESTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título de conformidad con lo establecido en el Art. 81º inc. m) del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 20 de octubre de 2010

.....
Ing. MSc. JOSÉ LEVANO CRISOSTOMO
Presidente

.....
Ing. MSc. VICENTE S. POCOMUCHA POMA
Vocal



.....
Ing. NELINO FLORIDA ROFNER
Vocal

.....
Ing. M.Sc. LADISLAO RUIZ RENGIFO
Asesor

DEDICATORIA

A DIOS por darme el don de la vida y la sabiduría para enfrentar los retos, las alegrías y los obstáculos que se me presentan constantemente.

A mis padres Ladislao y María del Rosario por el apoyo moral que siempre mantuvieron inculcándome para seguir adelante.

Con eterna gratitud a mi mamá Lola y Lupe; así mismos a mis tíos Angela, Katia, José y Victor, por sus sabios consejos y su invaluable sacrificio en el desarrollo de mi formación.

Con el cariño que tengo a mis hermanas Analiz Lola y Marjory Abigail por su amor y comprensión.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haberme formado como profesional y a los Docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables por las sabias enseñanzas y experiencias desplegadas durante mi formación profesional.
- Al Ing. M.Sc. Ladislao Ruiz Rengifo, patrocinador del presente trabajo de investigación, por el apoyo decidido en la orientación profesional durante el trabajo de campo y redacción del documento.
- Al Ing. M.Sc. Ronald Puerta Tuesta, copatrocinador del presente trabajo de investigación, por el apoyo y orientación durante el trabajo de campo,
- Al Ing. M.Sc. Luis Eduardo Ore Cierzo, por su apoyo y orientaciones en la fase de campo para la culminación de presente trabajo de investigación.
- Al Ing. Lorenzo Flores Cordero y Miguel Mejía, jefe anterior y actual respectivamente, por haberme brindado el apoyo y facilidades para el desarrollo de los trabajo de campo en el parque Nacional Tingo María.
- A mis amigos (as), por compartir su amistad en el transcurso de mi formación profesional, y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en la ejecución de la tesis.

ÍNDICE

| | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 01 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 04 |
| 2.1 Áreas naturales protegidas..... | 04 |
| 2.1.2 Objetivos de las áreas naturales protegidas..... | 04 |
| 2.2 Parque nacional Tingo María..... | 05 |
| 2.2.1 Zonificación del Parque Nacional Tingo María..... | 05 |
| 2.2.2 Zona de Amortiguamiento (ZA) y Área de Influencia..... | 08 |
| 2.3 Áreas Naturales Protegidas y captura de carbono..... | 09 |
| 2.4 El carbono en el suelo..... | 09 |
| 2.5 Almacenamiento de carbono en los bosques y el suelo..... | 12 |
| 2.6 Impacto del aprovechamiento del carbono..... | 14 |
| 2.7 Medición de carbono en el suelo..... | 15 |
| 2.7.1 Métodos de laboratorio para análisis de carbono del suelo..... | 16 |
| 2.7.2 Métodos para el muestreo de suelo en campo..... | 16 |
| 2.7.3 Colecta de muestras para medición de biomasa de raíces finas..... | 17 |
| 2.8 Tendencia general de la captura de carbono en el suelo..... | 19 |
| 2.9 Importancia económica de las Áreas Naturales Protegidas como sumideros de carbono en México..... | 20 |
| 2.10 Carbono y materia orgánica en el suelo..... | 21 |

| | | |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.11 | El papel fundamental de la materia orgánica en los suelos..... | 22 |
| 2.12 | Almacenamiento de carbono en el suelo..... | 22 |
| 2.13 | Métodos para determinar carbono orgánico en el suelo..... | 25 |
| 2.14 | Estimación del almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS)..... | 25 |
| 2.14.1 | Densidad aparente..... | 26 |
| 2.14.2 | Profundidad..... | 26 |
| 2.14.3 | Pedregosidad o rocosidad..... | 27 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 29 |
| 3.1 | Descripción de la zona de trabajo..... | 29 |
| 3.1.1 | Lugar de ejecución..... | 29 |
| 3.1.2 | Ubicación geográfica..... | 29 |
| 3.1.3 | Zona de vida..... | 31 |
| 3.1.4 | Condiciones climáticas..... | 31 |
| 3.1.5 | Relieve y suelos..... | 31 |
| 3.2 | Materiales y equipos..... | 32 |
| 3.3 | Metodología..... | 32 |
| 3.3.1 | Fase inicial de gabinete..... | 33 |
| 3.3.1.1 | Reconocimiento del área de estudio..... | 33 |
| 3.3.1.2 | Elaboración del mapa altitudinal..... | 33 |
| 3.3.1.3 | Diseño de muestreo..... | 33 |
| 3.3.2 | Fase de campo..... | 34 |
| 3.3.2.1 | Obtención de muestra del suelo..... | 34 |
| 3.3.2.2 | Obtención de muestra de raíces..... | 35 |

| | | |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2.3 | Obtención de muestra de hojarasca..... | 35 |
| 3.3.3 | Fase de laboratorio..... | 35 |
| 3.3.3.1 | Obtención de datos de carbono del suelo..... | 36 |
| 3.3.3.2 | Obtención de datos de carbono de raíces..... | 36 |
| 3.3.3.3 | Obtención de datos de carbono de hojarasca..... | 36 |
| 3.3.4 | Fase final de gabinete..... | 37 |
| 3.3.4.1 | Cálculos para la obtención de carbono del suelo..... | 37 |
| 3.3.4.2 | Cálculos para la obtención de carbono de las raíces..... | 37 |
| 3.3.4.3 | Cálculos para la obtención de carbono de la hojarasca..... | 38 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 40 |
| 4.1 | Contenido de carbono del suelo de acuerdo al gradiente altitudinal del Parque Nacional Tingo María..... | 40 |
| 4.2 | Contenido de carbono de raíces en cinco zonas del Parque Nacional Tingo María..... | 47 |
| 4.3 | Contenido de carbono en la hojarasca en cinco zonas del Parque Nacional Tingo María..... | 52 |
| 4.4 | Carbono total acumulado por zonas del Parque Nacional Tingo María..... | 55 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 60 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 61 |
| VII. | ABSTRACT..... | 62 |
| VIII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 64 |
| IX. | ANEXO..... | 69 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | | Página |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Ubicación geográfica del Parque Nacional Tingo María..... | 30 |
| 2 | Porcentaje de captura de carbono del suelo de acuerdo a la altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 40 |
| 3 | Carbono del suelo en cinco zonas del Parque Nacional Tingo María..... | 43 |
| 4 | Densidad promedio de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 47 |
| 5 | Contenido de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 48 |
| 6 | Contenido de carbono en las hojarascas por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 52 |
| 7 | Contenido de carbono en las hojarascas por superficie del Parque Nacional Tingo María..... | 53 |
| 8 | Total de Carbono acumulado por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 56 |
| 9 | Total de Carbono acumulado/superficie y por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 57 |
| 10 | Análisis del suelo de acuerdo a las gradientes altitudinales en el Parque Nacional Tingo María..... | 75 |
| 11 | Peso fresco y seco de las raíces extraídas del Parque Nacional Tingo María..... | 76 |

| | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 12 | Peso fresco y seco de las hojarascas extraídas del Parque Nacional Tingo María..... | 77 |
| 13 | Coordenadas de los puntos de muestreo..... | 78 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Porcentaje de captura de carbono del suelo de acuerdo a las gradientes altitudinales del Parque Nacional Tingo María..... | 47 |
| 2 | Carbono total del suelo por altitud del Parque Nacional Tingo María... | 44 |
| 3 | Carbono/Hectárea del suelo por altitud del Parque Nacional Tingo.... | 44 |
| 4 | Distribucion porcentual de carbono del suelo por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 45 |
| 5 | Contenido de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 49 |
| 6 | Relacion del contenido de carbono en las raices en funcion de la altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 49 |
| 7 | Distribución Porcentual de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 50 |
| 8 | Distribucion Porcentual de carbono en las hojarascas por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 54 |
| 9 | Carbono total acumulado por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 57 |
| 10 | Carbono total acumulado por superficie y por altitud del Parque Nacional Tingo María..... | 58 |
| 11 | Fisiografía accidentada de la parte alta del Parque Nacional Tingo María..... | 78 |
| 12 | Calicata para el muestreo de suelo y de raíces..... | 78 |

| | | |
|----|--------------------------------------------------------------|----|
| 13 | Muestreo de suelo y raíces..... | 79 |
| 14 | Análisis de suelo, raíces y hojarasca en el laboratorio..... | 79 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizada de octubre de 2008 a julio de 2009 en el área física del Parque Nacional Tingo María y los laboratorios de Química Forestal y Análisis de suelo de la Facultad de Recursos Naturales Renovables y de la Facultad de Agronomía respectivamente, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; con el objetivo de determinar el carbono almacenado en el suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María.

El trabajo de campo ha incluido antes la elaboración del mapa altitudinal a fin de ubicar las áreas de acuerdo al diseño de muestreo, Se ha dividido el área en 55 grillas de 300m x 300m y en cada grilla 36 subgrillas de 50m x 50m, de acuerdo a las altitudes obtenidas: 650-750; 751-850; 851-950; 951-1 050; 1 051-1 150; 1 151-1 250; 1 251-1 350; 1 351-1 450; 1 451-1 550; 1 551-1 650; y 1651 a mas msnm, en total hacen 25 Ha por muestreo y cada subparcela de un área de 0,25 Ha; de las cuales se ha extraído las muestras de suelo, raíces y hojarasca de cuatro sectores del Parque Nacional Tingo María: Puesto de control (Tambillo Grande), Rio Perdido, Río Oro y Cuevas de las Lechuzas. La muestra de suelo se extrajo con un cilindro muestreador de volumen conocido introducido a una profundidad de 30 cm y la muestra de raíces se trabajó a tres profundidades del suelo: suelo superficial (0 a 10cm), suelo intermedio (20 a 30cm) y suelo a profundo (50-60cm).

Para la determinación del carbono de suelo se usó el método de calcinación, así mismo para obtener carbono en las raíces se seleccionaron

del suelo y piedras del volumen del cilindro (suelo + piedras + raíces), se procedió a pesarlos en una balanza digital, para luego secarlos en la estufa a 103°C por 24 - 48 horas (hasta obtener peso constante, para ello se usó la estufa), una vez transcurrido el tiempo se realizó las respectivas pesadas de los pesos secos de las raíces. La hojarasca obtenida se pesó en una balanza digital, para luego ser secado en una estufa a 103°C por 24 – 48 horas aproximadamente. Para la determinación del carbono de suelo se usaron fórmulas propuestas por (IPCC, 1996).

El carbono total almacenado en el suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María, es de 1 162,55 MTn; el carbono total almacenado en la hojarasca y raíces del suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María, es de 9,44 MTn y 347,026 MTn, Respectivamente.

I. INTRODUCCIÓN

La creación de áreas naturales protegidas constituye hasta hoy una de las mejores estrategias para conservar la biodiversidad, a cuya gestión se suman las instituciones públicas de nivel nacional, regional y local; así como todos los actores privados vinculados a ellas. Estas áreas por el mismo hecho de conservar los recursos naturales, también aseguran la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos, proporcionándonos además una serie de servicios ambientales así como distintos tipos de comunidades naturales, paisajes y formas fisiográficas.

En la actualidad, existen programas y esquemas encaminados a valorar los servicios ambientales. El objetivo de estos esfuerzos es educar a los diferentes actores de la sociedad para canalizar los recursos necesarios e incentivar la conservación y restauración de los ecosistemas. Uno de los servicios ambientales que son valorados de esta forma son la captura y almacenamiento de carbono. Los bosques y la vegetación en general que se ubican en las áreas naturales y particularmente en las áreas naturales protegidas ofrecen servicios por captura de carbono porque, a través de la fotosíntesis, remueven de la atmósfera el dióxido de carbono (CO₂) para fijarlo

en sus tejidos. Al remover el CO₂ de la atmósfera, mitigamos el cambio climático generando beneficios locales y globales.

Para el caso específico del parque nacional Tingo María, no se cuenta con estudios suficientes de la base de recursos de bienes y servicios, y menos aun de la valoración de cada una de ellos; por lo que, a través del presente trabajo de investigación pretendemos generar información referente a la cantidad de carbono almacenado a diferentes gradientes altitudinales, y por medio de ello saber el total de carbono almacenado en el parque. Esto permitirá conocer cierta información sobre carbono almacenado para la comunidad científica nacional y local del valor de esta área natural protegida y que permita desarrollar opciones para mejorar la gestión, encontrar adaptaciones frente a eventuales cambios climáticos perniciosos y servir de sustento para posteriores investigaciones científicas.

El Parque Nacional Tingo María, cumple importantes funciones ecológicas dentro del ecosistema natural como son: captura de carbono, polinización, diversidad de flora y fauna, regulación del clima, calidad y cantidad de agua, dispersión de semillas y belleza escénica; de los cuales no se conoce el comportamiento de captura de carbono de suelo a nivel fisiográfico como servicio ambiental, es por ello su importancia en conocer la dinámica del carbono del suelo en función de los pisos ecológicos; por cuanto el presente trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar el carbono almacenado en el suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María,

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el carbono almacenado en el suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María
- Determinar el carbono almacenado en la hojarasca del suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María
- Determinar el carbono almacenado en las raíces del suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Áreas Naturales Protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son los espacios continentales y/o marinos del territorio nacional reconocidos, establecidos y protegidos legalmente por el Estado como tales, incluyendo sus categorías y zonificaciones, debido a su importancia para la conservación de la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país.

La administración de las Áreas Naturales Protegidas considera la importancia de la presencia del ser humano, sus procesos sociales, sus necesidades de manera individual y colectiva, así como el respeto a los usos tradicionales de las comunidades campesinas o nativas en el ámbito del Área Natural Protegida, en armonía con sus objetivos y fines de creación (PERU, 2001; INRENA, 2005).

2.1.1 Objetivos de las Áreas Naturales Protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas tienen como objetivos:

- Asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos, dentro de áreas suficientemente extensas y representativas de cada una de las unidades ecológicas del país.
- Mantener muestras de los distintos tipos de comunidad natural, paisajes y formas fisiográficas, en especial de aquellos que representen la diversidad única y distintiva del país.
- Evitar la extinción de especies de flora y fauna silvestre, en especial aquellas de distribución restringida o amenazadas.
- Evitar la pérdida de la diversidad genética

2.2 Parque Nacional Tingo María

El Parque Nacional Tingo María se localiza en la selva central del Perú, en el departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, y en los distritos de Mariano Dámaso Beraún y Rupa Rupa.

2.2.1 Zonificación del Parque Nacional Tingo María

INRENÁ (2002), establece que, para que un área natural protegida pueda cumplir con sus objetivos de conservación es preciso zonificar su territorio. La zonificación es una herramienta fundamental en el manejo de toda área natural protegida, y por ende del parque nacional Tingo María.

La Ley de Áreas Naturales Protegidas lo prevé así en su artículo 23° y señala las zonas que deben contemplarse en las Áreas Naturales Protegidas, cada una con sus propios fines y diferentes grados de restricción a

la actividad humana. La zonificación es una herramienta de planificación y manejo que debe responder de manera ágil a los requerimientos del área natural protegida y que permite conciliar los objetivos de manejo y prioridades de protección (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2008).

- **Zona de Protección Estricta (ZPE)**

Son espacios en los que los ecosistemas han sido pocos o nada intervenidos, o poseen especies o ecosistemas únicos, raros o frágiles que, para mantener sus valores, requieren estar libres de la influencia de factores ajenos a los procesos naturales mismos, debiendo mantenerse las características y calidad del ambiente original. En estas áreas sólo se permiten actividades de manejo, monitoreo ambiental y, excepcionalmente, de investigación científica.

- **Zona Silvestre (ZS)**

Son aquellas zonas que han sufrido poca o nula intervención humana y en las que predomina el carácter silvestre, pero que son menos vulnerables que las áreas incluidas en la Zona de Protección Estricta. En esta zona es posible desarrollar actividades de investigación científica, las actividades educativas y la recreación, pero sin infraestructura permanente, No se permite el uso de vehículos motorizados. En esta zona se encuentran ecosistemas de bosques de colinas medias, caídas de agua, afloramientos rocosos y especies representativas como el gallito de las rocas, la pucacunga o pava de monte y varias especies de monos.

- **Zona de Recuperación (ZR)**

Zona transitoria, aplicable a ámbitos que por causas naturales o intervención humana, han sufrido daños importantes y requieren por ello de un manejo especial para recuperar su calidad y estabilidad ambiental, luego del cual se le asignará la zonificación que corresponde a su naturaleza. En este caso se ha identificado en el parque nacional Tingo María, áreas para recuperar hábitats de cedro y del gallito de las rocas, los mismos que han sufrido los impactos de la agricultura practicada al interior del Parque,

- **Zona de Uso Especial (ZUE)**

Está conformada por los espacios ocupados por asentamientos humanos existentes al momento del establecimiento del Parque o en los que, por razones especiales, tiene lugar algún tipo de uso agrícola, pecuario, agrosilvopastoril u otras actividades que implican la transformación del ecosistema original.

- **Zona de Uso Turístico y Recreativo (ZUTR)**

Espacios que por su naturaleza y rasgos paisajísticos, atractivos para los visitantes, permiten un uso recreativo compatible con los objetivos del Parque. En estas zonas se permite el desarrollo de actividades educativas y de investigación, así como la construcción de infraestructura de servicios necesarios para el acceso, estadía y disfrute de los visitantes, incluyendo rutas de acceso carrozables, albergues y uso de vehículos motorizados.

Las actividades turísticas y de recreación también pueden llevarse a cabo dentro de la Zona Silvestre, la Zona de Uso Especial y la Zona de Recuperación, con las limitaciones propias de cada zona y de acuerdo al Plan de Uso Turístico y de Recreación. No se puede hacer actividades turísticas y recreativas en la Zona de Protección Estricta.

2.2.2 Zona de Amortiguamiento (ZA) y Área de Influencia

La Zona de Amortiguamiento es aquella zona adyacente al área natural protegida que por su naturaleza y ubicación requieren de un tratamiento especial para garantizar la conservación del área protegida. Está conformada por las áreas que rodean al Parque Nacional Tingo María y sobre el cual tienen una influencia directa, sea porque mantienen una frontera física con el Parque o porque ocupan la parte alta de una microcuenca que atraviesa o desemboca en el área protegida.

La Zona de Amortiguamiento no es un área intangible sino un espacio para el desarrollo sostenible, y en ella se promueve el ecoturismo; el manejo o recuperación de flora y fauna; el reconocimiento de áreas de conservación municipal, áreas de conservación regional y áreas de conservación privada; concesiones de conservación; la investigación; la recuperación de ecosistemas; el desarrollo de sistemas agroforestales; y otras actividades que contribuyan a la práctica de sistemas de manejo sustentable.

