

5592.6
N535

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES DE POSTGRADO

**RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD DEL BOSQUE Y EL
CONTENIDO DE NITRÓGENO Y LA TEXTURA DEL SUELO EN VARIAS ZONAS
DE VIDA DE VENEZUELA**

www.bdigital.ula.ve

Autor : Ing. For. Narsizo Bello Quintero

Profesor tutor: Dr. Armando Torres Lezama

Asesores: Dr. Wilfredo Franco

M.Sc. Mauricio Jerez



**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister Scientiae en el
Programa Manejo de Bosques**



Mérida - Venezuela

Mayo, 1998

DEDICATORIA:

A Sorcireth

A Sorcellina

A mis padres

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS:

Al Servicio Forestal Venezolano (SEFORVEN), por brindarme esta oportunidad.

Al Centro de Estudios Forestales de Postgrado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, en donde realicé mis estudios.

Al convenio cooperativo entre el Instituto de Silvicultura, Universidad de Los Andes y el Departamento de Forestal, Universidad de Illinois, por su cooperación y soporte económico.

Al macro proyecto Productividad y Balance Global del Carbono en varias zonas de vida de Venezuela, en cuyo marco se desarrolló esta investigación.

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (C.D.C.H.T.) de la Universidad de Los Andes por su contribución económica.

Al profesor Dr. Armando Torres Lezama por su conducción, ayuda y consejo oportuno que me permitieron orientar correctamente el presente trabajo.

A la Dra. Sandra Brown, Dr. Wilfredo Franco y M.Sc. Mauricio Jerez por su asesoría en la elaboración del trabajo.

A Matt Delaney por su colaboración en la realización de los análisis químicos.

A los profesores M. Sc. Hirma Ramírez y Alí D' Jesús, quienes compartieron algunas ideas para mejorar la presente investigación.

Al Perito Forestal Julio Serrano, por su colaboración en la recolección de los datos de campo y contribución a procesar parte de los mismos.

Al Perito Forestal Pedro Salcedo, también, por su cooperación en la recolección de los datos de campo y el traslado a los diferentes sitios de trabajo.

Finalmente a todos aquellos que de alguna u otra forma contribuyeron en la finalización de esta investigación, muchas gracias.

RESUMEN

Análisis de textura, contenido de materia orgánica y nitrógeno del suelo fueron realizados en 24 parcelas permanentes de crecimiento, en seis zonas de vida de Venezuela para estudiar su interacción con la productividad del bosque. Suelos con textura media a fina (arcilla entre 30 y 50 %, limo en 40 y 50 % y la arena menor del 30%) fueron encontrados en las parcelas del be-T, bms-T, bs-T (Caimital) y bh-MB y suelos con textura media a gruesa (arcilla menor del 30 %, el limo y la arena entre 30 y 50%.) para los bs-T (Ticoporó), bh-T y bh-M. El promedio de carbono fue de 3,22 %, variando entre 1,04 y 8,86 %, y del N en 0,16 %, oscilando entre 0,05 y 0,35 % y la relación C/N se ubicó entre 9 y 40. El bh-T del Km. 92, presentó la mayor productividad promedio, con 3,83 t·ha⁻¹·año⁻¹, disminuyendo en los bs-T de Caimital (2,86 t·ha⁻¹·año⁻¹), bh-T de Río Grande (2,64 t·ha⁻¹·año⁻¹), bms-T del Cerro El Coco (2,33 t·ha⁻¹·año⁻¹), bh-M de la Mucuy (2,09 t·ha⁻¹·año⁻¹), be-T de Caujarao (-0,01 t·ha⁻¹·año⁻¹) y por último el bh-MB de la Carbonera (-0,43 t·ha⁻¹·año⁻¹). El contenido de nitrógeno a una profundidad de 25 - 50 cm correlacionó significativamente con la productividad, particularmente con los árboles de diámetro entre 10 y 30 cm; los coeficientes de correlación (r) fueron de 0,519 para lineal simple y para el parcial 0,346. El contenido de arena a una profundidad de 25 - 50 cm mostró asociación parcial significativa (r = -0,713) con la productividad para la categoría diamétrica 10 - 30 cm, mientras que el limo correlacionó parcial y significativamente (r = -0,711) con la productividad, en la categoría diamétrica 10 - 30 cm y por último la arcilla, y a una profundidad de 0 - 25 cm exhibió asociación lineal significativa positiva (r = 0,526) y negativa (r = -0,561) con la productividad de las categorías diamétricas 10 - 30 y 30 - 50 cm, respectivamente. Parcialmente y a una profundidad de 0 - 25 cm correlacionó (r = 0,538) con la productividad en la categoría diamétrica 70 - 90 cm.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1. BIOMASA Y PRODUCTIVIDAD | 4 |
| 2.2. MÉTODOS USADOS PARA MEDIR LA PRODUCTIVIDAD..... | 4 |
| 2.2.1. MÉTODO DE APROVECHAMIENTO | 4 |
| 2.2.2. MÉTODO DEL ÁRBOL PROMEDIO | 5 |
| 2.2.3. MÉTODO DE ESTRATIFICACIÓN ARBÓREA..... | 5 |
| 2.2.4. MÉTODO DE ÁREA BASAL PROPORCIONAL..... | 5 |
| 2.2.5. MEDICIÓN DIRECTA DE FOTOSÍNTESIS Y RESPIRACIÓN | 6 |
| 2.2.6. TÉCNICA DE ESTIMACIÓN POR EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN | 7 |
| 2.3. INTRODUCCIÓN AL CICLO DEL NITRÓGENO | 11 |
| 2.4. MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO | 11 |
| 2.5. NITRIFICACIÓN..... | 13 |
| 2.6. FACTORES QUE AFECTAN LA NITRIFICACIÓN | 14 |
| 2.6.1. ACIDEZ..... | 14 |
| 2.6.2. AIREACIÓN..... | 14 |
| 2.6.3. HUMEDAD..... | 14 |
| 2.6.4. TEMPERATURA..... | 14 |
| 2.7. RELACIÓN NITRÓGENO - PLANTA..... | 15 |
| 2.8. RELACIÓN TEXTURA - PLANTA..... | 18 |
| III. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO..... | 20 |
| 3.1. BOSQUE ESPINOSO TROPICAL (be-T) | 20 |
| 3.2. BOSQUE MUY SECO TROPICAL (bms-T)..... | 23 |
| 3.3. BOSQUE SECO TROPICAL (bs-T)..... | 23 |
| 3.4. BOSQUE HÚMEDO TROPICAL (bh-T)..... | 25 |
| 3.5. BOSQUE HÚMEDO MONTANO BAJO (bh-MB) | 25 |
| 3.6. BOSQUE HÚMEDO MONTANO (bh-M) | 26 |
| IV. METODOLOGÍA..... | 27 |
| 4.1. DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD..... | 27 |
| 4.2. ESTUDIO DE SUELOS..... | 28 |
| 4.2.1. MUESTREO DE SUELOS PARA EL ANÁLISIS QUÍMICO..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2. MUESTREO Y DESCRIPCIÓN DE CALICATAS | 29 |
| 4.2.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO..... | 30 |
| 4.2.3.1. TEXTURA..... | 30 |
| 4.2.3.2. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO Y CARBONO | 30 |
| 4.3. MANEJO DE DATOS E INTERPRETACIÓN | 31 |
| V. RESULTADOS | 33 |
| 5.1. TEXTURA DE LOS SUELOS | 33 |
| 5.2. TEXTURA DE LOS SUELOS A UNA PROFUNDIDAD DE 0 - 50 CM..... | 40 |
| 5.3. MATERIA ORGÁNICA (M.O.), NITRÓGENO (N) Y RELACIÓN C/N..... | 40 |
| 5.4. RESERVAS DE MATERIA ORGÁNICA Y NITRÓGENO POR SITIOS DE ESTUDIO..... | 43 |
| 5.5. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL NITRÓGENO EN EL SUELO..... | 45 |
| 5.6. PATRÓN DE VARIACIÓN INTERANUAL DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS BOSQUES TROPICALES VENEZOLANOS | 45 |
| 5.7. RELACIONES ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO, ARENA, LIMO Y ARCILLA DEL SUELO..... | 51 |
| 5.7.1. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SUELO..... | 51 |
| 5.7.2. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE ARENA EN EL SUELO..... | 55 |
| 5.7.3. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE LIMO EN EL SUELO | 55 |
| 5.7.4. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE ARCILLA EN EL SUELO..... | 56 |
| VI. DISCUSIÓN..... | 57 |
| 6.1. FACTORES REGULADORES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO..... | 57 |
| 6.2. FACTORES QUE REGULAN EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SUELO | 59 |
| 6.3. ALGUNOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCTIVIDAD DEL BOSQUE | 60 |
| VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 63 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 66 |
| ANEXOS | 73 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| 1. Análisis textural de los suelos por horizontes apreciables en parcelas ubicadas en las diferentes zonas de vida | 34 |
| 2. Análisis textural de los suelos a una profundidad de 0 - 50 cm por parcelas en las diferentes zonas de vida | 41 |
| 3. Reserva de materia orgánica y nitrógeno por sitios de estudios | 44 |
| 4. Análisis de correlación lineal simple entre la productividad del bosque por clases diamétricas y todas las clases el contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla del suelo a dos profundidades | 52 |
| 5. Análisis de correlación lineal parcial entre la productividad por clases diamétricas y todas las clases y el contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla del suelo a dos profundidades | 53 |
| 6. Algunos estadísticos descriptivos para la productividad del bosque por clases diamétricas para todo el grupo de especies, nitrógeno, arena, limo y arcilla del suelo a dos profundidades | 54 |

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Ubicación relativa de las parcelas de crecimiento | 21 |
| 2. | Variación de la temperatura promedio y la pluviosidad media anual por zonas de vida | 22 |
| 3. | Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en las diferentes zonas de vida be-T y bms-T | 36 |
| 4. | Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en la zona de vida bs-T | 37 |
| 5. | Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en la zona de vida bh-T | 38 |
| 6. | Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en las zona de vida bh-MB y bh-M | 39 |
| 7. | Contenido de materia orgánica y nitrógeno, y relación C/N por zonas de vida a una profundidad de 0 - 50 cm | 42 |
| 8. | Variación del contenido de nitrógeno en el suelo con la profundidad en las zonas de vida be-T, bms-T y bs-T | 46 |
| 9. | Variación del contenido de nitrógeno en el suelo con la profundidad en las zonas de vida bh-T, bh-MB y bh-M | 47 |
| 10. | Variación interanual de la productividad y del número de árboles promedio por hectárea del bosque natural en las zonas de vida be-T, bms-T y bs-T ... | 48 |
| 11. | Variación interanual de la productividad y del número de árboles promedio por hectárea del bosque natural en las zonas de vida bh-T, bh-MB y bh-M .. | 49 |

I. INTRODUCCIÓN

Es bien conocida la enorme importancia que tiene el suelo mineral como sustrato de la vegetación, representando la fuente principal de los nutrientes requeridos para su crecimiento. El contenido de nitrógeno (N), especialmente, un elemento esencial en la nutrición de las plantas. La disminución de la disponibilidad del mismo en el suelo se refleja en la baja productividad de la masa forestal (Axelson, 1986; Binkley, 1991; Martin *et al.*, 1991; Paul y Clark, 1989; Parker *et al.*, 1984 y Payne, 1993). Su papel como limitante del crecimiento del bosque ha sido demostrado por ejemplo, en Hawaii, Vitousek *et al.* (1987) encontraron que al aplicar N al suelo, los fustes de los árboles respondían con un incremento diamétrico, y en Jamaica y Venezuela Tanner *et al.* (1990 y 1992), también lo demostraron.

Otra característica del suelo que afecta el buen desarrollo del bosque es la textura, ya que esta influye en la permeabilidad, el intercambio catiónico y la porosidad del suelo, factores que a su vez determinan la actividad de los microorganismos descomponedores de restos orgánicos (Childs *et al.*, 1985; Hassett y Banwart, 1992). Por otra parte, la exploración de mejores condiciones por parte de las raíces de las plantas en las épocas críticas es afectada por la compactación que sufren algunos suelos de características pesadas (Papendick y Elliott, 1983; Payne, 1993).

Los diferentes cambios que experimenta el contenido de N en el suelo, sumado a la textura del mismo, se refleja indirectamente en la composición florística, dinámica y funcionamiento del bosque tropical, aspectos que han sido estudiadas en mayor o menor grado por algunos autores (Crow, 1980; Brown y Lugo, 1982; Lang y Knight, 1983; Lieberman *et al.*, 1985; Veillon, 1985; Brown *et al.*, 1989 y Brown y Lugo, 1991).

La gran influencia que tienen el contenido de N y las características texturales del suelo sobre el crecimiento de la vegetación ha estimulado el interés en realizar este estudio, para conocer cómo varía la productividad del bosque natural por zonas de vida; ya que la comprensión de los cambios que experimentan los mismos en su productividad ayuda a mejorar los diseños y adoptar alternativas válidas para la planificación del manejo de la vegetación natural y el desarrollo de mecanismos que aseguren la efectiva renovación e incremento de la masa forestal. También, la máxima producción económica se puede alcanzar si el manejo está concebido sobre el entendimiento de los factores que determinan la productividad, que a su vez representa una gran cantidad del material aprovechable por el hombre y por otros organismos.