2.3 Áreas Naturales Protegidas y captura de carbono

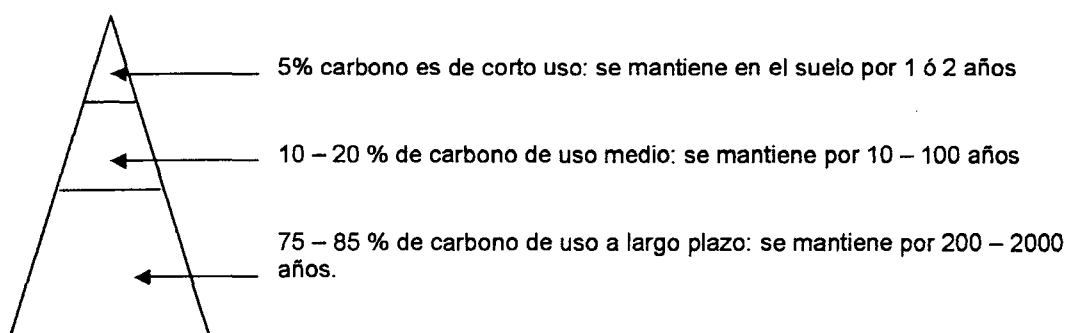
MASERA (1995c) estimó que las áreas naturales protegidas en México, tienen un potencial de captura de carbono para el año 2030 de 0,32 a 0,48 GtC (en un escenario de políticas de apoyo adecuadas) y de 0,42 a 0,65 GtC (en un escenario de potencial tecnológico) si es que se logra una conservación real de 2,6 millones ha.

Esta opción ofrece un importante potencial de captura de carbono a corto, mediano y largo plazos.

2.4 El carbono en el suelo

Cuando intervenimos en un bosque (cortando árboles, plantación o agricultura) cambiamos la proporción del carbono en el suelo, revertimos la pirámide. En un suelo así, 75 % se cambian a carbono de corto uso y solamente el 5% del carbono se mantienen por un largo plazo.

De acuerdo a SENAYAKE Y GAMBOA (2003) indican que, un suelo de buena calidad contiene:



El carbono es un hecho viviente en nuestro sistema, y consecuentemente una parte viviente de la biosfera, el ciclo del carbono rota en alrededor de 10 mil años. Este ciclo consiste en que los árboles crecen, fijan el carbono, luego mueren y el carbono vuelve a la atmósfera. En la amazonia al cortar los árboles estamos liberando carbono a la atmósfera y si plantamos la misma cantidad vamos a fijar la misma cantidad de carbono.

Las plantas a través de las hojas toman el CO₂ y luz solar, produciendo azúcares sólidos. Cuando la materia muere, estos azúcares se descomponen. En el proceso la materia se oxida liberando CO₂, o sea los azúcares sólidos se cambian a CO₂, Esta oxidación sale a la atmósfera constituyendo el ciclo del carbono.

PINEDA, ORTIZ Y SÁNCHEZ (2005) indican que, los bosques almacenan una importante cantidad de carbono, tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO₂ entre la biosfera y la atmósfera. Estos ecosistemas funcionan como sumideros si capturan CO₂ y lo convierten en carbohidratos (mediante el proceso de la fotosíntesis), o como una fuente emisora de CO si es liberado a la atmósfera a través de su quema.

DE PETRE *et al*, (2002) menciona que, en el suelo el carbono está almacenado como parte de la materia orgánica y representa más de 1 400 Gt (1Gt = 10¹⁵ g), casi el doble del que hay en la atmósfera.

El carbono en el suelo necesita ser medido hasta una profundidad de 30 cm, ya que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los

estratos superiores. Los contenidos de carbono en el suelo dependen de factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por cambios en el uso y manejo de la tierra (IPCC, 1996).

JANDL (2003) reporta que, los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres, contienen cuatro veces la cantidad de carbono que la vegetación. Por eso merecen atención cuando se buscan mecanismos del secuestro de carbono. Aumentar el nivel de C en el suelo podría ser un servicio ambiental precioso. El carbono del suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radicular vivo y muerto, y el “carbono negro”. En promedio, las moléculas orgánicas son mineralizadas en cuatro años; una parte de ellas es extremadamente recalcitrante y su tasa de mineralización es baja. La edad de esta fracción de la materia orgánica, ligada a óxidos y arcillas, es de algunos cientos a miles de años. Es necesario entender los procesos claves en el suelo y su relación con otros factores como la temperatura, la humedad del suelo, y los nutrientes (particularmente nitrógenos).

Dado este entendimiento, es posible manejar los bosques de manera que fijen y conserven sosteniblemente carbono en el suelo, el cual se puede manipular mediante la selección de especies de árboles, la ordenación de bosques, con medidas de mejora de los suelos y por la duración del turno de los bosques (JANDL, 2003).

2.5 Almacenamiento de carbono en los bosques y el suelo

FAO (1999) menciona que los bosques desempeñan una función importante en la moderación del flujo neto de gas de efecto invernadero (GEI) entre la tierra y la atmósfera. Los bosques actúan como depósitos, almacenando carbono en la biomasa y los suelos. Actúan como sumideros de carbono cuando se aumenta su superficie o su productividad, dando origen a un incremento de la absorción de CO₂ atmosférico. Por el contrario, actúan como fuente de GEI cuando la quema y la descomposición de la biomasa y las alteraciones del suelo dan origen a emisiones de CO₂ y otros GEI. En la actualidad, el 20 por ciento aproximadamente de las emisiones antropógenas mundiales de CO₂ se deben a cambios en el uso de la tierra (y sobre todo a la deforestación que tiene lugar principalmente en las zonas tropicales).

JANDL (2001) reporta que, los árboles caducifolios son más estables en comparación a las coníferas, además que poseen una madera más densa y por eso almacenan mas carbono. Sin embargo la tasa de crecimiento es más lenta. El crecimiento menos se compensa con la producción de biomasa total. Como efecto complementario, existe una mayor seguridad, por la permanencia del sumidero de carbono.

GAYOSO (2006) indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los bosques siempreverdes adultos, donde el carbono total alcanza 606,80 MgC/ha, con la siguiente distribución: 283,75 MgC/ha en la biomasa aérea; 79,92 MgC/ha en raíces (diámetro >5 mm); 2,79 MgC/ha en el sotobosque;

53,56 MgC/ha en la necromasa; 5,87 MgC/ha en la hojarasca; y 180,91 MgC/ha en los primeros 30 cm de suelo. El carbono acumulado en los suelos supera en todos los casos estudiados 140 MgC/ha tomando en cuenta que se consideraron los primeros 30 centímetros de profundidad de suelo ya que aunque se encuentra materia orgánica hasta los 120 cm se estima que los cambios que se puedan producir más allá de los 30 cm no son significativos.

Los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. De igual manera, el suelo juega un papel muy importante en el ciclaje y almacén del carbono en estos ecosistemas y tiene una gran capacidad de "secuestrar" C ya que puede acumularlo por miles de años (GAYOSO, 2006).

En los últimos años se ha puesto especial énfasis en el suelo como reservorio de C a escala global, por la importancia que tiene para evaluar los cambios en las concentraciones de C atmosférico. El C es un elemento clave en el desarrollo del componente orgánico del suelo y en la estructura y función de los ecosistemas, debido a que no sólo determina los cambios en su almacenamiento si no también controla su productividad (AVILES *et al.*, 2009).

La información sobre la variación en reservas de carbono (C) respecto a la topografía del suelo es escasa. Al desarrollar un trabajo de

investigación sobre la estimación de la variación del C edáfico en el subsuelo de una toposecuencia (cresta, ladera, valle y planicie), de un bosque de *Fagus grandifolia* subsp, *Mexicana*, encontraron una variación en el C almacenado en el suelo; gradual creciente desde la cresta a la planicie, así como valores decrecientes al aumentar la profundidad. La mayor reserva de C total se encontró en la planicie (208 t C ha⁻¹) y la menor en la cresta (159 t C ha⁻¹). Asimismo, el mayor almacén de C se encontró en los primeros 15 cm de profundidad, con 85 t C ha⁻¹ en promedio. Las diferencias encontradas en las reservas de C en las diferentes condiciones topográficas podrían deberse al diferencial en la velocidad de descomposición de la materia orgánica de las especies dominantes en cada condición, indicando que las reservas de C cambian en función de la topografía, y con ello la disponibilidad de recursos en el sistema (AVILES *et al.*, 2009).

2.6 Impacto del aprovechamiento del carbono

VENEGAS (2003) indica que, los gases que provocan cambios en el clima, son los mismos que actúan como gases de efecto invernadero siendo la razón de preocupación de muchos países debido a los problemas que producen, por tal motivo se han llevado a cabo una serie de acuerdos y convenciones en distintos países, con el objetivo de buscar soluciones conjuntas al problema.

Una forma de mitigar los problemas de CO₂ además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; se logra a través

de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques son el principal sumidero de CO₂, sin embargo, según algunos estudios la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, principalmente por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad (CIESLA, 1996).

Los bosques densos y aquellos que no han sufrido perturbaciones, tienen mayor capacidad para almacenar carbono que los bosques abiertos y de zonas arboladas, así como los bosques degradados. Por otra parte, los bosques húmedos y bosques maduros almacenan más carbono que los bosques de zonas áridas o semiáridas y los bosques jóvenes (CIESLA, 1996).

2.7 Medición de carbono en el suelo

El carbono del suelo está presente en la forma orgánica e inorgánica. La forma orgánica equivale a la mayor reserva en interacción con la atmósfera. El carbono orgánico presente en el suelo representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). La información sobre stock de carbono en el suelo es importante para la elaboración de la línea de base.

Entre tanto, la dinámica del carbono del suelo en el tiempo es difícil de ser estimada y los altos costos de medición muchas veces son incompatibles con los beneficios recibidos por proyectos de pequeñas propiedades rurales (RÜGNITZ, CHACÓN y PORRO, 2009).

2.7.1 Métodos de laboratorio para análisis de carbono del suelo

La selección del método de muestreo del suelo en campo debe tomar en consideración el tipo de análisis del carbono del suelo en el laboratorio que se tendrá a disposición.

El método de Walkley Black (método de oxidación húmeda) es el más utilizado en laboratorios debido a que no demanda de equipos sofisticados. La importancia de seleccionar el método de oxidación húmeda es que éste no incluye el conteo de carbonatos.

Para proyectos que identifiquen que el carbono del suelo contribuirá como una importante fuente de stocks, se recomienda utilizar el método de combustión seca en el laboratorio. Entre tanto, esto implica realizar un análisis previo del suelo extrayendo carbono inorgánico por medio de acidificación, y que demanda identificar laboratorios dotados de los equipos necesarios (RÜGNITZ, CHACÓN y PORRO; 2009).

2.7.2 Método para el muestreo de suelo en campo

De acuerdo a RÜGNITZ, CHACÓN y PORRO (2009), entre las principales formas para realizar muestreos de suelo en campo, están el establecimiento de calicatas y el uso de barrenos. Como la abertura de calicatas representa un costo alto y demanda mucho tiempo, se recomienda la utilización del barreno

La profundidad a ser muestreada dependerá del tipo de proyecto, condiciones del área, especies utilizadas y profundidad prevista en que

ocurrirán cambios en el stock de carbono del suelo. Generalmente, las concentraciones de carbono orgánico del suelo son más altas en su capa superior y disminuyen exponencialmente conforme aumenta la profundidad. Se recomienda medir el depósito de carbono del suelo a profundidades de por lo menos 30 cm, dividiendo esta en tres horizontes (0-10, 10- 20, 20-30 cm), Esta es la profundidad en que probablemente ocurrirán variaciones perceptibles en el depósito de carbono durante el periodo del proyecto. Para cada profundidad seleccionada, deberán ser colectadas muestras de suelo separadas para análisis de carbono orgánico, densidad aparente y raíces finas.

2.7.3 Colecta de muestras para medición de biomasa de raíces finas

El procedimiento consiste en utilizar el barreno (con 8 cm de diámetro y 25 cm de altura) para extraer muestras de suelo exclusivamente para análisis de raíces. Estas muestras serán colectadas en distintos intervalos de profundidad, teniendo en consideración que raíces de especies vegetales no arbóreas predominan en los primeros 30 cm.

Las muestras obtenidas deben ser guardadas en bolsas plásticas debidamente identificadas y mantenidas en refrigeración (4 - 7 °C) hasta sus análisis de laboratorio.

En el laboratorio las muestras de campo pasarán por un proceso de tamizado y lavado para eliminar suelo y piedras, restando únicamente las raíces finas. Se recomienda aplicar un factor de corrección de 1,25 a 2,0 a los resultados finales, para contemplar las pérdidas de raíces debido al proceso de muestreo y procesamiento. Las raíces serán secadas en un horno a 70°C hasta

obtener peso constante. Posteriormente se realizan los respectivos cálculos para registrar la biomasa, en toneladas por hectárea de materia seca de raíces (t/ha), relativa a cada intervalo de profundidad (RÜGNITZ, CHACÓN Y PORRO, 2009). Así mismo, indican que para calcular el carbono total del área definida por el proyecto se debe sumar el carbono calculado parcialmente para cada uno de los estratos y categorías de uso de la tierra.

$$\Delta C_{\text{proyecto}} = \sum \Delta C_{\text{estratos}}$$

$\Delta C_{\text{proyecto}}$ = Cantidad de carbono del área proyecto definido (t C)

$\sum \Delta C_{\text{estratos}}$ = sumatoria de la cantidad de carbono de todos los estratos de todas las categorías de uso de la tierra medidas (t C)

Para calcular el carbono de un estrato de una determinada categoría de uso de la tierra, simplemente se debe sumar todos los depósitos medidos.

$$\Delta C_{\text{estrato}} = (\Delta C_{\text{BSA}} + \Delta C_{\text{BS}} + \Delta C_{\text{MM}} + \Delta C_{\text{HD}} + \Delta C_{\text{SO}}) * \text{área del estrato}$$

$\Delta C_{\text{estrato}}$ = Cantidad de carbono de un determinado estrato de una categoría de uso de la tierra (t C)

Área del estrato: en hectáreas (ha)

Donde los subíndices se refieren a los siguientes depósitos de carbono:

BSA = biomasa sobre el suelo (t C/ha)

BS = biomasa subterránea (t C/ha)

MM = madera muerta (t C/ha)

HD = hojarasca y detritos (t C/ha)

SO = suelos (t C/ha)

2.8 Tendencia general de la captura de carbono en el suelo

De acuerdo a ROBERT (2002), el incremento en la atmósfera de los llamados gases de invernadero esencial que sean tomadas un cierto número de medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa. Para ello, deben ser desarrolladas nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques. Una opción se basa en la captura de carbono en los suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación.

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 ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos. 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.

El contenido de materia orgánica del suelo es por lo general más bajo donde la degradación es más severa. La cantidad de carbono que puede ser capturada por medio de la rehabilitación de tierras degradadas será, por lo tanto, importante en áreas donde es técnica y socio-económicamente una opción viable.

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.

2.9 Importancia económica de las Áreas Naturales Protegidas como sumideros de carbono en México

En México, la principal estrategia para promover la conservación de la diversidad biológica y sus servicios ambientales es la creación y manejo de áreas naturales protegidas. Se ha comprobado que para el caso de los ecosistemas terrestres mexicanos, la mayor proporción de carbono almacenado se encuentra respectivamente en la vegetación aérea, los suelos y las raíces o vegetación del subsuelo. Esta información es crucial para identificar la importancia de las diversas coberturas forestales en relación con el almacenamiento y captura de carbono, Igualmente resulta importante para estimar el valor económico potencial de tales ecosistemas terrestres como sumideros de carbono y, en particular el de las áreas naturales protegidas (Maser *et al.*, 2001; Ordóñez, 2004; citado por LOPEZ, 2008).

2.10 Carbono y materia orgánica en el suelo

El carbono en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica; la forma orgánica representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima a nivel global en cerca de 1 500 Pg de C a un metro de profundidad y cerca de 2 456 Pg a dos metros de profundidad. El carbono orgánico presente en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) (Kanninen 2001; citado por MENA, 2008).

Parton *et al.* citado por FAO (2000), indica que los modelos conceptuales y de simulación separan la materia orgánica del suelo en fracciones que son fácilmente descompuestas y resistentes, que se caracterizan por bajas tasas de recambio; dividen a la materia orgánica del suelo en tres fracciones: 1) fracción activa, que consta de microorganismos vivos y productos microbianos, corresponde a 4% del carbono orgánico total y el tiempo de recambio está entre 2 a 4 años; 2) fracción lenta, que es más resistente a descomposición (tiempo de recambio 20-50 años) como resultado de la protección física y química, 3) fracción pasiva, que es físicamente protegida o químicamente resistente y tiene un tiempo de recambio más prolongado (800 a 1200 años); estas dos últimas fracciones representan aproximadamente el 96 % del carbono orgánico total.

2.11 El papel fundamental de la materia orgánica en los suelos

ROBERT (2002), indica que 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 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.

2.12 Almacenamiento de carbono en el suelo

Durante el último siglo, aproximadamente 150 Pg C han sido liberados a la atmósfera como consecuencia de los cambios en el uso de la tierra. Esto equivale, en proporciones actuales, a aproximadamente 30 años de emisiones de combustible fósil.

Varios factores favorecen la retención del carbono en el suelo y permiten mayores tasas de recambio y tiempos de residencia; estos incluyen, distribución por debajo de la superficie del suelo, asimilados con bajo contenido de nutrimentos, materiales ricos en lignina y ceras, inundación, bajas temperaturas, texturas arcillosas, alta saturación de bases, agregación y superficies de cargas variables. Los factores que aceleran el flujo hacia el suelo de asimilados de carbono en las plantas son: hojarasca con concentraciones

altas de asimilados, asimilados ricos en nutrientes, carbohidratos, aireación, altas temperaturas, textura arenosa, acidez y superficies con poca carga. La magnitud con la cual el suelo puede ser un sumidero de carbono depende del balance entre las tasas de los procesos de adquisición y la tasa de rotura del carbono resistente como del carbono adquirido (FAO, 2000).

MARTINEZ *et al.* (2008) indican que los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera. El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica; la cantidad total de C orgánico almacenada en los suelos ha sido estimada por diversos métodos y su valor es cercano a 1 500 Pg a 1 m de profundidad. Estimaciones de C inorgánico dan valores de alrededor de 1 700 Pg C, principalmente en formas estables como CaCO_3 y $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$, CO_2 , HCO_3 y CO_3 . Los suelos que acumulan la mayor cantidad de COS corresponden al orden Histosol.

ROJAS (1999) reporta que la estimación del carbono incluye la cantidad almacenada en la biomasa "sobre el suelo", o sea, en fustes, ramas, follaje, raíces, mantillo (necromasa fina y gruesa) y sotobosque, utilizando para el caso de follaje, raíces, mantillo y sotobosque.