Afortunadamente, en Venezuela existe la posibilidad de estudiar las interacciones entre el contenido de nitrógeno y la textura del suelo y la productividad del bosque tropical, ya que se cuenta con una red de parcelas permanentes de crecimiento con el mayor período de medición de este bioma, distribuidas en diferentes zonas de vida según Holdridge (1967), de inmenso valor práctico, lo que nos permite analizar el comportamiento de la tasa de cambio que experimenta la biomasa por unidad de área en el tiempo. Estas parcelas fueron establecidas con la finalidad de estimar el crecimiento anual y la productividad global en madera y leña de los tipos de bosques estudiados, en relación con parámetros ecológicos. Sin embargo, recientemente han mostrado ser de gran utilidad para el entendimiento de la dinámica del bosque así como del balance global del carbono en un sentido más amplio.

Los objetivos propuestos en este trabajo fueron los siguientes:

1.1. General

Estudiar el patrón de variación interanual de la productividad del bosque tropical y la relación con el contenido de nitrógeno y textura del suelo en varias zonas de vida de Venezuela.

1.1. Específicos

1.1.1. Analizar la textura del suelo en los sitios de estudio e interpretar su influencia sobre el bosque.

1.1.2.. Determinar el contenido de nitrógeno (N) en el suelo de las diferentes parcelas de estudio y analizar sus relaciones con el crecimiento del bosque.

1.1.3. Estudiar las variaciones del contenido de nitrógeno en los suelos de los diferentes tipos de bosques.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BIOMASA Y PRODUCTIVIDAD

La biomasa es el peso seco de la vegetación por unidad de área; ésta puede medirse por el corte, secado y pesado de todas las partes aéreas de la vegetación (Barbour *et al.*, 1987; Waring y Schelensiger, 1985). Generalmente, no se extraen las raíces; consecuentemente, los datos de biomasa representan sólo la materia aérea de las plantas. La tasa de cambio de la biomasa por unidad de área en el tiempo (año) expresa la *productividad*. La cantidad total de energía radiante fijada por fotosíntesis en componentes orgánicos por unidad de tiempo representa la *productividad primaria bruta (PPB)*. No toda la energía fijada por fotosíntesis se convierte en biomasa; una parte significativa se libera, o se pierde por respiración (*R*), para suministrar energía a las actividades metabólicas de la planta. La *productividad primaria neta (PPN)* es la diferencia entre *PPB* y *R*; es la energía almacenada o incorporada en tejidos vivos de las plantas, y se puede medir como el cambio en biomasa a través del tiempo.

2.2. MÉTODOS USADOS PARA MEDIR LA PRODUCTIVIDAD

A continuación se presenta la descripción de los métodos tradicionales usados en el estudio de la producción de las comunidades de plantas en el bosque.

2.2.1. MÉTODO DE APROVECHAMIENTO

Esta técnica consiste en la remoción, secado y pesado de todos los componentes de las plantas procedentes de un número representativo de parcelas; sin embargo, en la mayoría de los estudios sólo la parte aérea de las plantas ha sido

cuantificada. La aplicación de este método depende entre otros factores del tamaño, edad, diversidad y disponibilidad de mano de obra. Requiere de mucho tiempo y es también laborioso y, por lo tanto, es raramente usado en estudios de biomasa (Kimmins,1988; Negi *et al.*, 1988)

2.2.2. MÉTODO DEL ÁRBOL PROMEDIO

Esta técnica está basada en la medición detallada del diámetro a la altura de pecho (d) de todos los árboles en la parcela, luego se obtiene el promedio. El o los árboles con diámetros promedio son aprovechados para el cálculo de la biomasa, y multiplicando ésta por el resto de árboles dentro de la parcela, podemos obtener estimaciones de biomasa por parcela o por hectárea (Kimmins,1988; Negi *et al.*, 1988)

2.2.3. MÉTODO DE ESTRATIFICACIÓN ARBÓREA

Esta técnica es similar a la del árbol promedio. Se estratifica el rodal por diferentes clases diamétricas y son aprovechados uno o más árboles para obtener parámetros cercanos al promedio. Finalmente, se suma la biomasa de los diferentes componentes de cada estrato para obtener la biomasa por unidad de área (Negi *et al.*, 1988).

2.2.4. MÉTODO DE ÁREA BASAL PROPORCIONAL

En este método se aprovecha un árbol de área basal promedio y se multiplica por el resto de los árboles por unidad de área para obtener la biomasa. Cuando no se dispone de un árbol de área basal promedio, se aprovecha varios árboles más

cercanos al área basal promedio y se usa la siguiente fórmula para la estimación de la biomasa:

$$W = \sum w \frac{G}{g}$$

donde:

W : peso de los árboles sobre la parcela

w : suma de los pesos de los árboles muestreados

G : área basal de la parcela, y

g : área basal de los árboles muestreados

Una mejor estimación se obtiene si se hace una estratificación por diámetro, seleccionando árboles de las áreas basales promedio de cada estrato (Negi *et al.*, 1988).

2.2.6. MEDICIÓN DIRECTA DE FOTOSÍNTESIS Y RESPIRACIÓN

La acumulación de biomasa se puede estimar indirectamente, y la producción directamente, por la medición de la fotosíntesis y la respiración. La medición de fotosíntesis en parcelas enteras de bosques ha resultado técnicamente difícil y, generalmente, las mediciones se han limitado a hojas individuales o ramas en el campo o laboratorio; los resultados han sido extrapolados a todo el bosque mediante modelos de simulación. Una alternativa para la medición directa de fotosíntesis y respiración es la medición de un "índice" fotosintético de un rodal completo, tales como el agotamiento diario de CO₂ atmosférico durante un período de inversión de temperatura atmosférica (donde una capa de aire frío estancado es atrapado sobre el bosque por una capa de aire más caliente), creando por lo tanto

una combinación relativamente finita de carbón atmosférico cuya magnitud puede medirse. Por lo laborioso de la técnica, y el elevado costo, ha sido poco usado para estimar la producción del bosque (Kimmins, 1998).

2.2.6. TÉCNICA DE ESTIMACIÓN POR EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Este método es también llamado "Análisis Dimensional de Madera" (Whittaker, 1961). Es una técnica muy usada en bosques donde predominan árboles de gran tamaño y consiste en la medición de variables, tales como diámetro y altura, de cada uno de los árboles dentro de un número de parcelas lo suficientemente grandes (una fracción significativa de una hectárea), y un subconjunto de esta población arbórea es muestreada destructivamente para establecer relaciones entre las dimensiones arbóreas y la biomasa de cada uno de sus componentes (follaje, raíces, corteza, etc.). La biomasa de los árboles muestreados es determinada por el pesaje completo de sus partes, y se corrige por el contenido de humedad (secado de las submuestras). La resultante de los componentes se relaciona con las mediciones arbóreas a través de ecuaciones de regresión. Resolviendo las ecuaciones para cada árbol, y sumando los resultados, podemos obtener un estimado de la biomasa total por parcela (Kimmins, 1989).

El desarrollo de ecuaciones de regresión para estimar la biomasa como una unidad de medición en el bosque no es nada nuevo en la literatura forestal de la zona templada. Sus aplicaciones han cobrado interés en los bosques tropicales por la creciente atención que éstos han ganado a nivel mundial y los cambios que están experimentando debido a su papel en el ciclo biogeoquímico global, química atmosférica y problemas de la biodiversidad (Brown *et al.*, 1992). Por tal motivo, la presente revisión relacionada con las ecuaciones de regresión y su aplicación se concentrará en las zonas tropicales.

Quintero (1977), basándose en la medición de 494 árboles pertenecientes a seis tipos de bosques naturales venezolanos, ajustó ecuaciones de regresión para predecir el volumen y el peso verde de las copas de los árboles en pie. En el análisis se probaron, como variables independientes, diferentes combinaciones del diámetro (d), altura de fuste (h), largo de la copa (l) y sus logaritmos. Los modelos estadísticos empleados arrojaron coeficientes de correlación comprendidos entre 0,80 y 0,98.

Asimismo, regresiones desarrolladas en Tailandia para estimar el peso de fuste y ramas en función del d^2h resultaron aplicables para el bosque tropical de Puerto Rico (Crow, 1978).

En una investigación realizada para conocer la relación entre el almacenamiento y productividad de materia orgánica en bosques tropicales y el clima, se tomaron datos de biomasa de la literatura y se organizaron de acuerdo con las zonas de vida de Holdridge (1967). Se aplicaron regresiones de mínimos cuadrados al conjunto de datos usando la relación de temperatura/precipitación (t/p) como índice climático y variable independiente. La biomasa total del bosque exhibió un valor pico o alto en las zonas de vida húmeda y valores más bajos hacia la zona de vida muy húmeda o zonas de vida más secas. La producción de madera parece variar considerablemente sobre todas las zonas de vida ($1-11t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) sin una tendencia significativa. Las tasas más altas de producción de madera se reportaron para los bosques premontano en la zona de vida húmeda; las más bajas para un bosque en zona de vida seca (Brown y Lugo, 1982).

Negi *et al.* (1988) realizaron una evaluación comparativa de métodos para estimar biomasa en ecosistemas forestales, al este de la India, concluyendo que la técnica de análisis de regresión es satisfactoria por su amplia aplicación y carácter no destructivo de la misma.

La biomasa total y la distribución de nutrientes de cinco rodales de *Eucalyptus grandis* de diferentes edades en la zona suroeste del bosque húmedo decíduo en el estado de Kerala, India, fueron estudiados para obtener información de la producción de la materia orgánica y nutrientes y su distribución entre los diferentes componentes de los árboles. Se probaron modelos de regresión utilizando d y h como variables independientes para predecir la biomasa. Los resultados fueron significativos para un nivel de probabilidad de 0,01. La biomasa aérea de la plantación estuvo entre 65 t/ha y 302 t/ha (Tandon *et al.*, 1988).

Con la finalidad de estimar la biomasa total del vuelo de bosques tropicales, Brown *et al.* (1989) desarrollaron y aplicaron ecuaciones de regresión a un conjunto de datos provenientes de 43 parcelas, localizadas en Venezuela (39 parcelas) y Brasil (4 parcelas). Se estimó la biomasa del vuelo y de los árboles individuales en función del diámetro, alturas totales y densidad de la madera para varias zonas de vida. Los resultados demostraron que la zona de vida húmeda tiene la mayor cantidad de biomasa por unidad de área, seguida por la transición de zona de vida húmeda a seca y, por último, la zona de vida seca.

Tandon *et al.* (1991), en un estudio realizado para conocer la productividad orgánica y el ciclaje de minerales en plantaciones de *Populus deltoides* en la región de Tarai de Uttar Pradesh de la India, tumbaron dos parcelas de 0,16 ha y registraron los diámetros de todos los árboles y agrupados en 3 - 8 clases diamétricas. Los datos fueron analizados estadísticamente para obtener un conjunto de ecuaciones de regresión que permitiera predecir la biomasa de la población y así evitar la destrucción de grandes extensiones de bosques.

Las ecuaciones de regresión desarrolladas por Brown *et al.* (1989) también fueron aplicadas a tablas de volumen provenientes de inventarios, que representan más de veinte millones de ha de los bosques tropicales de Asia, para calcular la biomasa de los mismos. El estimado para la mayoría de los bosques húmedos tropicales

cubierto por los inventarios fue menor de 250 Mg/ha, con una media de 225 Mg/ha; para los bosques secos fue inferior con 100 Mg/ha, con una media de 82 Mg/ha. Para todos los bosques incluidos, varió entre 50 y 500 Mg/ha (Brown y Lugo, 1991).

Adicionalmente, usando tres conjuntos de datos, provenientes en su mayoría de bosques tropicales imperturbados pertenecientes a la zona de vida húmeda, según Holdridge, Gillespie *et al.* (1992) estimaron la biomasa total del vuelo usando una variedad de técnicas. Uno de los grupos de datos provino de los registros del Instituto de Silvicultura de la Universidad de Los Andes, en 28 parcelas de bosque maduro en Venezuela. El método de estimación que se utilizó fue el del modelo exponencial q de De Licourts. Los árboles fueron agrupados por categorías diamétricas de 5 cm comenzando en 10 cm. De la evaluación hecha a la distribución acumulativa de volumen y biomasa para el conjunto de datos, se encontró que los árboles entre 10 y 35 cm de diámetro contienen 24 - 43 % del volumen comercial y 23 - 40 % de la biomasa del vuelo para todos los árboles mayores de 10 cm de diámetro.

Para los árboles de los Bosques de Tabanuco, Colorado y Enanos en el Bosque Experimental de El Luquillo, Puerto Rico, se utilizaron ecuaciones de regresión para determinar la biomasa por árbol (kg/árbol) sobre el terreno y para el total, en función del d y $d^2 \cdot h$ como únicas variables predictoras (Weaver y Gillespie, 1992).