El carbono acumulado en el suelo no se incluyó en el protocolo de Kyoto debido a que los proyectos MDL deberán ser cuantificados, monitoreados y certificables, y el costo del monitoreo del carbono en suelos es alto. Esto, ligado a la incertidumbre de los precios que se obtendrán por la tonelada de carbono en un futuro mercado abierto, conduce a que los diseñadores y ejecutores de proyectos se concentren en la biomasa aérea.

El contenido de materia orgánica ha sido estudiado en una gran cantidad de suelos en el mundo y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores: precipitación, temperatura, humedad relativa, contenido de arcilla, factor biótico, altitud asociada con la disminución de la temperatura), material parental, etc.

Jaimes 1990; citado por OCHOA (1999) encontraron para suelos de Venezuela, que los contenidos de materia orgánica aumentan con la altitud, mientras que para (Oballos 1995; citado por OCHOA, 1999) en cuencas pequeñas no se observan aumentos definidos de materia orgánica. El aumento en los contenidos de materia orgánica con la altitud está asociada con la disminución de la temperatura para altitudes superiores a los 3 000 msnm, mientras que para altitudes comprendidas entre 1 500 y 2 000 msnm, se corresponden con los aumentos de la precipitación, igualmente en condiciones de extrema acidez y proliferación de hongos pueden asociarse con la disminución de la actividad bacteriana y en consecuencia del proceso de mineralización, lo cual determina altos contenidos de materia orgánica en los suelos. Tavant *et al.* (1994), citado por OCHOA (1999), indican que estudio la variación del carbono orgánico en función de las propiedades del suelo y de la altitud, en materiales calcáreos para el Jura (Francia) encontrando que el calcio explica el 77% de la variación del carbono orgánico, y que la altitud solamente explica el 1,1% de la variación del mismo.

2.13 Métodos para determinar carbono orgánico en el suelo

Se han desarrollado un gran número de métodos de separación para identificar los distintos constituyentes de la materia orgánica del suelo, grupos cinéticos, por ejemplo grupos que pueden ser definidos por una cierta tasa de recambio del carbono etc. El sistema tradicional de separación en fracciones fúlvicas y húmicas no separa las fracciones con diferentes tasas de recambio como se considera en los modelos.

Los métodos de separación física, tal 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 (Jenkinson *et al.*, 1987; Parton *et al.*, 1987; Balesdent 1996; citado por MENA, 2008). La fracción de tamaños que van desde 53 a 2000 μm , da una estimación precisa de la fracción lenta, mientras que fracciones menores que 53 μm , dan una estimación exacta de la fracción pasiva. La biomasa microbiana representa 1-5% 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 responde rápidamente a los cambios de manejo del suelo (Tiessen *et al.*, 1984; Robert; citado por MENA, 2008).

2.14 Estimación del almacenamiento de carbono orgánico en el suelo

(COS)

La concentración de carbono en el suelo correlaciona con la densidad aparente (DA), la cual varía con la profundidad del suelo, manejo y otras propiedades físicas. Para calcular la materia orgánica del suelo y

almacenaje de carbono, se considera el carbono como el producto de la concentración de COS, DA y el espesor del suelo; de este modo, las comparaciones de carbono en el suelo son basadas en los mismos espesores o volúmenes (por ejemplo, 60 Mg C ha⁻¹ a 30 cm), por lo tanto, se sugiere expresar el carbono almacenado en términos de una masa equivalente de suelo por unidad de área (Ellert *et al.*, 1999; FAO 2006; citado por MENA, 2008).

2.14.1 Densidad aparente

La densidad es un término que expresa la masa por unidad de volumen de una sustancia; cuando se aplica a suelos, se denomina densidad aparente porque incluye el espacio poroso. Como regla general, la densidad aparente tiene un valor máximo en suelos de textura gruesa porque tienden a la menor porosidad, aún cuando el tamaño de sus poros es grande, Inversamente, el espacio poroso total de un suelo con textura fina tiende a ser mayor y por tanto, su densidad aparente es baja (Cavozos *et al.*, 1992; citado por MENA, 2008).

2.14.2 Profundidad

La profundidad del perfil es importante, ya que define el volumen de suelo a estimar, además existe un patrón de acumulación de carbono que varía en cada horizonte; así, tenemos que el perfil "A" superficial es rico en materia orgánica en descomposición y por tanto se espera que sea rico en (COS), Sin embargo, dependiendo del uso anterior o de la cobertura vegetal es

posible encontrar casos en los que el perfil "B", cuyo carbono está menos disponible y se acumula, presente mayor contenido de carbono (Ellert *et al*, 1999; MENA, 2008).

2.14.3 Pedregosidad o rocosidad

La pedregosidad o rocosidad es el contenido de piedras o rocas que interfieren en las labores de labranza, crecimiento de raíces y el movimiento de agua. Se define como el contenido de grava cuyo tamaño varía de 0,2 a 20 mm, las piedras que tienen más de 2 cm de diámetro y rocosidad como la proporción relativa de exposición de la roca fija, ya sea por afloramiento en suelos muy delgados o por conglomerados (Mata 2003; citado por MENA, 2008). La pedregosidad o rocosidad presenta las siguientes categorías:

1. *Sin pedregosidad*: no hay piedras o rocas o son tan pocas que no interfieren en la preparación del suelo. Las rocas cubren menos de 1 m²/ha, o sea inferior de 0,01% del área. Es esta categoría se acepta hasta 5% del volumen del suelo con grava.
2. *Ligeramente pedregoso*: el contenido de piedras interfiere con la preparación de terrenos pero sin impedir esta labor.
3. *Moderadamente pedregoso*: el contenido de piedras es suficiente para dificultar la preparación del terreno, por lo que esta labor debe desarrollarse cuidadosamente. El área ocupada por las piedras varía de 10 a 300 m²/ha o sea 0,1-3% del área. Se acepta de 10 a 15% del volumen del suelo con grava.

4. *Pedregoso*: el contenido de piedras sólo permite la utilización de maquinaria liviana o herramientas de mano para preparar el terreno. El área ocupada por las piedras varía de 300 a 800 m²/ha, o sea 3-8% del área, Se acepta de 15 a 25% del volumen del suelo con grava.
5. *Muy pedregoso*: el contenido de piedras es suficiente para impedir cualquier uso de maquinaria agrícola en la preparación de terrenos por lo que sólo se pueden usar implementos manuales.
6. *Fuertemente pedregoso*: la superficie se encuentra cubierta de piedras, las cuales ocupan entre 20 y 50% de la superficie. Sólo se podrán usar implementos manuales ocasionalmente; se acepta de 50 a 75% del volumen del suelo con grava.
7. *Extremadamente pedregoso*: la superficie se encuentra prácticamente cubierta de piedras con más de 50% de la misma cubierta por éstas. Se acepta más de 75% del volumen del suelo con grava.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de trabajo

3.1.1 Lugar de ejecución

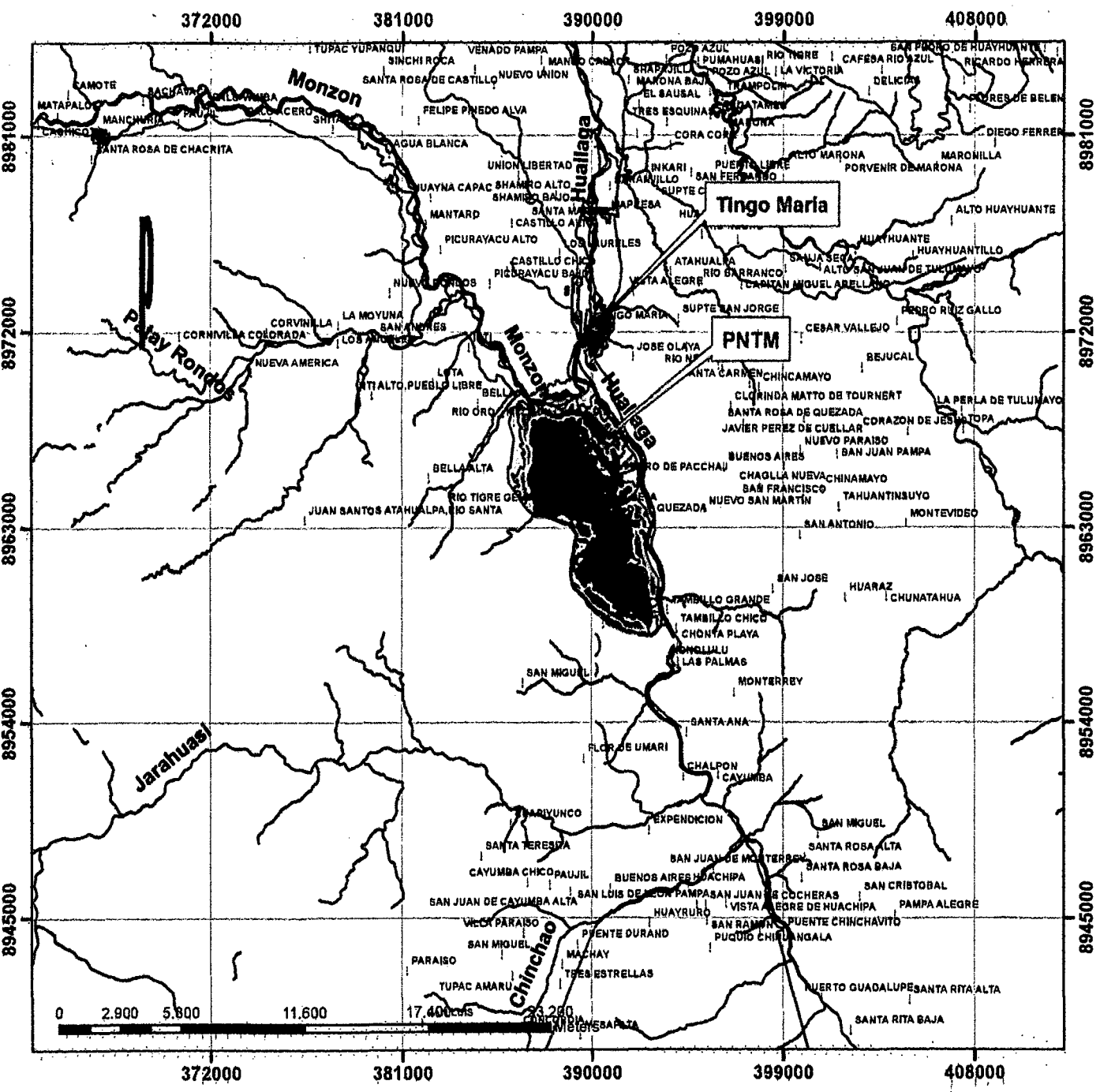
El estudio se realizó en el área física del Parque Nacional Tingo María (PNTM) que políticamente se encuentra ubicado en la región Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito de Mariano Dámaso Beraún, Tiene una superficie de 4 777,8 hectáreas (Figura 1) y dentro de su riqueza biológica se reportan 144 especies vegetales superiores y 104 especies de animales superiores.

3.1.2 Ubicación geográfica

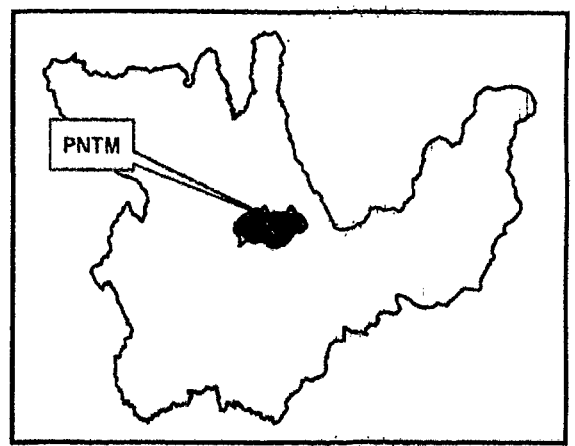
Cuadro 1, Ubicación geográfica del Parque Nacional Tingo María

| Coordenadas UTM | |
|-------------------------|-------------|
| 8 958 320 N | 8969980 N |
| 386 220 E | 393515 E |
| Coordenadas geográficas | |
| 9°19'31" S | 75°58'27" W |
| 9°26'2" S | 76°2'51" W |

Fuente: INRENA, 2 002



DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO



Leyenda

- ! Centros poblados
- Ríos
- Vías de comunicación
- PROTECCIÓN Estricta
- Recuperación
- ▨ Silvestre
- ▤ Uso Especial
- ▥ Uso Turístico
- Tingo María

| | | |
|-------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA | | |
| PARQUE NACIONAL TINGO MARÍA | | |
| MAPA DE UBICACIÓN POLÍTICA | | |
| Ubicación | | ZONA 18L DATUM WGS 84 ESCALA 1:50000 |
| Ciudad : Tingo María | Área | Perímetro |
| Distrito : Mariano Dámaso Barón | 4777.8 Ha. | 32109.61 m.l. |
| Provincia : Leoncio Prado | | |
| Departamento : Huánuco | Revisado por: | Fecha: |
| Elaborado por: Luis E. Oré Cierdo | Angela L. Ruiz Tello | Diciembre del 2010 |

3.1.3 Zona de vida

Ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida o de formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1994), la zona de Tingo María se encuentra en la formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Sub tropical (bhm-PST).

3.1.3 Condiciones climáticas

La estación meteorológica del SENAMHI en la ciudad de Tingo María registra una temperatura máxima media anual de 29,8 °C y una temperatura mínima media anual de 19,2 °C, siendo la temperatura media anual de 24,5 °C, La humedad relativa media anual es cercana al 80%, La precipitación media anual es de 3 300 milímetros.

La época de lluvias comienza en octubre y se prolonga hasta abril, Sin embargo, en los últimos tres años el régimen de lluvias y estiaje ha sufrido grandes variaciones en su intensidad, ocasionando inundaciones en las riberas de los ríos y sequías que han afectado a la agricultura.

3.1.4 Relieve y suelos

Toda la extensión de la cadena montañosa de la Bella Durmiente se encuentra comprendida dentro del Parque; por eso el relieve en su interior es, con excepción de algunas pequeñas terrazas, muy escarpado y accidentado, constituido básicamente por montañas cuyas paredes tienen alturas que van de 300 a 500 metros disectadas por numerosas quebradas, pequeñas cascadas y manantiales (Anexo 5, Figura 13).

Las pendientes son muy pronunciadas, superando por lo general los 45° de inclinación, La altitud del Parque va de los 650 y los 1 808 msnm.

Los suelos poco profundos y pedregosos son muy susceptibles a la erosión y muestran claramente su vocación de protección; en el Parque no existen tierras con vocación agrícola o ganadera.

Dada su condición montañosa, se puede apreciar diversos afloramientos de rocas y signos de deslizamientos naturales u ocasionados por labores agrícolas no muy recientes.

3.2 Materiales y equipos

Para el desarrollo de las diferentes labores de campo y laboratorio, se ha requerido de materiales tales como: cinta métrica, dimensionador de madera de 50x50 cm², libreta de campo, bolsas de plástico, plumón indeleble, papel Kraff, Asimismo, equipos tales como: GPS Garmín 12 XL, altímetro, computadora, estufa y cámara digital.

3.3 Metodología

La ejecución del presente trabajo, se realizó en el Área Natural Protegida "Parque Nacional Tingo María" que se encuentra a cargo de la administración del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP). Para el desarrollo de la investigación se planteó cuatro fases fundamentales: trabajo inicial de gabinete, de campo, de laboratorio y final de gabinete.

3.3.1 Fase inicial de gabinete

3.3.1.1 Reconocimiento del área de estudio

Se reconoció el área de estudio de acuerdo al mapa altitudinal del Parque Nacional Tingo María, elaborado a base de la curva de nivel empalme 19 k (Anexo 1), con la finalidad de hacer los muestreos para estudiar el carbono almacenado de suelo, hojarasca y raíces almacenados en el Parque.

3.3.1.2 Elaboración del mapa altitudinal

El mapa altitudinal se elaboró en el programa de Arc view 3.2. para ello se usó la extensión 3D Analyst, con curvas de nivel digitalizada (empalme 19k y 19l), de las cuales estas curvas de nivel fueron cortadas con el polígono del PNTM, una vez realizada el corte se abrió el menú Surface seguidamente por create TIN from features y Ok, de tal manera que se formó áreas de acuerdo a la altitud del terreno de 650-750; 751-850; 851-950; 951-1050; 1051-1 150; 1 151-1 250; 1 251-1 350; 1 351-1 450; 1 451-1 550; 1 551-1 650; y 1 651 a más msnm (Anexo 1).

3.3.1.3 Diseño de muestreo

Se delimitó los espacios muestrales mediante el diseño de muestreo al azar estratificado (PIMENTEL, 1996), para ello se trabajó con grillas de 500mx500m y dentro de ellas con subparcelas de 50m x 50m (de acuerdo a las altitudes obtenidas: de 650-750; 751-850; 851-950; 951-1050; 1051-1 150; 1 151-1 250; 1 251-1 350; 1 351-1 450; 1 451-1 550; 1 551-1 650; y 1 651 a más msnm) que es un total de 25 Ha por muestreo y cada subparcela

de un área de 0,25 Ha; y para obtener el tamaño de muestra se usó la siguiente fórmula diseñada por MALLEUX (MALLEUX , 1982).

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2 + \frac{t^2 \times CV^2}{N}}$$

Donde:

- n : Tamaño de muestra
- CV : Coeficiente de variación
- E : Error muestral
- N : Número total de parcelas
- t : t estadístico

3.3.2 Fase de campo

3.3.2.1 Obtención de muestra se suelo

Una vez obtenida los números de muestras de acuerdo al trabajo piloto y de gabinete, se ubicó las áreas con la finalidad de extraer las muestras (Anexo 7, Figura 14 y 15); para el caso del suelo se extrajo la muestra con un cilindro muestreador de volumen conocido el cual se introdujo a una profundidad de 30 cm con la ayuda de un martillo, ya que hasta esta profundidad se encuentra en mayor porcentaje almacenado el carbono del suelo; este trabajo se realizó en cuatro sectores: Puesto de control (Tambillo Grande), Río Perdido, Río Oro y Cuevas de las Lechuzas (Anexo 2).

3.3.2.2 Obtención de muestra de raíces

Para la obtención de muestras de raíces se trabajó a tres profundidades del suelo: suelo superficial (0 a 10cm), suelo intermedio (20 a 30cm) y suelo a profundo (50-60cm); para ello se usó el volumen de cilindros; y también se efectuó con los mismos lugares de muestreo del carbono del suelo; este trabajo también se realizó en cuatro sectores: Puesto de control (Tambillo Grande), Río Perdido, Río Oro y Cuevas de las Lechuzas (Anexo 7, Figura 15).

3.3.2.3 Obtención de muestras de hojarasca

Para la obtención de hojarasca se utilizó un cuadrado de 50cmx50cm, que fue lanzado al azar en el área muestral (50mx50m), juntándose luego toda la hojarasca que se encuentre en el perímetro del cuadro; el lugar de muestreo fue el mismo que del carbono del suelo; este trabajo se realizó en cuatro sectores: Puesto de control (Tambillo Grande), Río Perdido, Río Oro y Cuevas de las Lechuzas.

3.3.3 Fase de laboratorio

Esta fase se realizó en el laboratorio de Química Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables y en el laboratorio de Análisis de suelo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, la cual permitió obtener resultados para el procesamiento de datos para la captura de carbono del suelo, raíces y hojarasca (Anexo 7, Figura 16).

3.3.3.1 Obtención de datos de carbono del suelo

Para la determinación del carbono de suelo se usó el método de calcinación en mufla a 600 °C por 24 horas; antes de someterlo, la muestra se secó al horno con la finalidad de eliminar la humedad, se secó en una estufa a 103°C por 48 – 60 horas (tiempo para obtener peso constante), después de sacar la muestra se le añadió ácido clorhídrico para eliminar compuestos carbonatados (carbonato de calcio).

3.3.3.2 Obtención de datos de carbono de raíces

Una vez seleccionado las raíces del volumen del cilindro (suelo + piedras + raíces), se procedió a pesarlos en una balanza digital, para luego secarlos en la estufa a 103°C por 24 - 48 horas (hasta obtener peso constante, para ello se usó la estufa), una vez transcurrido el tiempo se realizó las respectivas pesadas de los pesos secos de las raíces.

3.3.3.3 Obtención de datos de carbono de hojarasca

La hojarasca húmeda obtenida en un área de 0,25 m² se envolvió en papel craft y luego se pesó en una balanza digital, para luego ser secado en una estufa a 103°C por 24 – 48 horas aproximadamente (tiempo para obtención de peso constante), el tiempo fue relativo, dependió del tipo de hojarasca y restos de las especies forestales que se encuentran en el lugar de estudio, que vino de la fase de campo.

3.3.4 Fase final de gabinete

3.3.4.1 Cálculos para la obtención de carbono del suelo

Para la determinación del carbono de suelo se usaron la siguiente fórmula (IPCC, 1996):

$$C_{suelo} = (P_{seco} - P_{calcificación}) \times f$$

$$D_{aparente} = \frac{P_{seco}}{V_{cilindro}}$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 H}{4}$$

Donde:

| | |
|---------------------|----------------------------------------------|
| P_{seco} | : Peso seco al horno |
| $P_{calcificación}$ | : Peso de los minerales luego de calcinarlos |
| $D_{aparente}$ | : Densidad del suelo a estudiar |
| $V_{cilindro}$ | : Volumen del cilindro |
| D | : Diámetro del cilindro |
| H | : Altura del cilindro |
| C_{suelo} | : Carbono del suelo |
| f | : Factor de conversión = 0,45 (IPCC, 1996), |

3.3.4.2 Cálculos para la obtención de carbono de raíces

Para la determinación del carbono de las raíces se usó la siguiente fórmula matemática (IPCC, 1996):

$$CH_{raiz} = \frac{P_{fresco} - P_{seco}}{P_{fresco}}$$

$$P_{materiaprima} = P_{fresco} - CH_{raices} \times P_{fresco}$$

$$D_{raiz} = \frac{P_{sec\ oleraices}}{V_{cilindro}}$$

$$\%_{raiz} = \frac{P_{raiz}}{P_{total}} \times 100$$

$$C_{raiz} = (P_{sec\ oleraiz} - P_{calcination}) \times f$$

Donde:

P_{seco} : Peso seco al horno de la raíz

P_{fresco} : Peso fresco de las raíces

D_{raiz} : Densidad de raíz en función de volumen de suelo

$\%_{raices}$: Porcentaje de las raíces en función del peso total

CH_{raiz} : Contenido de humedad de la raíz

$V_{cilindro}$: Volumen del cilindro

C_{raiz} : Carbono de la raíz

f : Factor de conversión = 0,45

3.3.4.3 Cálculos para la obtención de carbono de hojarasca

Para la determinación del carbono de hojarasca se usó la siguiente fórmula (IPCC, 1996):

$$CH_{hojarasca} = \frac{P_{fresco} - P_{seco}}{P_{fresco}} \times 100$$

$$P_{materia\ seca} = P_{fresco} - CH_{hojarasca} \times P_{fresco}$$

$$C_{hojarasca} = (P_{seco\ de\ hojarasca} - P_{calcination}) \times f$$

Donde:

P_{seco} : Peso seco al horno de la hojarasca

P_{fresco} : Peso de fresco de la hojarasca

$CH_{hojarasca}$: Contenido de humedad de la hojarasca

$C_{hojarasca}$: Carbono de la hojarasca

f : Factor de conversión = 0,45 (IPCC, 1996)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Contenido de carbono del suelo de acuerdo al gradiente altitudinal del Parque Nacional Tingo María

En el Cuadro 2 y Figura 1, se observa la altitud que presenta mayor cantidad de almacenado de carbono en el suelo, correspondiendo esto desde los 1 450 – 1 550 msnm (9,43%), seguido de la altitud 1 350 a 1 450 msnm (9,31%), mientras la altitud que posee menor cantidad de almacenamiento de carbono se observa desde los 850 a 950 msnm (2,03%), seguido por la altitud de 650 a 750 msnm (2,23%); y en el análisis, la altitud que presenta mayor coeficiente de variación estadística es desde los 1 150 – 1 250 msnm (73,92%).

Cuadro 2. Porcentaje de captura de carbono del suelo de acuerdo a la altitud del Parque Nacional Tingo María

| Altitud | Promedio (%) | Desviación estándar (%) | CV (%) |
|--------------|--------------|-------------------------|--------|
| 650-750 | 2,23 | 0,23 | 10,34 |
| 750-850 | 2,65 | 0,48 | 18,00 |
| 850-950 | 2,03 | 0,53 | 25,83 |
| 950 -1 050 | 3,28 | 1,24 | 37,81 |
| 1 050 -1 150 | 2,83 | 0,67 | 23,59 |
| 1 150 -1 250 | 5,81 | 4,30 | 73,92 |
| 1 250 -1 350 | 8,53 | 5,47 | 64,09 |
| 1 350 -1 450 | 9,31 | 5,77 | 61,97 |
| 1 450 -1 550 | 9,43 | 4,76 | 50,52 |
| 1 550 -1 650 | 5,59 | 2,89 | 51,80 |
| 1 650 -1 800 | 3,96 | 2,08 | 52,51 |

Fuente: Elaboración propia

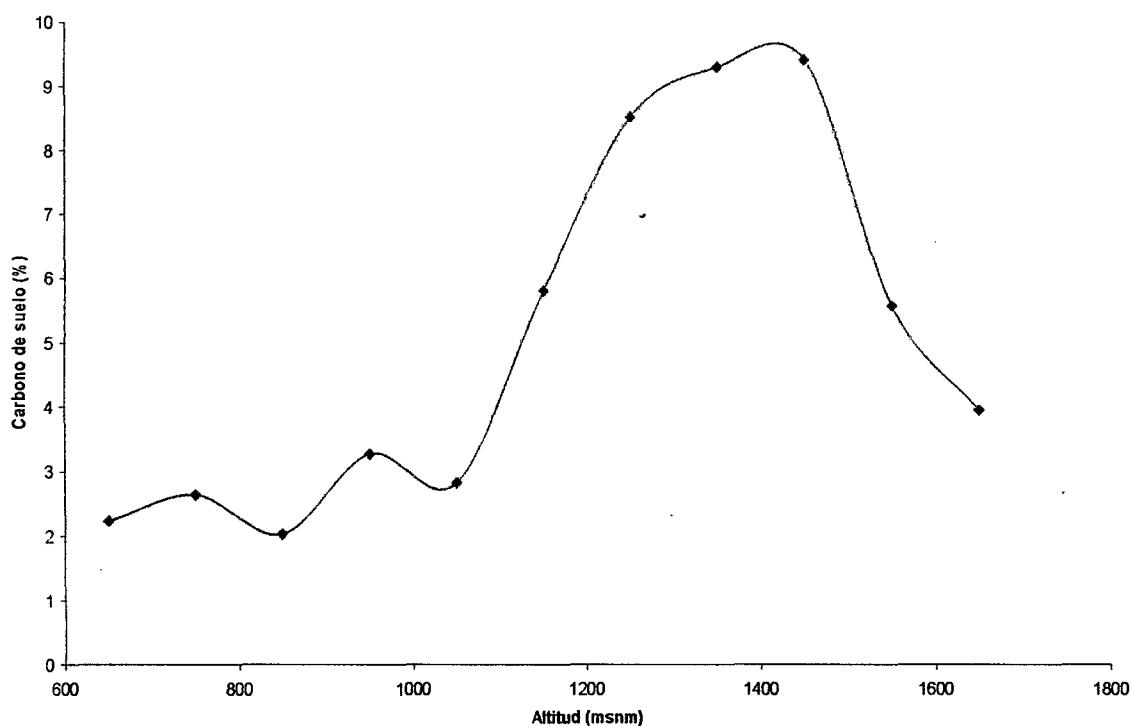


Figura 1. Porcentaje de captura de carbono del suelo de acuerdo a las gradientes altitudinales del Parque Nacional Tingo María

GAYOSO (2006), manifiesta que la variación de carbono almacenado en un área geográfica se debe por lo general a la distribución de nichos ecológicos, así mismo FAO (1999), hace mención que el carbono almacenado se debe a las zonas de vida que presenta el lugar; pero JANL (2001), menciona que la distribución forestal afecta para la acumulación del carbono. El Parque Nacional Tingo María por presentar gradientes altitudinales muy relevantes (PLAN MAESTRO, 2002), hace que el coeficiente de variación estadística supere los límites recomendados por PIMENTEL (1997), pero también manifiesta que por el hecho de no manipular las variables (recursos naturales), los coeficientes de variación estadísticas son aceptables.

Asimismo Jaimes (1990); citado por OCHOA (1999) indica que el aumento en los contenidos de materia orgánica y por ende de carbono con la altitud, está asociada con la disminución de la temperatura para altitudes superiores a los 3 000 msnm, mientras que para altitudes comprendidas entre 1 500 y 2 000 msnm, se corresponden con los aumentos de la precipitación, igualmente en condiciones de extrema acidez y proliferación de hongos pueden asociarse con la disminución de la actividad bacteriana y en consecuencia del proceso de mineralización, lo cual determina altos contenidos de materia orgánica en los suelos.

Tavant *et al* (1994), citado por OCHOA (1999) indican un aspecto importante al estudiar la variación del carbono orgánico en función de las propiedades del suelo y de la altitud, en materiales calcáreos para el Jura (Francia) encontrando que el calcio explica el 77% de la variación del carbono orgánico, y que la altitud solamente explica el 1,1% de la variación del mismo.

ROJAS (1999) indica que el contenido de materia orgánica y por consiguiente de una mayor cantidad de carbono, ha sido estudiado en una gran cantidad de suelos en el mundo y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores: precipitación, temperatura, humedad relativa, contenido de arcilla, factor biótico, altitud asociada con la disminución de la temperatura, material parental, etc.

En el Cuadro 3 y Figura 2 se observa el total de carbono en el suelo por gradiente altitudinal en cinco zonas del PNTM, donde el mayor porcentaje de carbono acumulado se encuentra en la gradiente altitudinal de 1

350 a 1 450 msnm con 390,86 TnC/Ha, seguido de 1 250 a 1 350 msnm con 381,08 TnC/Ha; y en menor cantidad se observa entre 850 a 950 msnm con 80,87 TnC/Ha, seguido de la gradiente de 1 050 a 1 150 msnm con 102,52 TnC/Ha.

Cuadro 3. Carbono en el suelo en cinco zonas del Parque Nacional Tingo María

| Altitud (msnm) | Área (Ha) | Densidad aparente | Masa total (Tn) | Carbono total (Tn) | Carbono (Tn)/Ha | Porcentaje % |
|----------------|-----------|-------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|
| 650 - 750 | 163,34 | 1 386,80 | 1 132 608,97 | 25 294,93 | 154,86 | 6,78 |
| 750 - 850 | 267,73 | 1 341,60 | 1 077 540,48 | 28 554,82 | 106,66 | 4,67 |
| 850 - 950 | 305,31 | 1 325,70 | 1 214 256,98 | 24 689,89 | 80,87 | 3,54 |
| 950 - 1 050 | 406,07 | 1 255,50 | 1 529 470,75 | 5 0217,62 | 123,67 | 5,41 |
| 1 050 - 1 150 | 544,21 | 1 209,70 | 1 97 5 003,26 | 55 793,84 | 102,52 | 4,49 |
| 1 150 - 1 250 | 739,22 | 1 472,80 | 3 266 182,70 | 1 89 846,87 | 256,82 | 1,,24 |
| 1 250 - 1 350 | 689,06 | 1 488,60 | 3 077 185,80 | 2 62 586,52 | 381,08 | 16,67 |
| 1 350 - 1 450 | 777,60 | 1 398,80 | 3 263 135,67 | 3 03 937,78 | 390,86 | 17,10 |
| 1 450 - 1 550 | 376,35 | 1 242,60 | 1 402 943,64 | 1 32 227,44 | 351,35 | 15,37 |
| 1 550 - 1 650 | 311,81 | 1 198,50 | 1 121 124,67 | 62 642,84 | 200,90 | 8,79 |
| 1 650 - 1 800 | 197,07 | 1 142,50 | 675 471,70 | 26 765,57 | 135,81 | 5,94 |

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3, nos visualiza la cantidad de carbono en el suelo por hectárea considerando la gradiente altitudinal del Parque Nacional Tingo María; aquí se puede apreciar las gradientes que presentan mayor cantidad de carbono por hectárea a los siguientes: 1 350 - 1 450, 1 250 – 1 350 y 1450 – 1550; con valores de 390,86; 381,08 y 351,35 de Tn/ha respectivamente, Así mismo, las gradientes que presentan menor cantidad de carbono en el suelo/ha

corresponde a 850-950, 1050-1150, 750-850 con valores de 80,87; 102,52 y 106,66 respectivamente.

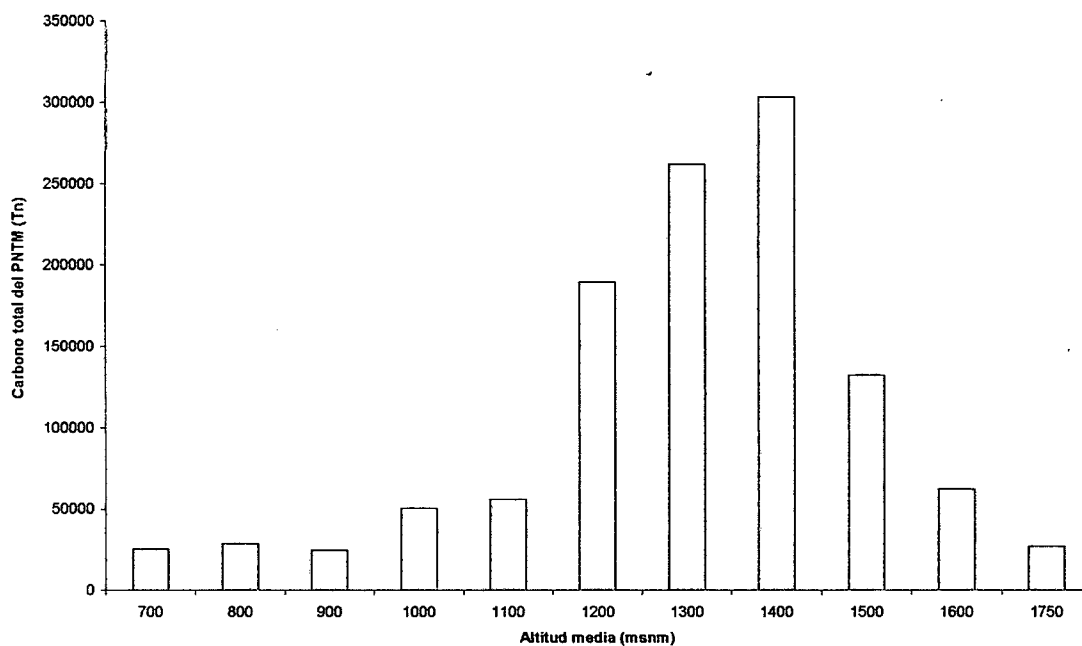


Figura 2. Carbono total del suelo por altitud del Parque Nacional Tingo María

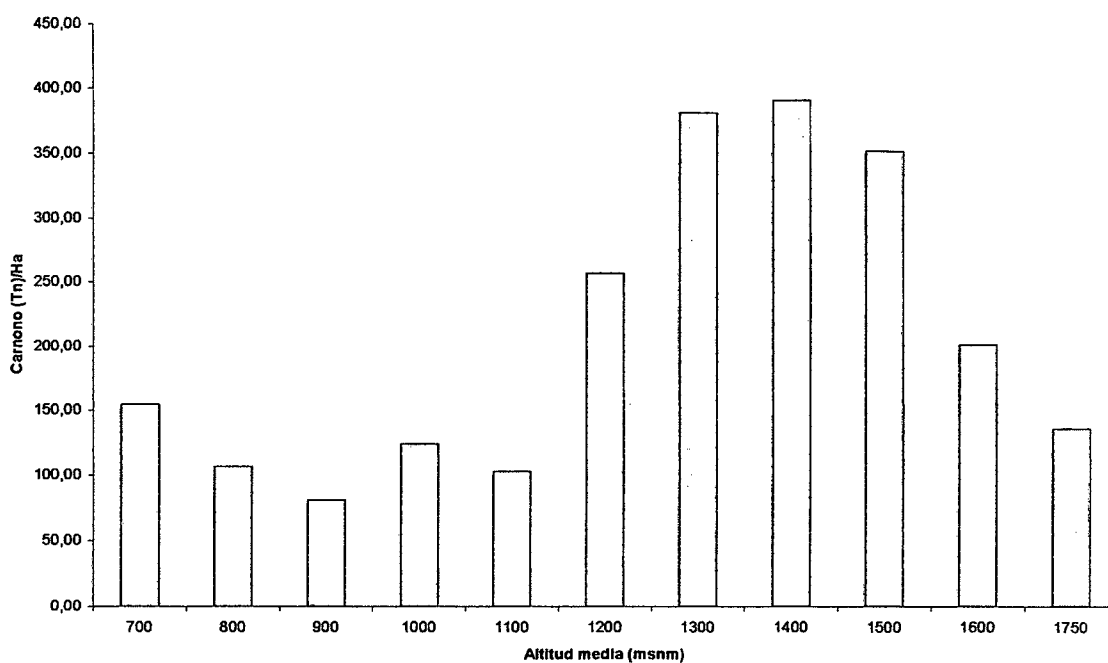


Figura 3. Carbono/Hectárea en el suelo por altitud del Parque Nacional Tingo María

La distribución porcentual de carbono del suelo considerando la gradiente altitudinal, se visualiza en la Figura 4, donde de igual modo las gradientes 1 350-1 450, 1 250-1 350 y 1 450-1 550 presentan los mayores porcentajes de carbono almacenado con valores de 17,10; 16,67 y 15,37 por ciento respectivamente.