En zonas escarpadas del mismo bosque, Scatena *et al.* (1993) estudiaron el contenido de la biomasa y nutrientes, aplicando diferentes modelos de regresión lineal y no lineal, encontrando que la ecuación general desarrollada para estimar la biomasa del bosque resultó ser similar a la obtenida por Brown *et al.* (1989) para el bosque tropical muy húmedo y otra desarrollada por Weaver y Gillespie (1992) para el área de estudio.

2.3. INTRODUCCIÓN AL CICLO DEL NITRÓGENO

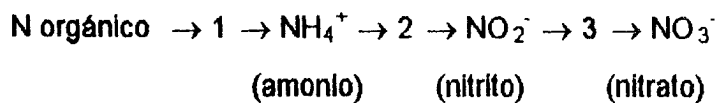
La disponibilidad del nitrógeno (N) es considerada de gran importancia económica porque es el nutriente mineral derivado del suelo de mayor demanda por las plantas y el cuarto elemento más común en su composición. Es clave para construir bloques de proteínas, y es un componente del protoplasma de las plantas (Martin, 1977). Entre los principales nutrientes del suelo, el nitrógeno tiene la propiedad de existir en estado gaseoso. En la forma de amonio (NH_4^+) está sujeto a volatilización, también es fijado por las arcillas y la materia orgánica, y en la forma de nitrato (NO_3^-) es fácilmente soluble en agua y así sujeto al lavado (Paul y Clark, 1989).

El N experimenta un número de transformaciones que comprende componentes orgánicos, inorgánicos y volátiles. Estos procesos de transformación ocurren simultáneamente. Una pequeña parte de N_2 presente en el gran reservorio (atmósfera) es convertido a componentes orgánicos por ciertos microorganismos que lo hacen disponible directamente a las plantas. El N presente en las proteínas o ácidos nucleicos de los tejidos de las plantas es usado por animales, y en los cuerpos de éstos es transformados a otros componentes simples y complejos. Cuando los animales y las plantas son sujetos a la degradación microbiana, el N es liberado como NH_4^+ . Más tarde el ion NH_4^+ podría estar sujeto a pérdida por lavado, servir como nutriente a las plantas o alternativamente podría ser reducido a amonio o N_2 gaseoso, el cual escapa a la atmósfera, completando el ciclo (Martin, 1977).

2.4. MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO

La mineralización del N orgánico se refiere a la degradación de proteínas, aminoazúcares y ácido nucleico a la forma mineral NH_4^+ , es decir, es la conversión

del N orgánico a estado inorgánico, el cual es más móvil. En este estado, el NH_4^+ puede ser inmovilizado o acumulado en el suelo y ello depende de los requerimientos de nitrógeno por los microorganismos para crecer, este proceso es conocido como inmovilización (Paul y Clark, 1989). Según Payne (1993), la mineralización del N en el suelo sigue los siguientes pasos:



La amonificación es realizada por organismos no especializados, es el paso más lento de los tres y sobre todo controla la tasa de producción de nitrógeno proveniente de la materia orgánica. La conversión del amonio a nitrito es realizado por organismos especializados, especialmente por *Nitrosomonas*, y la tasa de conversión es relativamente rápida debido a que el amonio liberado en el paso 1, si no es absorbido por las plantas y/o por los organismos del suelo, es rápidamente convertido a nitrito. La conversión de nitrito a nitrato, es también realizada por microorganismos aeróbicos, especialmente *Nitrobacter*. La tasa de conversión a nitrato es la más rápida de las tres.

La cantidad de nitrógeno liberado de la materia orgánica (M.O.) puede ser estimada si conocemos:

1. La M.O. contenida en el suelo (a menudo la capa arable)
2. La relación C/N de la M.O.

Esta relación es a menudo una buena predictora de la tasa de descomposición efectuada por los microorganismos que utilizan el carbono contenido en la M.O. agregada al suelo, como fuente de energía para estimular su actividad y

crecimiento, liberándolo luego como CO_2 , durante el proceso de descomposición (Payne, 1993; Pastor *et al.*, 1985; Waring y Schelesinger, 1985).

3. La tasa anual o estacional de mineralización de la M.O.

Según Paul y Clark (1989), una vez que el NH_4^+ ha sido formado puede que tenga los siguiente destinos: 1) Absorción por las plantas, ya que es a menudo una fuente preferida de N en la solución del suelo ; 2) Utilización para el crecimiento de los microorganismos ; 3) Reemplazo por cationes de la solución del suelo, cuando el mismo es retenido en los complejos intercambiables, y 4) Utilización como fuente de energía por un grupo especial de autótrofos, en el proceso de nitrificación.

www.bdigital.ula.ve

2.5. NITRIFICACIÓN

Consiste en la conversión del NH_4^+ a NO_2^- y NO_3^- por bacterias aeróbicas nitrificadoras, y también por hongos; las primeras derivan su carbono solamente del CO_2 o carbonatos, y su energía de la oxidación del NH_4^+ o NO_2^- . Estas bacterias son clasificadas en dos grupos: a) las que oxidan NH_4^+ a NO_2^- , y b) las que oxidan NO_2^- a NO_3^- . En la mayoría de los hábitats, las dos se encuentran juntas, y el NO_2^- raramente se acumula en la naturaleza debido a que las plantas fácilmente asimilan el NO_3^- . La nitrificación biológica ha sido usada como un índice de la fertilidad del suelo, y un buen crecimiento de las plantas se considera dependiente de este proceso (Paul y Clark, 1989). La nitrificación libera energía que es utilizada por estas bacterias para la reducción del CO_2 y la síntesis orgánica (Payne, 1993).

2.6. FACTORES QUE AFECTAN LA NITRIFICACIÓN

2.6.1. ACIDEZ

Los valores óptimos de pH para la nitrificación varían entre 6,6 y 8,0. En suelos agrícolas las tasas de nitrificación decrecen marcadamente con valores de pH por debajo de 6,0 ; convirtiéndose en negativas por debajo de 4,5. Casi todos los suelos forestales producen NO_3^- cuando existen perturbaciones tales como fuego o tala del bosque.

2.6.2. AIREACIÓN

Es esencial para la nitrificación. La difusión de O_2 en el suelo y la aireación dependen de la textura, la estructura y la humedad del suelo.

2.6.3. HUMEDAD

Debido a que la humedad afecta el régimen de aireación, el agua en el suelo tiene una influencia en la producción de nitrato.

2.6.4. TEMPERATURA

La nitrificación es influenciada marcadamente por la temperatura; el proceso es lento a valores de temperatura por debajo de 5 °C y por encima de 40 °C. El óptimo está alrededor de 30 - 35 °C. La interacción de temperatura, humedad y otros factores actúa como factor estacional. En áreas templadas, la nitrificación es más intensa en primavera y otoño, disminuyendo en verano e invierno.