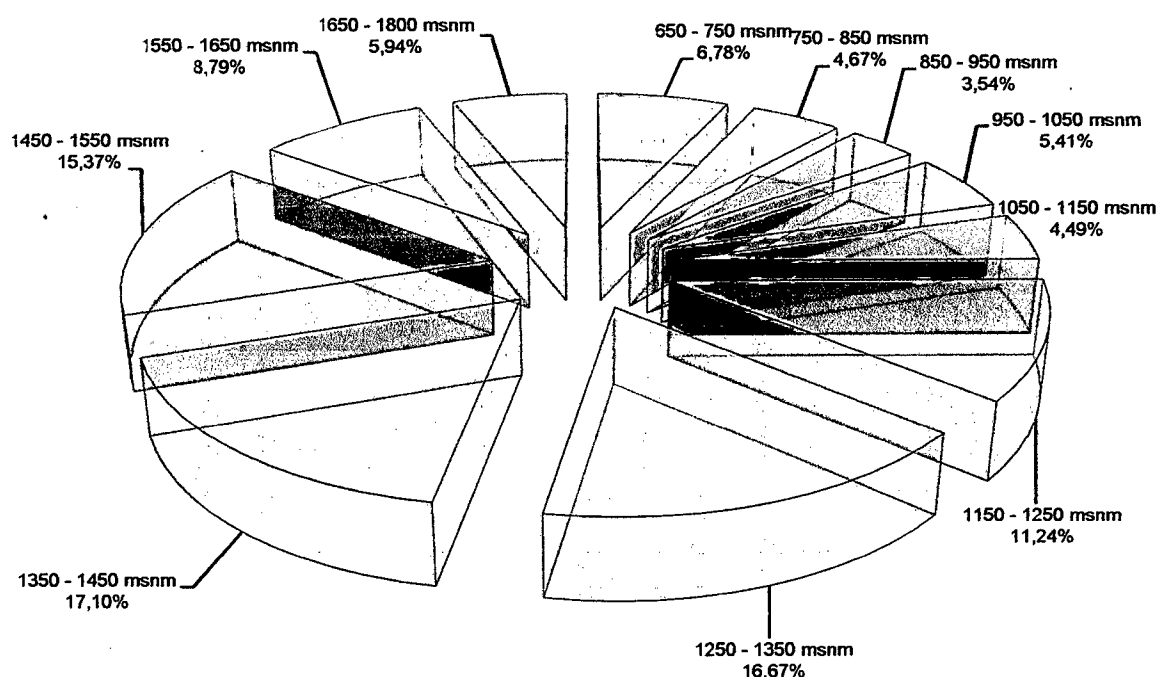


Figura 4. Distribución porcentual de carbono del suelo por altitud del Parque Nacional Tingo María

De acuerdo a ROJAS (1999), CIESLA (1996) atribuyen sobre la variación de contenido de carbono en el suelo a diferentes factores, tales como: precipitación, temperatura, humedad relativa, contenido de arcilla, factor biótico, altitud asociada con la disminución de la temperatura, material parental, etc. Tavant *et al* (1994), citado por OCHOA (1999) asumen a las propiedades del suelo y la altitud, así en materiales calcáreos encontraron que el calcio

explica el 77% de la variación del carbono orgánico, y que la altitud solamente explica el 1,1% de la variación del mismo. Por supuesto que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo del estado del bosque, donde ha determinado que el suelo almacena 180,91 MTn/Ha en los primeros 30 cm, valor bastante elevado en comparación al del Parque Nacional Tingo María, por cuanto en su mayor dimensión está compuesto por suelos sedimentarios, es decir; presentan por lo general carbonato de calcio (GAYOSO, 2006). Además BROWN (1995) manifiesta que a medida que el suelo presenta fuertes pendientes el carbono disminuye, debido a que la mayor parte de las especies forestales se encuentran sujetas a las rocas más no al suelo. En resumen, existen numerosas variables que influyen la cantidad de carbono en un suelo, tal es así que la materia orgánica, tal como lo indica ROBERT (2002), se refiere a que 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.

También la diferencia de los volúmenes de carbono por hectárea obtenidos en cada zona del PNTM concuerda plenamente con lo establecido por IPCC (1996) donde los contenidos de carbono en el suelo dependen de factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por cambios en el uso y manejo de la tierra. Así mismo CIESLA (1996) indica que, los bosques son el principal sumidero de CO₂, sin embargo, según algunos estudios la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro,

principalmente por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad. Por otra parte, los bosques húmedos y bosques maduros almacenan más carbono que los bosques de zonas áridas o semiáridas y los bosques jóvenes.

4.2 Contenido de carbono de raíces en cinco zonas del Parque Nacional Tingo María

En el Cuadro 4 se observa la densidad promedio de carbono en las raíces por gradiente altitudinal, mostrando mayor contenido de carbono almacenado en la gradiente 1 550 – 1 650 msnm (59,17 kg/m³), seguido por 1 450 – 1 550 msnm (50,19 kg/m³); y en menor cantidad presenta la gradiente de 950 – 1 050 msnm (8,45 kg/m³), seguido por 750 – 850 msnm (9,66 Kg/m³).

Cuadro 4. Densidad promedio de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María

| Altitud media (msnm) | Contenido De Humedad Promedio (%) | Densidad Promedio De Raíz(Kg/m ³) | Densidad Promedio De Carbono Por Raíz (Kg/m ³) |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 700 | 63,22493027 | 39,6561180 | 17,84525313 |
| 800 | 67,07790549 | 21,4646239 | 9,65908075 |
| 900 | 66,10977083 | 34,0537924 | 15,32420658 |
| 1 000 | 80,68782158 | 18,7856963 | 8,45356337 |
| 1 100 | 84,89316938 | 41,0310333 | 18,46396498 |
| 1 200 | 71,35527719 | 67,3507605 | 30,30784225 |
| 1 300 | 83,15865887 | 24,6815949 | 11,10671773 |
| 1 400 | 75,04445128 | 48,3570880 | 21,76068963 |
| 1 500 | 67,27228122 | 111,5312996 | 50,18908482 |
| 1 600 | 70,69357059 | 131,4991249 | 59,17460618 |
| 1 750 | 67,69862332 | 86,7865092 | 39,05392917 |

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 5 y Figura 5, se observa la mayor cantidad de carbono almacenado en las altitudes de 1 150 a 1 250 msnm (67 212,7580 TnC /altitud), seguido de 1 450 a 1 550 msnm (56 665,4250 TnC /altitud), mientras que nuestros resultados arrojaron menor proporción de carbono almacenado corresponden a las altitudes de 750 a 850 msnm (7 757,9386 TnC/altitud), seguido por la altitud de 650 a 750 msnm (874,6035 TnC /altitud); así mismo, el carbono almacenado en las raíces por superficie, en mayor cantidad presenta la altitud de 1 550 a 1 650 msnm (177,523818 TnC/Ha), seguido por la altitud de 1 450 a 1 550 msnm (150,567254 TnC/Ha); mientras que en menor cantidad de carbono almacenado en raíces se observa en la altitud de 950 a 1 050 msnm (25,360690 TnC/Ha).

Cuadro 5. Contenido de carbono en las raíces por gradiente altitudinal del Parque Nacional Tingo María

| Altitud media (msnm) | Superficie (Has) | Masa total (Tn.) | Tn. Carbono/altitud | Porcentaje (%) | Tn. Carbono/Ha |
|----------------------|------------------|------------------|---------------------|----------------|----------------|
| 700 | 163,34 | 19 432,4524 | 8 744,6035 | 2,51986 | 53,535759 |
| 800 | 267,73 | 17 239,8636 | 7 757,9386 | 2,23554 | 28,977242 |
| 900 | 305,31 | 31 191,1103 | 14 035,9996 | 4,04464 | 45,972619 |
| 1 000 | 406,07 | 22 885,0443 | 10 298,2699 | 2,96757 | 25,360690 |
| 1 100 | 544,21 | 66 988,8606 | 30 144,9872 | 8,68664 | 55,391894 |
| 1 200 | 739,22 | 149 361,6845 | 67 212,7580 | 19,36817 | 90,923526 |
| 1 300 | 689,06 | 51 020,9953 | 22 959,4479 | 6,61604 | 33,320153 |
| 1 400 | 777,60 | 112 807,9345 | 50 763,5705 | 14,62813 | 65,282068 |
| 1 500 | 376,35 | 125 923,1669 | 56 665,4250 | 16,32883 | 150,567254 |
| 1 600 | 311,81 | 123 009,5227 | 55 354,2852 | 15,95100 | 177,523818 |
| 1 750 | 197,07 | 51 310,13663 | 23 089,5614 | 6,65353 | 117,161787 |

Fuente: Elaboración propia

De igual modo la Figura 6, nos visualiza la relación del contenido de carbono en las raíces en función de la altitud del Parque Nacional Tingo María, donde la gradiente 1 200 msnm presenta la mayor relación de carbono/altitud con 67 212,7580 Tn, seguido de la gradiente 1 500 msnm con valores de 125 923,1669 Tn.

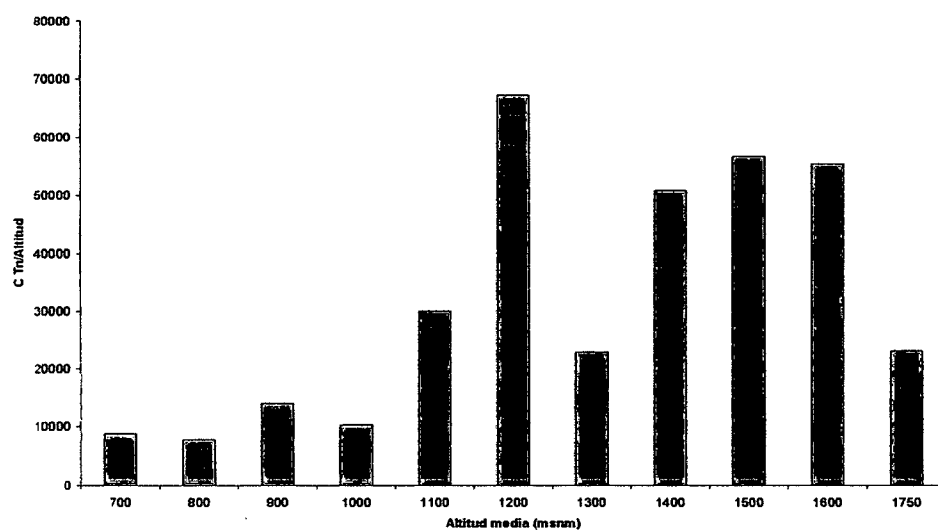


Figura 5. Contenido de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María

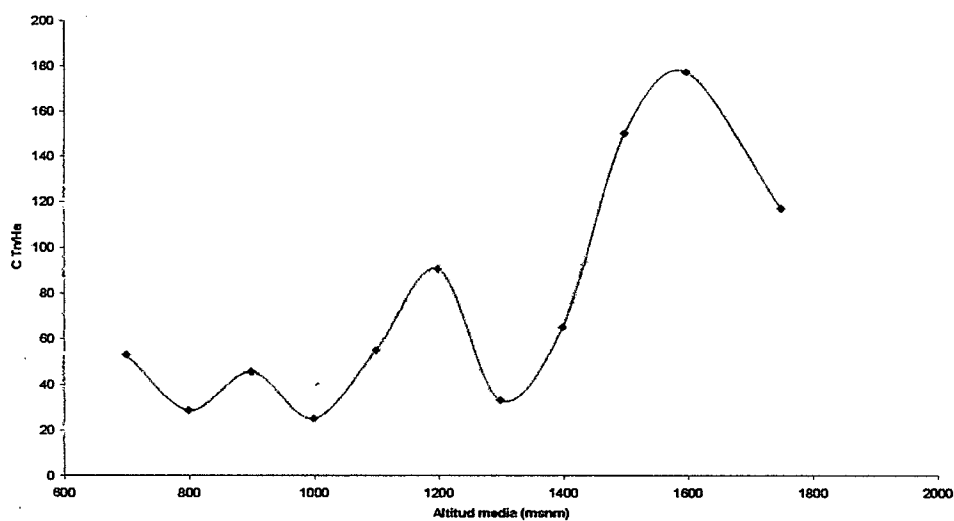


Figura 6. Relación del contenido de carbono en las raíces en función de la altitud del Parque Nacional Tingo María

En la Figura 7, se observa la distribución porcentual de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María, donde de igual modo la gradiente altitudinal 1 200 msnm presenta el mayor porcentaje de carbono en las raíces (19,36817%), seguido de la gradiente 1 500 msnm con 16,32883 %.

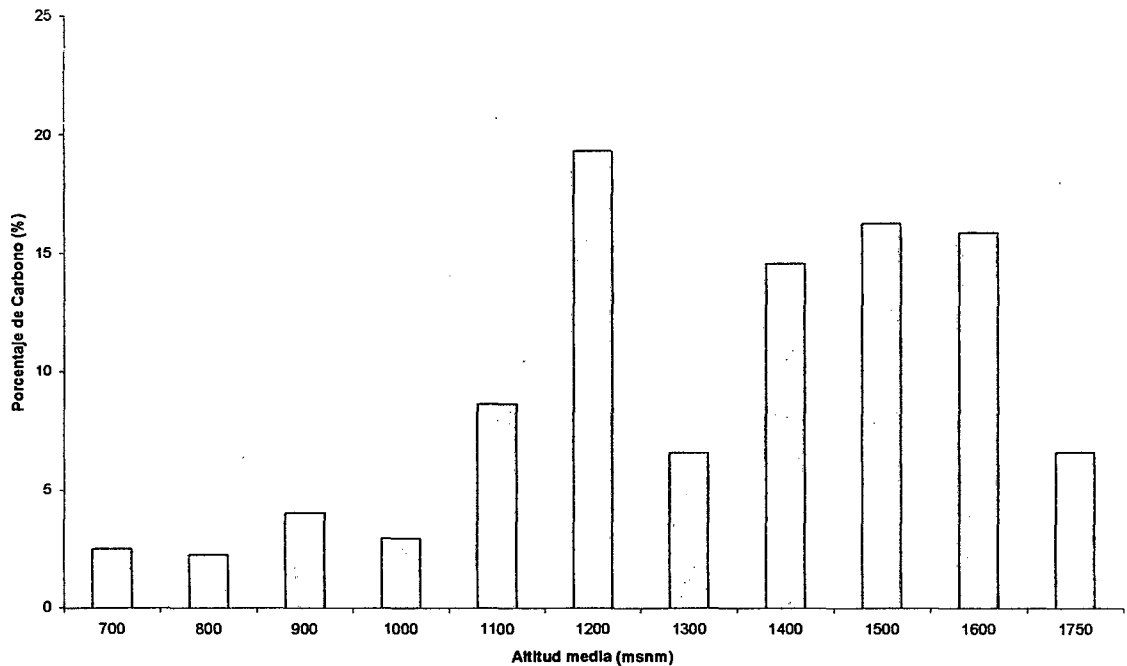


Figura 7. Distribución Porcentual de carbono en las raíces por altitud del Parque Nacional Tingo María

Al respecto RÜGNITZ, CHACÓN Y PORRO (2009) indican que las raíces deben ser colectadas en distintos intervalos de profundidad, teniendo en consideración que raíces de especies vegetales no arbóreas predominan en los primeros 30 cm. GAYOSO (2006), menciona que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque, donde el carbono almacenado en raíces es de 79,92 MTnC/Ha; mientras que para nuestros resultados la mayor cantidad de carbono almacenado fue de 0,18

MTnC/Ha. La FAO (1999) menciona que tales efectos se deben a la gradiente altitudinal y zonas de vida; así como también JANDL (2001) manifiesta que el carbono en raíces está relacionado directamente con la cantidad de individuos de especies forestales. El Parque Nacional Tingo María, por presentar gradientes altitudinales con pendientes fuertes que superan los 45° (PLAN MAESTRO, 2002), la distribución de especies se ve reducida, por especies forestales de estratos bajos a medios.

Por otro lado, es necesario entender los procesos claves que se dan en el suelo y su relación con otros factores como la temperatura, la humedad del suelo, y los nutrientes, que son aspectos determinantes para las variaciones de carbono en los suelos (JANDL, 2003). Además según NASI (2002), un bosque primario cerrado almacena entre suelo y vegetación, cerca de 250 toneladas de carbono por hectárea, en consecuencia no estamos lejos de estos registros logrados en el PNTM, aunque no tenemos los valores de la vegetación, considerando que cada área natural o ecosistema tiene o encierra sus propias características que le hacen diferenciar. La capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, principalmente por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad (CIESLA, 1996).

4.3 Contenido de carbono en la hojarasca en cinco zonas del Parque Nacional Tingo María

El Cuadro 6, nos muestra el contenido de carbono en la hojarasca según las gradientes altitudinales del Parque Nacional Tingo María. Donde muestra que el mayor promedio de kg. de carbono por m² en hojarasca considerando la gradiente altitudinal, presenta 1 350 – 1 450 msnm (0,2886 Kg/m²), seguido de 1 550 – 1 650 msnm (0,2812 Kg/m²), y en menor cantidad de carbono almacenado en hojarasca la gradiente altitudinal 650 – 750 msnm (0,0474 Kg/m²), seguido de 750 – 850 msnm (0,0545 Kg/m²).

Cuadro 6. Contenido de carbono en las hojarascas por altitud del Parque Nacional Tingo María

| Altitud media (msnm) | Contenido de Humedad Promedio (%) | Área de Hojarasca (m ²) | Promedio de Carbono por Hojarasca (Kg/m ²) |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 700 | 37,752207 | 0,25 | 0,0474 |
| 800 | 70,239152 | 0,25 | 0,0545 |
| 900 | 68,801143 | 0,25 | 0,0579 |
| 1 000 | 58,491437 | 0,25 | 0,1705 |
| 1 100 | 72,059614 | 0,25 | 0,1628 |
| 1 200 | 71,931060 | 0,25 | 0,2007 |
| 1 300 | 72,598785 | 0,25 | 0,2001 |
| 1 400 | 56,890222 | 0,25 | 0,2886 |
| 1 500 | 68,738597 | 0,25 | 0,2628 |
| 1 600 | 72,334059 | 0,25 | 0,2812 |
| 1 750 | 68,454363 | 0,25 | 0,2452 |

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 7, muestra el contenido de carbono en la hojarasca según la superficie de cada gradiente altitudinal (Ha) del Parque Nacional Tingo María. Donde la gradiente 1 350 – 1 450 msnm presenta (2 886 Tn de carbono/ha), seguido de 1 550 – 1 650 msnm (2 812 Tn de carbono/ha), y en menor cantidad de carbono almacenado en hojarasca la gradiente altitudinal 650 – 750 msnm (0,474 Kg/m²), seguido de 750 – 850 msnm (0,545 Kg/m²).

Cuadro 7. Contenido de carbono en las hojarascas por superficie del Parque Nacional Tingo María

| Altitud media (msnm) | Superficie (Ha) | Carbono Por Hojarasca (Kg/M2) | Carbono por altitud (Tn) | Porcentaje (%) | Carbono/Ha (Tn) |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| 700 | 163,34 | 0,0474 | 77,50220 | 0,8213 | 0,474 |
| 800 | 267,73 | 0,0545 | 146,04946 | 1,5477 | 0,545 |
| 900 | 305,31 | 0,0579 | 176,77573 | 1,8733 | 0,579 |
| 1 000 | 406,07 | 0,1705 | 692,40986 | 7,3376 | 1,705 |
| 1 100 | 544,21 | 0,1628 | 886,49026 | 9,3943 | 1,628 |
| 1 200 | 739,22 | 0,2007 | 1 483,88658 | 15,7251 | 2,007 |
| 1 300 | 689,06 | 0,2001 | 1 379,25561 | 14,6163 | 2,001 |
| 1 400 | 777,60 | 0,2886 | 2 244,58383 | 23,7864 | 2,886 |
| 1 500 | 376,35 | 0,2628 | 989,21865 | 10,4830 | 2,628 |
| 1 600 | 311,81 | 0,2812 | 876,91874 | 9,2929 | 2,812 |
| 1 750 | 197,07 | 0,2452 | 483,31256 | 5,1217 | 2,452 |

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8, se visualiza claramente la distribución porcentual de carbono en la hojarasca por altitud del Parque Nacional Tingo María, donde la gradiente altitudinal 1 350 – 1 450 msnm presenta los mayores promedios con un valor de 23,7864 % de carbono, seguido de la gradiente 1 250 – 1 350 con

un valor de 15,7251 de carbono almacenado en hojarasca. Así mismo, las gradientes 650 – 750 y 750 – 850 msnm presentan los menores valores de carbono en la hojarasca (0,8213%; 1,5477% respectivamente).

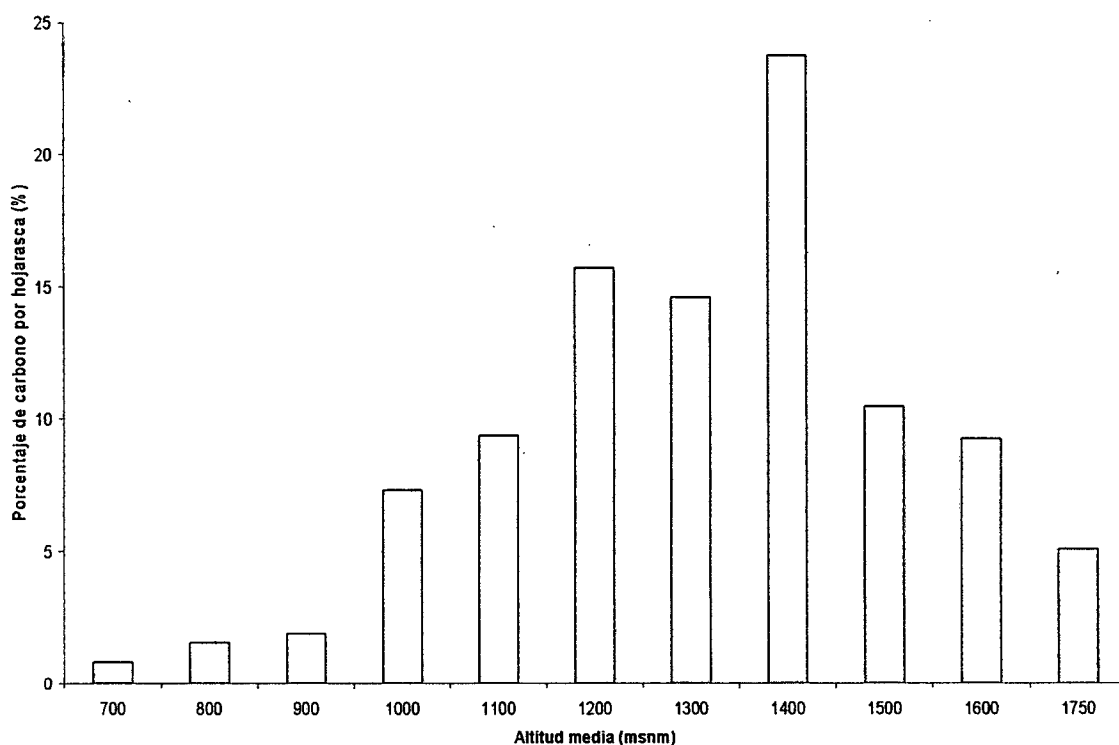


Figura 8. Distribucion Porcentual de carbono en las hojarasca por altitud del Parque Nacional Tingo María

Varios factores favorecen la retención del carbono en el suelo y permiten mayores tasas de recambio y tiempos de residencia; estos incluyen, distribución por debajo de la superficie del suelo, asimilados con bajo contenido de nutrimentos, materiales ricos en lignina y ceras, inundación, bajas temperaturas, texturas arcillosas, alta saturación de bases, agregación y superficies de cargas variables. Los factores que aceleran el flujo hacia el suelo de asimilados de carbono en las plantas son: hojarasca con concentraciones altas de asimilados, asimilados ricos en nutrimentos, carbohidratos, aireación,

altas temperaturas, textura arenosa, acidez y superficies con poca carga (FAO 2000). Asimismo, GAYOSO (2006), menciona que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque, donde el carbono almacenado en hojarasca es de 5,87 MTnC/Ha; mientras que para nuestros resultados se ha obtenido solo de 0,0028 MTnC/Ha; la FAO (1999) menciona que tales efectos se debe al gradiente altitudinal y zonas de vida; así como también JANDL (2001) manifiesta que el carbono en hojarasca está relacionado directamente con la cantidad de individuos de especies forestales. En el Parque Nacional Tingo María, por tener gradientes altitudinales con pendientes fuertes que superan los 45° (PLAN MAESTRO, 2002), la distribución de especies se ve reducida, por la estructura vertical, ya que solo hay especies forestales de estratos bajos a medios.

4.4. Carbono total acumulado por zonas del Parque Nacional Tingo María

En el Cuadro 8, se observa el carbono total acumulado según la altitud del Parque Nacional Tingo María, es decir el carbono tanto en la raíz, la hojarasca y el suelo; donde de igual modo la gradiente altitudinal 1 350 – 1 450 msnm presenta los mayores promedios con un valor de 356 945,933 Tn/Ha de carbono total almacenado, seguido de la gradiente 1 250 – 1 350 con un valor de 286 925,225 Tn/Ha de carbono total almacenado. Así mismo, las gradientes 650 – 750 y 750 – 850 msnm presentan los menores valores totales de carbono almacenado (34 117,039; 36 458,811 Tn/Ha respectivamente).

Cuadro 8, Total de Carbono acumulado por altitud del Parque Nacional Tingo María

| Altitud media (msnm) | Carbono por suelo (Tn/Ha) | Carbono de raíz (Tn/Ha) | Carbono de hojarasca (Tn/Ha) | Total de carbono almacenado (Tn/Ha) | Porcentaje % |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 700 | 25 294,934 | 8744,604 | 77,502 | 34 117,039 | 2,246 |
| 800 | 28 554,823 | 7757,939 | 146,049 | 36 458,811 | 2,400 |
| 900 | 24 689,892 | 1 4036,000 | 176,776 | 38 902,667 | 2,561 |
| 1 000 | 50 217,623 | 10 298,270 | 692,410 | 61 208,303 | 4,029 |
| 1 100 | 55 793,842 | 30 144,987 | 886,490 | 86 825,320 | 5,716 |
| 1 200 | 189 846,869 | 6 7212,758 | 1 483,887 | 258 543,514 | 17,020 |
| 1 300 | 262 586,522 | 22 959,448 | 1 379,256 | 286 925,225 | 18,889 |
| 1 400 | 303 937,779 | 50 763,571 | 2 244,584 | 356 945,933 | 23,498 |
| 1 500 | 132 227,438 | 56 665,425 | 989,219 | 189 882,082 | 12,500 |
| 1 600 | 62 642,841 | 55 354,285 | 876,919 | 118 874,045 | 7,826 |
| 1 750 | 26 765,566 | 23 089,561 | 483,313 | 50 338,440 | 3,314 |

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 9, se observa el carbono total acumulado según la superficie y altitud del Parque Nacional Tingo María, es decir el carbono tanto en la raíz, la hojarasca y el suelo; donde de igual modo la gradiente altitudinal 1 450 – 1 550 msnm presenta los mayores promedios con un valor de 504,541 Tn/Ha de carbono total almacenado, seguido de la gradiente 1 350 – 1 450 con un valor de 459,033 Tn/Ha de carbono total almacenado. Así mismo, las gradientes 850 – 950 y 750 – 850 msnm presentan los menores valores totales de carbono almacenado (127,419; 136,180 Tn/Ha respectivamente).

Cuadro 9, Total de Carbono acumulado/superficie y por altitud del Parque Nacional Tingo María

| Altitud media (msnm) | Carbono por suelo (Tn/Ha) | Carbono en raíz (Tn/Ha) | Carbono en hojarasca (Tn/Ha) | Total de carbono almacenado (Tn/Ha) | Porcentaje % |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 700 | 154,859 | 53,536 | 0,474 | 208,870 | 6,633 |
| 800 | 106,657 | 28,977 | 0,546 | 136,180 | 4,324 |
| 900 | 80,868 | 45,973 | 0,579 | 127,419 | 4,046 |
| 1 000 | 123,667 | 25,361 | 1,705 | 150,733 | 4,786 |
| 1 100 | 102,522 | 55,392 | 1,629 | 159,543 | 5,066 |
| 1 200 | 256,820 | 90,924 | 2,007 | 349,750 | 11,106 |
| 1 300 | 381,082 | 33,320 | 2,002 | 416,403 | 13,223 |
| 1 400 | 390,865 | 65,282 | 2,887 | 459,033 | 14,576 |
| 1 500 | 351,345 | 150,567 | 2,628 | 504,541 | 16,022 |
| 1 600 | 200,899 | 177,524 | 2,812 | 381,235 | 12,106 |
| 1 750 | 135,815 | 117,162 | 2,452 | 255,429 | 8,111 |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 y 10, se observa el carbono total acumulado por altitud y superficie del Parque Nacional Tingo María.

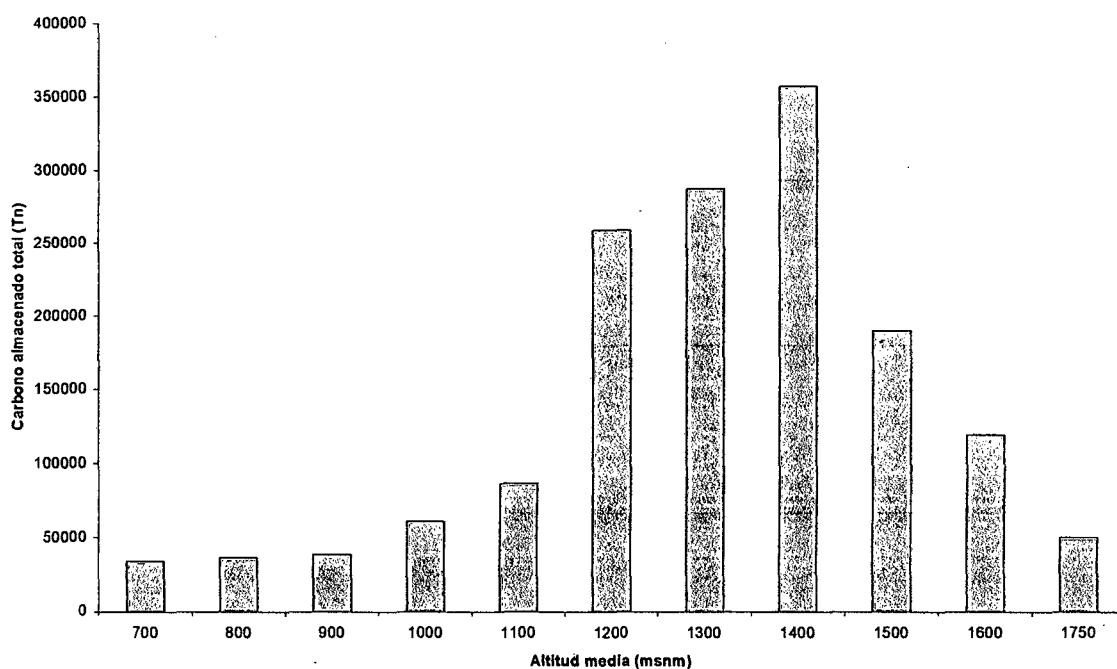


Figura 9. Carbono total acumulado por altitud del Parque Nacional Tingo María

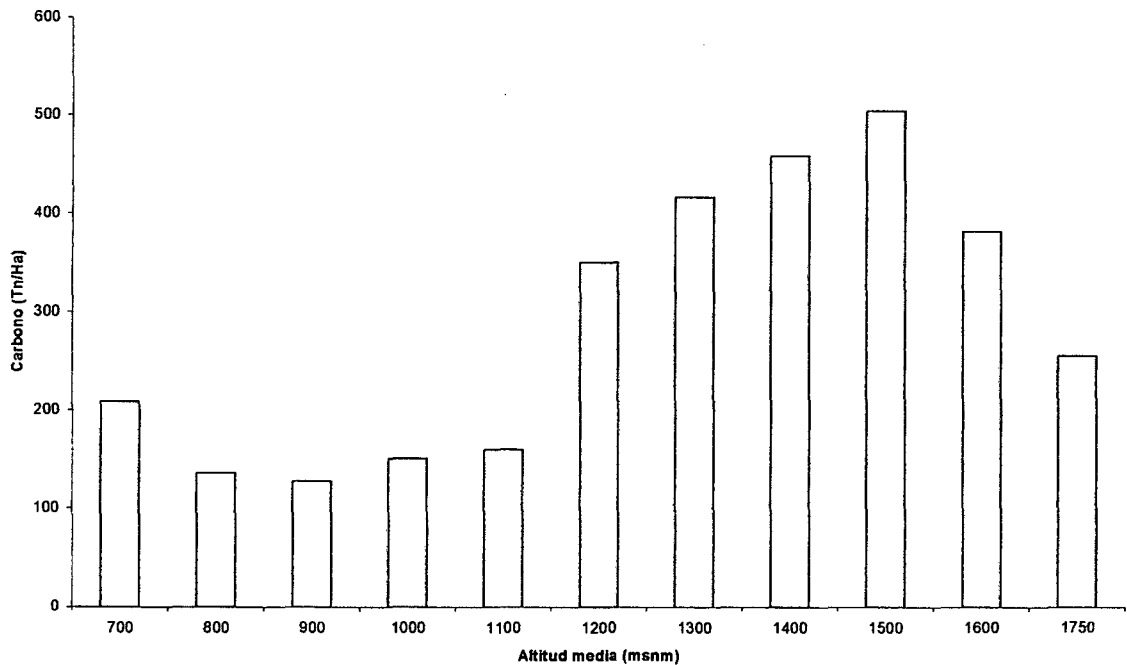


Figura 10. Carbono total acumulado por superficie y por altitud del Parque Nacional Tingo María

Desde el punto de vista de la importancia económica, la creación y manejo de áreas naturales protegidas son importantes como sumideros de carbono, como principal estrategia para promover la conservación de la diversidad biológica y sus servicios ambientales. Se ha comprobado que para el caso de los ecosistemas terrestres mexicanos, la mayor proporción de carbono almacenado se encuentra respectivamente en la vegetación aérea, los suelos y las raíces o vegetación del subsuelo, Esta información es crucial para identificar la importancia de las diversas coberturas forestales en relación con el almacenamiento y captura de carbono, Igualmente resulta importante para estimar el valor económico potencial de tales ecosistemas terrestres como sumideros de carbono y, en particular el de las aéreas naturales protegidas (Maser *et al*, 2001; Ordóñez, 2004; citado por LOPEZ, 2008).

El carbono total almacenado por raíces, suelo, y hojarasca considerando la superficie, en mayor cantidad se presenta en la altitud de 1 450 -1 550 msnm (504,541 TnC/Ha), seguido por la altitud de 1 350 – 1 450 msnm (459,033 TnC/Ha); y en menor cantidad la altitud de 850 – 950 msnm (127,419 TnC/Ha), seguido por la altitud de 750 – 850 msnm (136,180 TnC/Ha),

El Parque Nacional Tingo María por encontrarse en una zona de pendientes fuertes (PLAN MAESTRO, 2002), y una zona con rocas sedimentarias, hace que se vea reducido la capacidad de almacenamiento de carbono (GAYOSO, 2006) ya sea por suelo, hojarasca y raíz, ya que estos son muy dependientes de la vegetación aérea (FAO, 1999).

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó el carbono almacenado del suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María; siendo 1 162,55 MTn el total, y la altitud que presenta mayor almacenamiento de carbono se ubica entre los 1 350 a 1 450 msnm (303,94 MTn de carbono).
2. Se determinó el carbono almacenado de la hojarasca del suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María, siendo 9,44 MTn el total, y la altitud que presenta mayor almacenamiento de carbono está entre los 1 350 a 1 450 msnm (2,24 MTn de carbono).
3. Se determinó el carbono almacenado de las raíces del suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María, siendo 347,026 MTn el total, y la altitud que presenta mayor almacenamiento de carbono se encuentra entre los 1 150 a 1 250 msnm (67,212 MTn de carbono).
4. El carbono total almacenado en el Parque Nacional Tingo María, asciende a 1 518,516 M Tn

VI. RECOMENDACIONES

1. Estimar el almacenamiento y captura de carbono el suelo, hojarasca, y raíces con respecto a los diferentes tipos de coberturas forestales y/o composición florística de la vegetación del Parque Nacional Tingo María.
2. Realizar mediciones de las tendencias con respecto al tiempo del almacenamiento de carbono en el suelo.
3. Estimar el valor económico potencial de los ecosistemas terrestres del Parque Nacional Tingo María, como sumideros de carbono, a fin de generar ventas en el futuro de almacenamiento de carbono por pagos de servicios ambientales.
4. Realizar la estimación de valoración económica del almacenamiento de carbono por el suelo, raíces y hojarasca del parque a fin de que, en el futuro se defina un justiprecio como servicio ambiental.

VII. ABSTRACT

The present work of investigation was carried out from October of 2008 to July of 2009 in the physical area of the National Park Tingo Maria and the laboratories of Forest Chemistry and ground Analysis of the Faculty of Renewable Natural Resources and of the Faculty of Agronomy respectively, of the Agrarian National University of the Forest; with the aim of determining carbon stored in the ground to different altitudes from the National Park Tingo Maria.