2.7. RELACIÓN NITRÓGENO - PLANTA

Una escasez de la disponibilidad del nitrógeno, a menudo limita más la productividad de las plantas que cualquier otro elemento nutricional (Axelsson, 1986; Binkley, 1991; Martin *et al.*, 1991; Paul y Clark, 1989; Parker *et al.*, 1984; Payne, 1993). La materia orgánica es la principal fuente de N y de otros nutrientes como el fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio y de otros elementos disponibles directamente para las plantas, por la liberación a través de la mineralización. Todo el material originario del bosque depositado en el suelo, sumado a los restos de animales, que han experimentado poca o alta descomposición, es lo que conocemos como materia orgánica, siendo el humus el término que se utiliza para referirse a la materia orgánica que ha sufrido una descomposición considerable y es resistente a alteración posterior (Fassbender y Bornemisza, 1987; Foth *et al.*, 1975; Hassett y Banwart, 1992). Una de las propiedades más importantes y característica del humus es su contenido de N, que ordinariamente varía del 3 - 6%, aunque con frecuencia la concentración de N puede ser mayor o menor que esas cifras (Foth *et al.*, 1975). Franco y Munns (1982) encontraron que el N total en el suelo varía con el contenido de la M. O. Los mismos autores reportan que la superficie del suelo mineral contiene valores de 0,03% de N (Vertisol de Sudán) a 0,69 % de N (Oxisoles de Brasil).

El material orgánico al depositarse en el suelo trae consigo una provisión de energía y nutrientes y, al mismo tiempo, constituye un factor determinante de un gran número de características físicas y químicas del suelo. Además, la capacidad de intercambio catiónico y aniónico, la absorción de agua, la agregación de partículas, el color y otros factores son directamente influenciados por el contenido y naturaleza de la M. O. (Díaz - Romeu *et al.*, 1970; Fassbender, 1993 y Foth, 1986).

Las plantas absorben el N casi totalmente en forma del anión NO_3^- o catión NH_4^+ . El NO_3^- se encuentra principalmente como ion en la solución del suelo y el NH_4^+ como un catión intercambiable retenido por los coloides. Se piensa que casi todo el N usado por las plantas proviene de la atmósfera, de la cual 4/5 es N_2 gaseoso; sin embargo, en esta forma no es asimilable, primero tiene que ser transformado a la forma NH_4^+ o NO_3^- antes de ser absorbido por las plantas; por lo tanto, su nutrición depende de la disponibilidad de estos iones en el suelo, los cuales provienen de tres fuentes diferentes: 1) NO_3^- de la atmósfera por el lavado de las lluvias; 2) N fijado por procesos biológicos; y 3) Por la descomposición de la M.O., proceso influenciado por: a) la relación C/N, b) la cantidad de N que ellos contienen, y c) la mineralización del humus del suelo (Payne, 1993).

La disponibilidad del N para las plantas depende de la cantidad y tipo de la M.O. presente en el suelo y de la presencia de poblaciones de microorganismos y condiciones que favorezcan sus actividades (Franco y Munns, 1982). La M.O. y el N total disminuyen significativamente con la profundidad, y ellos tienen una correlación positiva, indicando con esto que la disponibilidad del N para las plantas es primeramente controlada por los procesos bióticos, principalmente la acumulación de la M.O. en la superficie del suelo. Un alto contenido relativo de la misma conlleva a mantener el N e incrementar su disponibilidad en el suelo para las plantas (Silver *et al.*, 1994). En general, la actividad microbiana es favorecida bajo las condiciones que son óptimas para el crecimiento de las plantas; sin embargo, los microorganismos tienen un mayor rango de tolerancia que las plantas (Franco y Munns, 1982).

Para demostrar que el crecimiento y la máxima producción en biomasa (madera) del bosque están relacionados con el N en el suelo, Tschaplinski *et al.* (1991) realizaron un ensayo con la aplicación de N como fertilizante, con diferentes tratamientos, a una plantación de "Sycamore" (*Platanus occidentalis* L.), la cual fue

establecida en un área pobre en N en el condado de Roane, Tennessee, USA. La mayor cantidad de biomasa aérea acumulada, por unidad de N agregado como fertilizante a la plantación, fue tres veces mayor en los sitios con la aplicación de 50 y 150 kg de N/ha respecto a los sitios no fertilizados, lo que indica que la producción de biomasa es estimulada por el N disponible en el suelo.

De acuerdo a Maimone *et al.* (1991), el nutriente más deficiente en rodales naturales y en plantación del suroeste de USA es el N. Para confirmar esto se realizó un estudio con el fin de evaluar el efecto de la disponibilidad del mismo en el suelo y el crecimiento volumétrico. El nitrógeno se aplicó en forma de urea. Siete meses después de la fertilización con 224 kg N/ha, se produjo un incremento significativo en la mineralización del N a una profundidad de 0 - 15 cm, la que se correlacionó significativamente con el crecimiento volumétrico del bosque, en respuesta a la fertilización con N.

El incremento en la producción de biomasa en ecosistemas terrestres, con elevado CO₂ atmosférico, podría ser restringido por limitaciones de nutrientes, especialmente el N. Owensby *et al.* (1994), realizaron un estudio para determinar el impacto a corto plazo de la fertilización con N sobre la producción de biomasa de un ecosistema de pradera expuesto al ambiente y a niveles elevados de CO₂, encontrándose que la producción de biomasa total en las parcelas fertilizadas resultó mayor que en las que fueron expuestas a un elevado nivel de CO₂. Los resultados también indicaron que la producción de biomasa a un elevado nivel de CO₂ fue más elevado en los sitios fertilizados con N que en los ecosistemas no fertilizados, particularmente en los años secos. El estudio concluyó que la producción de biomasa a elevada concentración de CO₂ fue restringido por la limitación de N en los años con precipitaciones baja o normal.