The work of field has including before the elaboration of the altitudinal map in order to locate the areas according to the sampling design, X has been divided to the area in 55 grillas of 300m 300m and in each grilla 36 subgrillas of 50m x 50m, according to the obtained altitudes: 650-750; 751-850; 851-950; 951-1 050; 1 051-1 150; 1 151-1 250; 1 251-1 350; 1 351-1 450; 1 451-1 550; 1 551-1 650; and 1 651 to but msnm, altogether do 25 Has by sampling and each sub-parcel of a 0,25 area Has; of which it has been extracted the ground samples, roots and hojarasca of four sectors of the National Park Tingo Maria: Control post (Great Tambillo), Lost River, River Oro and Cuevas of the Lechuzas, The ground sample was extracted with a

muestreador cylinder of introduced well-known volume to a depth of 30 cm and the sample by roots worked to three depths of the ground: superficial ground (0 to 10cm), intermediate ground (20 to 30cm) and ground to deep (50-60cm).

For the determination of ground carbon the calcination method was used, also to obtain carbon in the roots selected of the ground and stones of the volume of the cylinder (ground + stones + roots), was come to weigh them in a digital balance, soon to dry them in the stove to 103°C by 24 - 48 hours (until obtaining constant weight, for it the stove was used), once passed the time it was realised respective heavy of the weights the droughts by the roots, Hojarasca obtained was weighed in a digital balance, soon to be dried in a stove to 103°C by 24 - 48 hours approximately For the determination of ground carbon propose formulas were used by (IPCC, 1996).

The total carbon stored in the ground to different altitudes from the National Park Tingo Maria, is of 1 162,55 MTn; the total carbon stored in hojarasca of the ground to different altitudes from the National Park Tingo Maria, is of 9,44 MTn; and the total carbon stored in the roots of the ground to different altitudes from the National Park Tingo Maria, is of 347,026 MTn.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AVILES H. V., VELASQUEZ M. A., ANGELES P. G., ETCHEVERS B. J. y DE LOS SANTOS P. H. 2009. Variación de almacenes de carbono en suelos de una toposecuencia, *Agrociencia*, Vol, 43, Núm, 5, julio-agosto, 2009. pp, 457-464 Colegio de Postgraduados. México.
- BROWN, S. 1995. Forest resources assessment 1 990 global synthesis. FAO forestry Paper 134, Rome Italy.
- FAO, 1999. Desafíos y Oportunidades para el Sector Forestal en Virtud del Protocolo De Kyoto.
- GAYOSO, J. 2006. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. In *Revista Forestal Iberoamericana* Vol 1, Nº 1. Universidad Austral de Chile.
- INRENA, 1999. Estrategia Nacional para las Áreas Naturales protegidas - Plan Director (D. S. Nº 010-99-AG). 63 p.
- INRENA, 2005. Principios básicos de gestión en Áreas naturales protegidas, Serie Biblioteca del Guardaparque. Lima, Perú, 106 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATRUALES, 2002. Plan Maestro del Parque Nacional Tingo María. Tingo María, Perú.

IPCC. 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report, Summary for Policymakers, This summary, approved in detail at IPCC Plenary XVIII (Wembley, United Kingdom, 24 - 29 September, 34 p, [EN LINEA]: IPC, (<http://www.ipcc.ch/pub/SYRspm.pdf>, documento, 22 de Jul, 2009).

JANDL R. 2001. Medición de Tendencias en el Tiempo del Almacenamiento de Carbono del Suelo, Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Valdivia Chile,

JANDL R. 2006. Secuestro de carbono en Bosques – El Papel del suelo, Revista Forestal Iberoamericana Vol, 1 N° 1, IUFRO, Centro de Investigación Forestal, Viena, Austria, [EN LINEA]: GOOGLE, (<http://www.google.com.pe/search?q=carbono+en+el+suelo&hl=es&Start=40&sa=N>, documento, 15 Oct, 2009).

MARTÍNEZ H. E. FUENTES J.P. Y ACEVEDO H. E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo, Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, Santiago de Chile, Chile, [EN LINEA]: SCIELO, (http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci_arttext, documento, 21 Mar, 2010).

MENA M, E. 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica, [EN LINEA]: CATIE, (<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2929E/A2929E.PDF>, documento, 22 May, 2010).

MINISTERIO DE AGRICULTURA 2001. Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas. D. S. N° 038-2 001-AG.

MINISTERIO DEL AMBIENTE 2008. Ley de Áreas Naturales Protegidas. Compendio de la Legislación Ambiental Peruana, [EN LINEA]: MINAM, (http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=426&Itemid=81, documento, 08 jun, 2010).

NASI R, G WUNDER S. y CAMPOS A. 2002. Servicios de los ecosistemas forestales ¿Podrían ellos pagar para detener la deforestación?. Serie Técnica/ Informe Técnico N° 331. Turrialba, Costa Rica. 41p

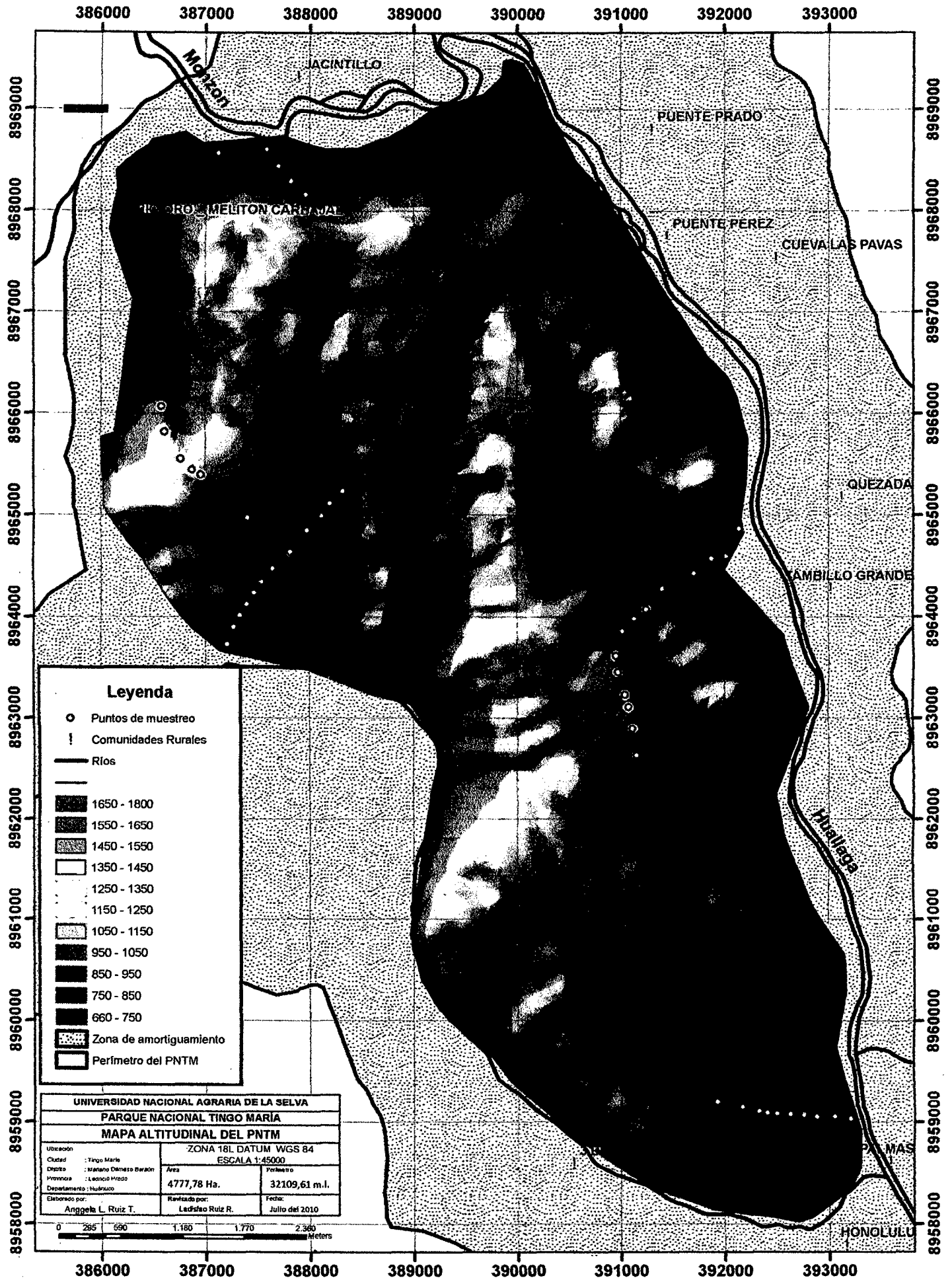
OCHOA G. OBALLOS J. SANCHEZ J. SOSA J. MANRIQUE J. Y VELASQUEZ J. 1999. Variación del carbono orgánico en función de la altitud, Cuenca del rio Santo Domingo, Méridas - Varinas, Venezuela, 87 p, [EN LINEA]: GOOGLE, (http://www.google.com.pe/#hl=es&source=hp&q=OCHOA+G,+%2C+OBALLOS+J,%2C+SANCHEZ+J,%2C+SOSA+J,%2C+MANRIQUE+J,+Y+VELASQUEZ+J,++1999,+Variaci%C3%B3n+del+carbono+org%C3%A1nico+en+funci%C3%B3n+de+la+altitud,+Cuenca+del+rio+santo+domingo,+M%C3%A9ridas+-+Varinas%2C+Venezuela,+87+p,&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=d8133d201fb8562d, documento, 10 May, 2010).

ORDÓÑEZ J. Y MASERA O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático, Madera y Bosques 7(1), 2 001:3-12, Veracruz, México.

- PERU 1999. Congreso de la República, Decreto Supremo, N° 010-99-AG de fecha 11 – 4 – 99. Plan Director. Estrategia Nacional para las Áreas Naturales Protegidas.
- PIMENTEL, F. 1997. Estadística Experimental, 12^{ava} edic. Edit Livraria Novel, Universidad Sao Paulo, Paracicaba. Estado do Sao Paulo-Brasil.
- PINEDA L., ORTIZ C. Y SÁNCHEZ V. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz, Madera y Bosques 11(2):3-14. Veracruz, México.
- PINEDO D. 2005. Comunidades y Áreas Naturales Protegidas en la Amazonia peruana, 9^{na} Conferencia Bienal de la IASCP, Zimbabwe. Junio19-21.
- ROBERT M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra, FAO, Institut National de Recherche Agronomique, Paris, Francia, 77 p. [EN LINEA]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/y2779s/y2779s05.htm>, documento, 12 Set, 2009).
- ROJAS S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina, teca y pochote en los cantones de Hojanca y Nicoya, Guanacaste, UNA, Heredia, Costa Rica, 94 p.
- RÜGNITZ M., CHACÓN M. y PORRO R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales – 1ra. Ed. -- Lima, Perú: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), 79 p.

- SENAYAKE R. y GAMBOA L. 2003. Fortaleciendo las Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestaría Análoga: Sri Lanka y Ecuador, Santa María Huatulco, México, 9 -15 de Noviembre 2 003. 41 p.
- VEGA L. 2008. Importancia económica de las Áreas Naturales Protegidas como sumideros de carbono en México, [EN LINEA]: ECONOMIA, (ttp://www,economia,unam,mx/publicaciones/econinforma/pdfs/360/09eduardovega.pdf, documento, 12 Oct, 2009).
- VENEGAS, S. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada, Universidad Centroamérica, facultad de ciencia, Tecnología y ambiente, Managua – Nicaragua.
- ZAMBRANO A., FRANQUIS F. y INFANTE A. 2004. Emisión y Captura de Carbono en los Suelos en Ecosistemas Forestales, Págs, 11-20, Rev, For, Lat, N° 35/2004.

IX. ANEXO



Anexo 3. Análisis de suelo de acuerdo a gradientes altitudinales en el Parque Nacional Tingo María

Cuadro 9. Análisis de suelo realizado en el laboratorio de análisis de suelo de la UNAS

| Número de Muestra | | CE | ANÁLISIS MECÁNICO | | | | pH | CO ₃ Ca | M,O ₂ | N | P | K ₂ O | CAMBIABLES me/100 g | | | | | | | | % | % |
|-------------------|-------|--------|-------------------|--------|-----------|------------|-----|--------------------|------------------|------|-------|------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|---------|
| Laborat, | Campo | mmh/cm | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura | 1:1 | % | % | % | ppm | kg/ha | CIC | Ca | Mg | K | Na | Al | H | CICe | Bas,Cam | Ac,Camb |
| M01-08 | C1-M1 | | 66,0 | 22,0 | 12,0 | Fo,Ao, | 7,8 | 12,7 | 4,2 | 0,19 | 14,60 | 325 | 12,66 | 8,60 | 2,90 | 1,10 | 0,06 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M02-08 | C1-M2 | | 50,0 | 30,0 | 20,0 | Fo,Ao, | 7,7 | 11,1 | 2,1 | 0,09 | 13,70 | 267 | 10,05 | 6,40 | 2,60 | 1,00 | 0,05 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M03-08 | C2-M1 | | 26,0 | 40,0 | 34,0 | Fo,Ar, | 6,4 | 0,2 | 4,3 | 0,19 | 14,00 | 312 | 7,53 | 4,40 | 2,10 | 1,00 | 0,03 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M04-08 | C2-M2 | | 44,0 | 26,0 | 30,0 | Fo,Ar, | 7,8 | 9,1 | 0,6 | 0,03 | 13,60 | 294 | 11,45 | 7,80 | 2,60 | 1,00 | 0,05 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M05-08 | C3-M1 | | 50,0 | 38,0 | 12,0 | Franco, | 7,7 | 6,1 | 4,1 | 0,18 | 13,50 | 315 | 10,16 | 6,60 | 2,40 | 1,10 | 0,06 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M06-08 | C3-M2 | | 80,0 | 12,0 | 8,0 | Fo,Ao, | 8,2 | 6,4 | 0,5 | 0,02 | 14,00 | 294 | 8,54 | 5,20 | 2,30 | 1,00 | 0,04 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M07-08 | C4-M1 | | 28,0 | 40,0 | 32,0 | Fo,Ar, | 5,3 | | 7,3 | 0,33 | 12,70 | 334 | | 6,00 | 2,40 | | | 0,60 | 0,00 | 9,00 | 93,33 | 6,67 |
| M08-08 | C4-M2 | | 16,0 | 38,0 | 46,0 | Arcillosa, | 4,8 | | 2,7 | 0,12 | 11,00 | 294 | | 4,00 | 1,50 | | | 0,50 | 0,00 | 6,00 | 91,67 | 8,33 |
| M09-08 | C5-M1 | | 30,0 | 46,0 | 24,0 | Franco, | 5,8 | | 7,6 | 0,34 | 14,40 | 309 | 7,25 | 4,00 | 2,10 | 1,10 | 0,05 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M10-08 | C5-M2 | | 22,0 | 44,0 | 34,0 | Fo,Ar, | 6,6 | 0,5 | 2,6 | 0,12 | 13,50 | 267 | 7,84 | 4,60 | 2,20 | 1,00 | 0,04 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M11-08 | C6-M1 | | 32,0 | 48,0 | 20,0 | Franco, | 6,0 | 0,2 | 7,8 | 0,35 | 15,50 | 333 | 7,05 | 4,00 | 1,80 | 1,20 | 0,05 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M12-08 | C6-M2 | | 24,0 | 42,0 | 34,0 | Fo,Ar, | 6,1 | 0,2 | 1,7 | 0,08 | 14,00 | 268 | 7,46 | 4,40 | 2,00 | 1,00 | 0,06 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M13-08 | C7-M1 | | 36,0 | 38,0 | 26,0 | Franco, | 3,8 | | 7,4 | 0,33 | 7,20 | 325 | | 1,30 | 0,40 | | | 8,50 | 8,00 | 18,20 | 9,34 | 90,66 |
| M14-08 | C7-M2 | | 6,0 | 50,0 | 44,0 | Arcillosa, | 4,6 | | 1,2 | 0,05 | 7,00 | 206 | | 1,00 | 0,40 | | | 4,00 | 3,50 | 8,90 | 15,73 | 84,27 |
| M15-08 | C8-M1 | | 16,0 | 40,0 | 44,0 | Arcillosa, | 4,1 | | 3,4 | 0,15 | 8,60 | 122 | | 0,50 | 0,40 | | | 8,00 | 6,50 | 15,40 | 5,84 | 94,16 |
| M16-08 | C8-M1 | | 10,0 | 36,0 | 54,0 | Arcillosa, | 4,3 | | 3,3 | 0,15 | 6,90 | 148 | | 0,40 | 0,40 | | | 6,80 | 4,00 | 11,60 | 6,90 | 93,10 |

Para: % Bases Cambiables= Ca+Mg+K+Na/CICt X 100

Para: % Acides Cambiables= Al+H/CICe X100

| Número de Muestra | | CE | ANÁLISIS MECÁNICO | | | | pH | CO ₂ Ca | M,O, | N | P | K ₂ O | CAMBIABLES me/100 g | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|-------------------|--------|-----------|------------|-----|--------------------|------|------|-------|------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-----------|-----------|
| Laborat, | Campo | mmh/cm | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura | 1:1 | % | % | % | ppm | kg/ha | CIC | Ca | Mg | K | Na | Al | H | CICe | % Bas,Cam | % Ac,Camb |
| M17-08 | C9-M1 | | 26,0 | 38,0 | 36,0 | Fo,Ar, | 4,4 | | 4,7 | 0,21 | 6,20 | 242 | | 2,80 | 0,80 | | | 5,60 | 3,50 | 12,70 | 28,35 | 71,65 |
| M18-08 | C9-M2 | | 16,0 | 34,0 | 50,0 | Arcillosa, | 4,4 | | 1,9 | 0,09 | 5,40 | 221 | | 1,50 | 0,50 | | | 5,00 | 3,50 | 10,50 | 19,05 | 80,95 |
| M19-08 | C10-M0 | | 64,0 | 20,0 | 16,0 | Fo,Ao, | 5,8 | | 8,1 | 0,36 | 9,40 | 400 | 8,54 | 5,20 | 2,30 | 1,00 | 0,04 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M20-08 | C10-M1 | | 32,0 | 42,0 | 26,0 | Franco, | 4,9 | | 4,2 | 0,19 | 6,70 | 325 | | 240 | 0,40 | | | 1,30 | 0,50 | 4,60 | 60,87 | 39,13 |
| M21-08 | C11-M1 | | 66,0 | 18,0 | 16,0 | Fo,Ao, | 4,9 | | 5,4 | 0,24 | 6,20 | 243 | | 2,50 | 0,50 | | | 1,00 | 0,00 | 4,00 | 75,00 | 25,00 |
| M22-08 | C11-M2 | | 50,0 | 27,0 | 23,0 | Fo,Ao, | 5,4 | | 3,0 | 0,14 | 7,50 | 232 | | 2,60 | 1,00 | | | 1,30 | 0,30 | 5,20 | 69,23 | 30,77 |
| M23-08 | C12-M1 | | 56,0 | 31,0 | 13,0 | Fo,Ao, | 7,1 | 7,6 | 4,3 | 0,19 | 15,10 | 316 | 8,54 | 5,20 | 2,30 | 1,00 | 0,04 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M24-08 | C12-M2 | | 72,0 | 19,0 | 9,0 | Fo,Ao, | 6,9 | 0,6 | 7,9 | 0,36 | 13,60 | 324 | 8,54 | 5,20 | 2,30 | 1,00 | 0,04 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M25-08 | C13-M1 | | 64,0 | 19,0 | 17,0 | Fo,Ao, | 5,2 | | 5,0 | 0,23 | 11,70 | 256 | | 2,60 | 0,60 | | | 4,20 | 1,70 | 9,10 | 35,16 | 64,84 |
| M26-08 | C13-M2 | | 52,0 | 21,0 | 27,0 | Fo,Ao, | 6,2 | 0,2 | 2,3 | 0,10 | 10,40 | 309 | 7,84 | 4,60 | 2,20 | 1,00 | 0,04 | | | | 100,00 | 0,00 |
| M27-08 | C14-M1 | | 38,0 | 38,0 | 24,0 | Franco, | 3,9 | | 5,4 | 0,24 | 9,80 | 337 | | 1,00 | 0,30 | | | 3,60 | 2,00 | 6,90 | 18,84 | 81,16 |
| M28-08 | C14-M2 | | 32,0 | 44,0 | 24,0 | Franco, | 4,5 | | 2,3 | 0,10 | 8,20 | 159 | | 1,60 | 0,70 | | | 4,50 | 3,50 | 10,30 | 22,33 | 77,67 |
| M29-08 | C15-M1 | | 36,0 | 34,0 | 30,0 | Fo,Ar, | 4,1 | | 4,2 | 0,19 | 7,50 | 167 | | 1,20 | 0,50 | | | 3,50 | 1,50 | 6,70 | 25,37 | 74,63 |
| M30-08 | C15-M2 | | 36,0 | 30,0 | 34,0 | Fo,Ar, | 4,6 | | 2,1 | 0,09 | 5,50 | 136 | | 1,30 | 0,20 | | | 5,40 | 3,00 | 9,90 | 15,15 | 84,85 |
| M31-08 | C16-M1 | | 56,0 | 26,0 | 18,0 | Fo,Ar,Ao, | 5,2 | | 5,1 | 0,23 | 10,40 | 187 | | 3,60 | 1,60 | | | 1,00 | 0,00 | 6,20 | 83,87 | 16,13 |
| M32-08 | C16-M2 | | 56,0 | 24,0 | 20,0 | Fo,Ar,Ao, | 4,7 | | 3,6 | 0,16 | 7,40 | 232 | | 1,80 | 0,50 | | | 2,00 | 0,50 | 4,80 | 47,92 | 52,08 |

Cuadro 10. Análisis del suelo de acuerdo a las gradientes altitudinales en el Parque Nacional Tingo María

| Altitud (msnm) | Repetición | CODIGO | %MO | C (%) | pH | N % |
|----------------|------------|--------|------|-------|-----|------|
| 650-750 | 1 | C1-M1 | 4,2 | 2,10 | 7,8 | 0,19 |
| 650-750 | 2 | C13-M1 | 5,0 | 2,50 | 5,2 | 0,23 |
| 650-750 | 3 | C15-M1 | 4,2 | 2,10 | 4,1 | 0,19 |
| 750-850 | 1 | C2-M1 | 4,3 | 2,50 | 6,4 | 0,19 |
| 750-850 | 2 | C14-M1 | 5,4 | 2,70 | 3,9 | 0,24 |
| 750-850 | 3 | C17-M1 | 6,2 | 3,10 | 5,2 | 0,28 |
| 850-950 | 1 | C3-M1 | 4,1 | 2,05 | 7,7 | 0,18 |
| 850-950 | 2 | C16-M1 | 5,1 | 2,55 | 5,2 | 0,23 |
| 850-950 | 3 | C18-M0 | 3,0 | 1,50 | 5,1 | 0,14 |
| 950-1 050 | 1 | C4-M1 | 7,3 | 3,65 | 5,3 | 0,33 |
| 950-1 050 | 2 | C19-M1 | 3,8 | 1,90 | 7,4 | 0,17 |
| 950-1 050 | 3 | C20-M1 | 8,6 | 4,30 | 6,9 | 0,39 |
| 1 050-1 150 | 1 | C5-M1 | 7,6 | 3,80 | 5,8 | 0,34 |
| 1 050-1 150 | 2 | C21-M1 | 5,3 | 2,65 | 6,6 | 0,24 |
| 1 050-1 150 | 3 | C22-M1 | 5,1 | 2,55 | 5,3 | 0,23 |
| 1 050-1 150 | 4 | HO-C1 | 4,0 | 2,30 | 6,7 | 0,18 |
| 1 150-1 250 | 1 | C6-M1 | 7,8 | 3,90 | 6,0 | 0,35 |
| 1 150-1 250 | 2 | C23-M1 | 5,8 | 2,90 | 5,6 | 0,26 |
| 1 150-1 250 | 3 | C24-M1 | 8,5 | 4,25 | 6,2 | 0,38 |
| 1 150-1 250 | 4 | HO-C2 | 21,1 | 12,20 | 6,5 | 0,95 |
| 1 250-1 350 | 1 | C7-M1 | 7,4 | 3,70 | 3,8 | 0,33 |
| 1 250-1 350 | 2 | C25-M0 | 8,0 | 4,00 | 4,8 | 0,36 |
| 1 250-1 350 | 3 | HO-C3 | 26,4 | 15,30 | 6,5 | 1,19 |
| 1 250-1 350 | 4 | HO-C15 | 17,1 | 9,90 | 6,5 | 0,77 |
| 1 250-1 350 | 5 | HO-C16 | 6,6 | 3,80 | 4,6 | 0,30 |
| 1 250-1 350 | 6 | HO-C18 | 25,1 | 14,50 | 6,2 | 1,13 |
| 1 350-1 450 | 1 | C8-M1 | 3,4 | 1,70 | 4,1 | 0,15 |
| 1 350-1 450 | 2 | HO-C4 | 14,5 | 8,40 | 6,7 | 0,65 |
| 1 350-1 450 | 3 | HO-C13 | 2,7 | 13,80 | 6,5 | 1,07 |
| 1 350-1 450 | 4 | HO-C14 | 17,1 | 9,90 | 6,7 | 0,77 |
| 1 350-1 450 | 5 | HO-C17 | 7,9 | 4,60 | 3,7 | 0,36 |
| 1 350-1 450 | 6 | HO-C19 | 13,2 | 7,70 | 4,5 | 0,59 |
| 1 350-1 450 | 7 | HO-C21 | 33,0 | 19,10 | 3,4 | 1,49 |
| 1 450-1 550 | 1 | C9-M1 | 4,7 | 2,35 | 4,4 | 0,21 |
| 1 450-1 550 | 2 | HO-C5 | 19,8 | 11,50 | 6,5 | 0,89 |
| 1 450-1 550 | 3 | HO-C11 | 13,2 | 7,60 | 6,5 | 0,59 |
| 1 450-1 550 | 4 | HO-C12 | 17,1 | 9,90 | 6,5 | 0,77 |
| 1 450-1 550 | 5 | HO-C20 | 14,5 | 8,40 | 4,7 | 0,65 |
| 1 450-1 550 | 6 | HO-C22 | 29,0 | 16,80 | 4,6 | 1,31 |
| 1 550-1 650 | 1 | C10-M0 | 8,1 | 4,05 | 5,8 | 0,36 |
| 1 550-1 650 | 2 | HO-C6 | 4,0 | 2,30 | 6,5 | 0,18 |
| 1 550-1 650 | 3 | HO-C9 | 13,2 | 7,60 | 6,5 | 0,59 |
| 1 550-1 650 | 4 | HO-C10 | 14,5 | 8,40 | 6,7 | 0,65 |
| 1 650-1 800 | 1 | C11-M1 | 5,4 | 2,70 | 4,9 | 0,24 |
| 1 650-1 800 | 2 | C12-M2 | 7,9 | 3,95 | 6,9 | 0,36 |
| 1 650-1 800 | 3 | HO-C7 | 4,0 | 2,30 | 6,7 | 0,18 |
| 1 650-1 800 | 4 | HO-C8 | 11,9 | 6,90 | 6,5 | 0,54 |

Anexo 4. Pesos de raíces obtenidos en el Parque Nacional Tingo María

Cuadro 11. Peso fresco y seco de las raíces extraídas del Parque Nacional Tingo María

| Altitudes (msnm) | PESO DE LAS RAÍCES | | | | | |
|------------------|--------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | PESO FRESCO | | | PESO SECO | | |
| | R11 | R12 | R13 | R12 | R22 | R32 |
| 650-750 | 6,43 | 12,40 | 9,12 | 1,19 | 6,13 | 3,86 |
| 750-850 | 7,25 | 8,12 | 4,50 | 1,35 | 2,52 | 2,21 |
| 850-950 | 10,08 | 9,85 | 8,98 | 2,25 | 3,56 | 3,88 |
| 950-1 050 | 10,54 | 5,22 | 7,71 | 3,13 | 0,16 | 1,94 |
| 1 050-1 150 | 30,72 | 22,32 | 25,35 | 2,97 | 4,36 | 4,08 |
| 1 150-1 250 | 22,80 | 23,50 | 20,95 | 6,12 | 5,90 | 7,12 |
| 1 250-1 350 | 18,26 | 10,81 | 14,12 | 2,47 | 2,23 | 2,31 |
| 1 350-1 450 | 17,52 | 16,89 | 20,20 | 3,12 | 4,52 | 6,12 |
| 1 450-1 550 | 32,50 | 33,60 | 29,80 | 10,25 | 11,14 | 9,98 |
| 1 550-1 650 | 35,15 | 40,12 | 51,20 | 10,89 | 12,50 | 13,20 |
| 1 650-1 800 | 37,47 | 15,44 | 21,45 | 12,44 | 3,37 | 8,98 |

R: Repeticiones

Anexo 5. Pesos de hojarasca obtenidos en el Parque Nacional Tingo María

Cuadro 12. Peso fresco y seco de las hojarascas extraídas del Parque Nacional Tingo María

| Altitudes (msnm) | PESO DE LAS HOJARASCAS | | | | | |
|------------------|------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | PESO FRESCO | | | PESO SECO | | |
| | R11 | R12 | R13 | R12 | R22 | R32 |
| 650-750 | 125,34 | 24,30 | 23,36 | 42,71 | 18,27 | 18,10 |
| 750-850 | 121,55 | 88,60 | 78,90 | 49,12 | 29,60 | 12,20 |
| 850-950 | 89,56 | 102,80 | 126,50 | 35,60 | 31,30 | 29,60 |
| 950-1 050 | 246,81 | 205,18 | 251,48 | 67,49 | 122,71 | 93,99 |
| 1 050-1 150 | 376,05 | 285,57 | 320,38 | 87,80 | 82,48 | 101,21 |
| 1 150-1 250 | 400,56 | 385,70 | 405,89 | 100,56 | 112,50 | 121,50 |
| 1 250-1 350 | 412,89 | 428,60 | 375,60 | 121,56 | 112,20 | 99,85 |
| 1 350-1 450 | 411,49 | 268,25 | 426,66 | 174,82 | 108,82 | 197,45 |
| 1 450-1 550 | 458,60 | 438,60 | 514,10 | 142,50 | 155,80 | 139,78 |
| 1 550-1 650 | 512,80 | 603,50 | 589,45 | 160,52 | 149,60 | 158,60 |
| 1 650-1 800 | 523,55 | 359,03 | 424,47 | 150,60 | 117,77 | 140,37 |

R: Repeticiones

Anexo 6. Coordenadas del muestreo

Cuadro 13. Coordenadas de los puntos de muestreo

| Nº | ESTE | NORTE |
|------|--------|---------|
| V-1 | 387209 | 8963721 |
| V-2 | 387269 | 8963893 |
| V-3 | 387328 | 8964013 |
| V-4 | 387394 | 8964120 |
| V-5 | 387465 | 8964233 |
| V-6 | 387537 | 8964340 |
| V-7 | 387644 | 8964471 |
| V-8 | 387400 | 8964971 |
| V-9 | 387817 | 8964638 |
| V-10 | 387978 | 8964846 |
| V-11 | 388115 | 8964989 |
| V-12 | 388204 | 8965114 |
| V-13 | 388323 | 8965234 |
| V-14 | 392141 | 8964864 |
| V-15 | 392015 | 8964596 |
| V-16 | 391879 | 8964572 |
| V-17 | 391712 | 8964424 |
| V-18 | 391396 | 8964275 |
| V-19 | 391247 | 8964072 |
| V-20 | 391128 | 8963977 |
| V-21 | 391015 | 8963852 |
| V-22 | 390949 | 8963608 |
| V-23 | 391039 | 8963226 |
| V-24 | 391074 | 8963107 |
| V-25 | 391110 | 8962893 |
| V-26 | 391152 | 8962631 |
| V-27 | 390973 | 8963447 |
| V-28 | 393207 | 8959028 |
| V-29 | 393052 | 8959052 |
| V-30 | 392879 | 8959052 |
| V-31 | 392754 | 8959069 |
| V-32 | 392623 | 8959075 |
| V-33 | 392492 | 8959081 |
| V-34 | 392325 | 8959105 |
| V-35 | 392164 | 8959147 |
| V-36 | 391920 | 8959194 |
| V-37 | 387120 | 8968569 |
| V-38 | 387698 | 8968438 |
| V-39 | 387817 | 8968289 |
| V-40 | 387960 | 8968158 |
| V-41 | 386584 | 8966067 |
| V-42 | 386614 | 8965817 |
| V-43 | 386763 | 8965549 |
| V-44 | 386876 | 8965442 |
| V-45 | 386959 | 8965394 |
| V-46 | 392403 | 8959087 |
| V-47 | 387584 | 8968604 |

Anexo 7



Figura 11. Fisiografía accidentada de la parte alta del PNTM



Figura 12. Calicata para el muestreo de suelo y de raíces

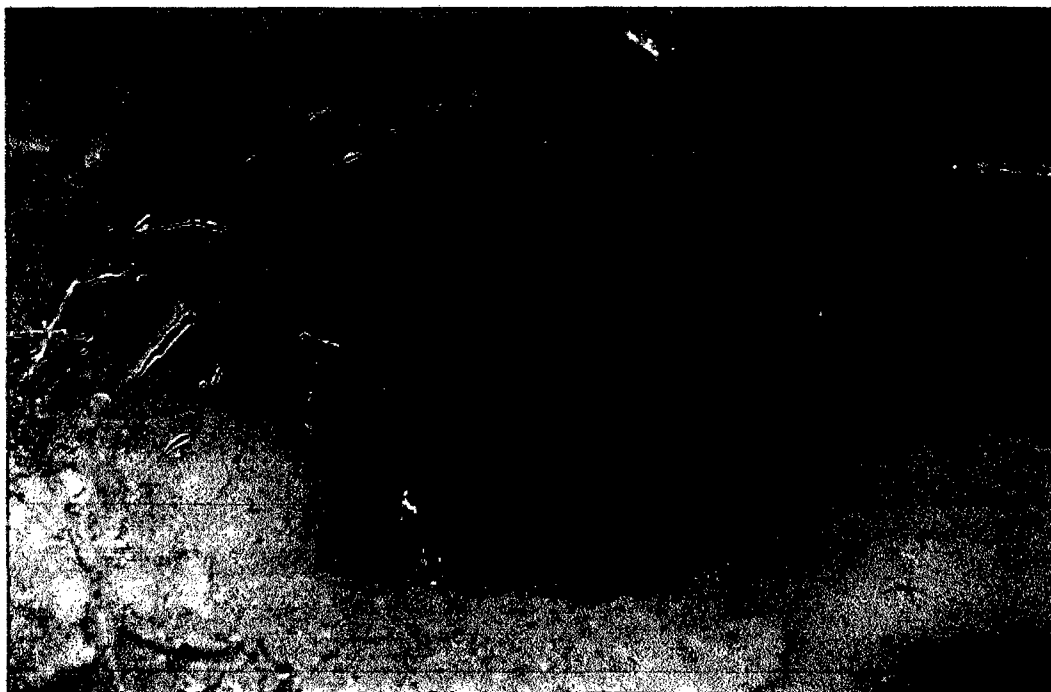


Figura 13. Muestreo de suelo y raíces

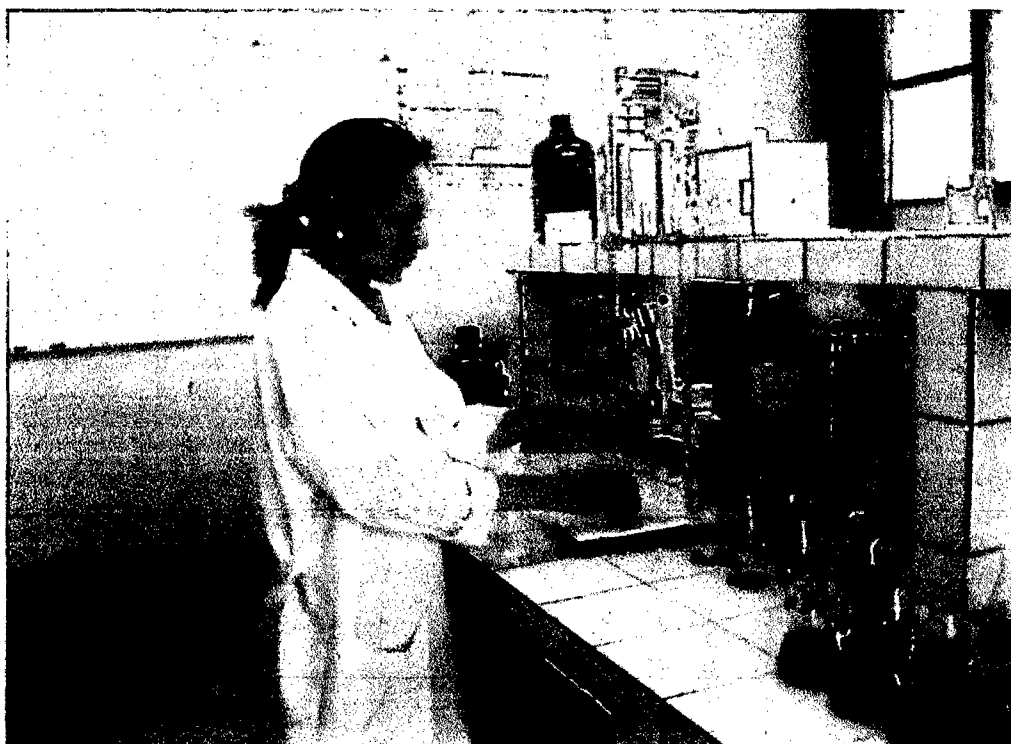


Figura 14. Análisis de suelo, raíces y hojarasca en el laboratorio