2.8. RELACIÓN TEXTURA - PLANTA

El suelo como sostén del bosque es un medio dinámico que adquiere progresivamente sus propiedades por acción combinada de los factores del ambiente. La roca madre se altera por influencias del clima y de la vegetación, es decir, se forma y desarrolla y, finalmente, se establecen relaciones más o menos íntimas entre los minerales de alteración que proceden de las rocas y el humus como una propiedad de la materia orgánica (Duchaufier, 1975). La cantidad de estos compuestos orgánicos en el suelo varía en función de los factores formadores del suelo y el orden de influencia es el siguiente: clima > vegetación > topografía (material parental) > edad. Si en el material parental predomina la arena, el suelo tenderá a contener menos humus, lo contrario ocurre cuando predomina la arcilla o el suelo tiene una textura media. Los suelos arenosos tienden a ser secos y bien aireados, en ambas condiciones se favorece el bajo contenido de humus. Las condiciones de sequía reducen el crecimiento de las plantas, mientras que las de buena aireación favorecen la rápida descomposición de los residuos orgánicos. Los suelos arcillosos tienden a desarrollar altos contenidos de humus; de hecho, en cualquier región geográfica el contenido del mismo en el suelo tiende a estar altamente correlacionado con el contenido de arcilla. Asimismo, los suelos arcillosos pobremente drenados y con mayor contenido de humedad tienden a formar mayores contenidos de humus que los de textura media. Además, las texturas arcillosas estabilizan los residuos orgánicos por la absorción de los productos de descomposición, sobre la mayor superficie de adsorción arcillosa. El material absorbido es de más difícil descomposición que los residuos orgánicos en la solución del suelo y/o los existentes como piezas discretas de materia orgánica en el suelo (Hassett y Banwart, 1992).

El total de espacios porosos, estructura y actividad faunística depende entre otros factores de la textura del suelo. La porosidad normalmente tiene una doble función,

la de retención de agua y la aireación (movimiento y difusión de gases) requerido para la proliferación de las raíces y, por ende, para el crecimiento de las plantas y los microorganismos aeróbicos y fauna descomponedora de la materia orgánica. La porosidad total se refleja en la densidad aparente, la cual es más alta si el contenido de poros es menor. La superficie de suelos arenosos puede tener un total de 35 - 50%, mientras que los de textura media y fina es un poco más alto (40 - 60%). En los suelos arenosos el movimiento de agua es rápido por la predominancia de macroporos, favoreciéndose la aireación, y en los arcillosos el movimiento de gas y agua es relativamente lento. La aireación puede ser más pobre que en los arenosos por la presencia de microporos (Payne, 1993).

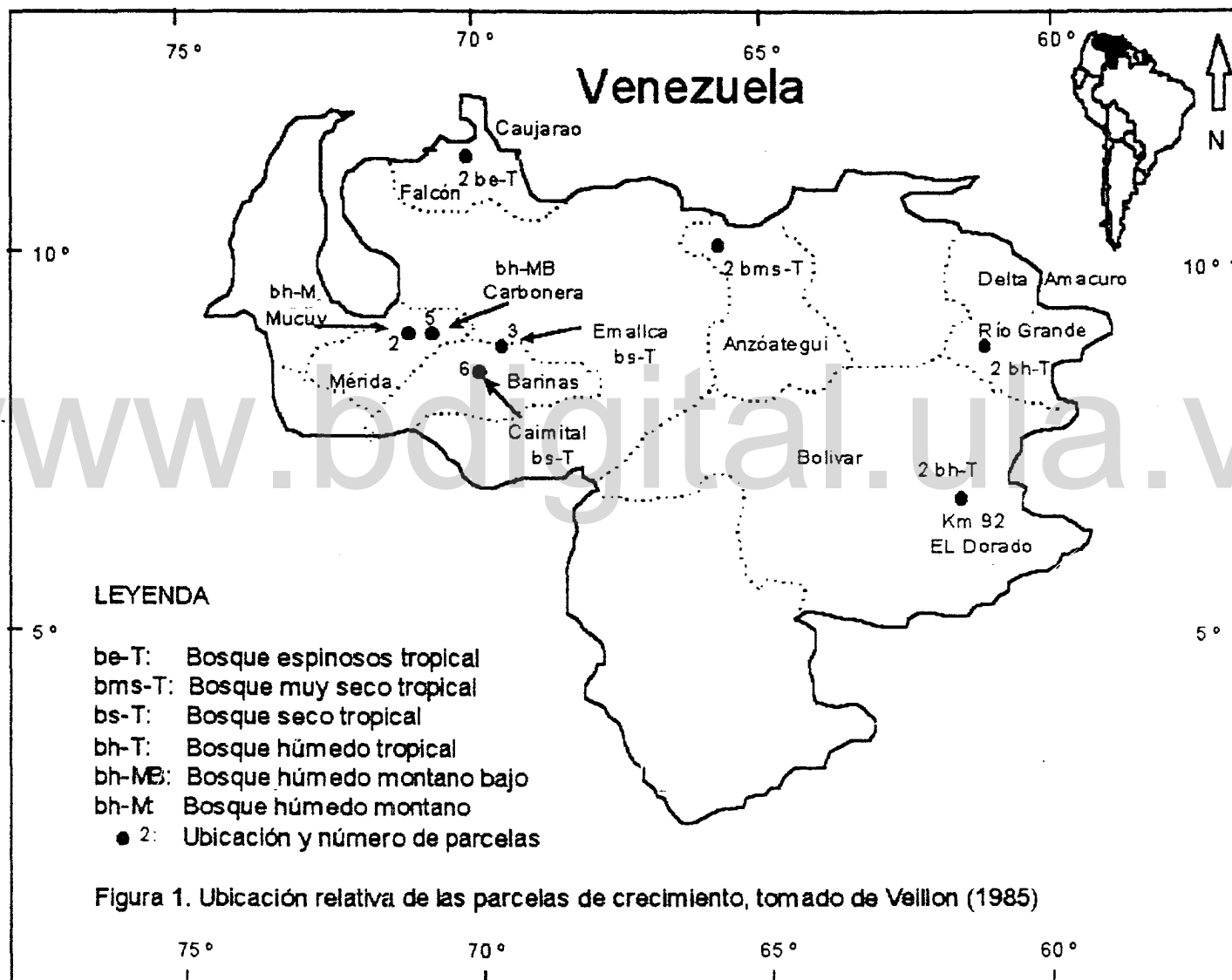
La habilidad de las plantas para sobrevivir y producir biomasa en los períodos secos puede ser limitada por la textura, pues esta puede actuar como una barrera, impidiendo que las plantas envíen a mayor profundidad sus raíces en busca de nitrógeno (Papendick y Elliott, 1983; Payne, 1993). La textura afecta otras características del suelo, como la permeabilidad, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de agua, condiciones para las actividades de microorganismos (Childs *et al.*, 1985; Hassett y Banwart, 1992).

III. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Los trabajos de campo se desarrollaron en 24 parcelas permanentes de crecimiento (anexo 1), distribuidas en seis zonas de vida de los bosques venezolanos según el sistema de clasificación de Holdridge (figura 1), el cual ha sido ampliamente divulgado en Venezuela, particularmente por la obra: "Zonas de vida de Venezuela" (Ewel y Madriz, 1968). La mayoría de las parcelas (21) son de 0,25 ha (50 x 50 m) y las tres restantes son de 1 ha (100 x 100 m). La figura 2 resume las variaciones de temperatura promedio y la pluviosidad media anual para cada lugar donde se encuentran las parcelas. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los sitios de estudio.

3.1. BOSQUE ESPINOSO TROPICAL (be-T)

Las dos parcelas estudiadas en este lugar están ubicadas cerca de Caujarao, Edo. Falcón, a 50 m de altitud de pendiente suave a fuerte (10 a 40%), y a unos 50 km. al noroeste de la ciudad de Coro. Los suelos son pedregosos y arcillosos. La pluviosidad media anual alcanza 480 mm, con 9 a 10 meses áridos y una temperatura media anual de 28 °C. La vegetación es rala, presenta una fisonomía distinta con escasas especies arbóreas de hoja ancha. La mayoría de las especies son espinosas y de hojas pequeñas y coriáceas; adaptación a la transpiración elevada. Las especies que predominan en este tipo de bosque son: *Bulnesia arborea*, *Cephaocereus moritzianus*, *Lemalreocereus griseus*, *Capparis linearis*, *Jacquinia barbasco*, *Acacia tortuosa*, *Pithecelobium angulscati* y *Prosopis juliflora* (Ewel et al., 1968); todas resistentes a las condiciones climáticas reinantes en el lugar, y de baja altura (4 -6 m). La vegetación de esta zona es un relicto de un bosque natural muy empobrecido e intervenido por explotaciones de estacas, leña para carbón y sobre todo por un continuo e incontrolado pastoreo de caprinos (Veillon, 1985).



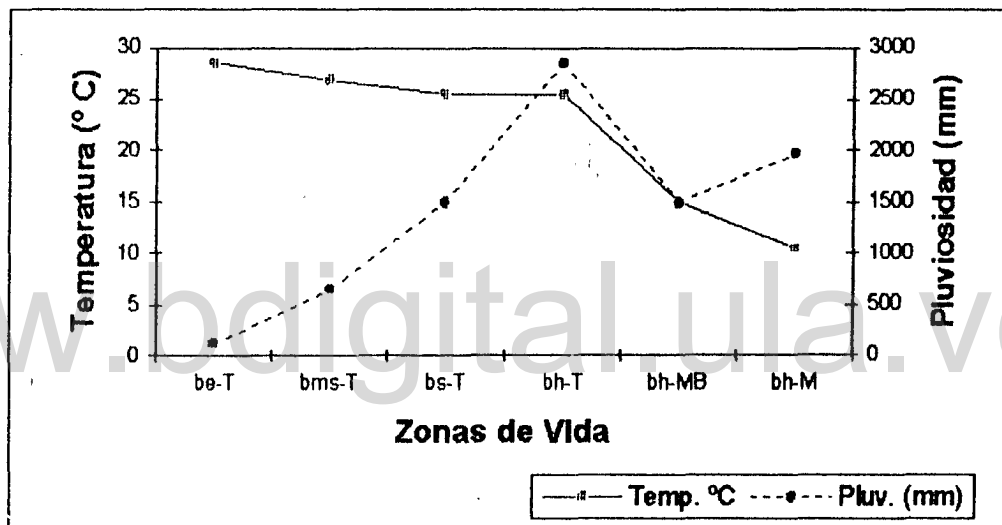


Figura 2. Variación de la temperatura y pluviosidad media anual por zona de vida. Datos tomados de Veillon (1985 y 1989).

3.2. BOSQUE MUY SECO TROPICAL (bms-T)

Las dos parcelas en esta área están ubicadas cerca de Clarines, Edo. Anzoátegui, a 50 m de altitud, dentro de un bosque xerofítico secundario viejo con pendiente ligeramente fuerte (40 %) (Veillon, 1985). Los suelos de esta área aunque abarcan numerosas clases, pero los grandes grupos Chesnut Rojizos y Desérticos que se presentan erosionados, son los más frecuentes (Ewel *et al.*, 1968), los mismos son pedregosos y arcillosos. Según Veillon (1985 y 1995) el clima de esta zona es típicamente biestacional, es decir, se presenta un largo período seco de aproximadamente 7 meses y una corta estación húmeda de 5 meses; la pluviosidad media anual alcanza valores de 800 mm, con una temperatura media anual de 26 °C. De acuerdo a Ewel *et al.* (1968), la precipitación media en la región es dos a cuatro veces menor que la evapotranspiración potencial, lo que coloca a la formación en la provincia de humedad semiárida. El bosque es poco denso, con árboles entre 15 - 20 m de altura; Las especies dominantes son: *Bulnesia arborea*, *Machaerium robiniaefolium*, *Bursera simaruba*, *Ceiba pentandra*, *Hura crepitans*, *Lonchocarpus latifolius* y *Tabebuia chrysantha*; durante la época seca toman el aspecto de una mancha blancuzca, por ser casi todas las especies deciduas, característica que les permite adaptarse a las condiciones climáticas del área. También se observa la intervención por la explotación humana y de ganado vacuno (Ewel *et al.*, 1968, Veillon 1985 y 1995).

3.3. BOSQUE SECO TROPICAL (bs-T)

En este tipo de zona de vida se evaluaron nueve parcelas, seis de las cuales están situadas en el Bosque Universitario El Caimital, en el Edo. Barinas. El mismo se encuentra a orillas del río Yuca, en la cercanía de las poblaciones de Barrancas y Obispo; a una altitud de 100 a 150 m (Veillon, 1985). El terreno es plano, el suelo

se ha formado a partir de materiales transportados principalmente por el río Yuca, presentan un drenaje interno y externo moderado en las áreas más elevadas. En las pequeñas depresiones, los suelos son muy arcillosos en todo el perfil y el drenaje es muy lento, permaneciendo anegados por varios días en la época de lluvia; El material originario de estos suelos les confiere un particular grado de fertilidad.

El área presenta un clima tropical con una temperatura media anual de 26 °C, con un máximo de 37,4 °C y la pluviosidad media anual está entre 1400 a 1500 mm, con 4 hasta 5 meses áridos (diciembre a mayo). Los meses más secos son enero y febrero y el más lluvioso es junio Castillo (1966). Este bosque es semideciduo, y está compuesto de unidades florísticas diferentes. En su estructura vertical se distinguen tres estratos y el sotobosque; las especies forestales dominantes son: *Bombacopsis quinata*, *Attalea maracaibensis*, *Brosimum alicastrum*, *Spondias mombin*, *Chrysophyllum caracasenum* y *Calycophyllum candidissimum*.

Las tres parcelas restantes se encuentran en la Unidad III de la Reserva Forestal de Ticoporo, Edo. Barinas. El suelo es de origen aluvial y de textura predominantemente franco a franco arcillosa, el drenaje es airavesado por numerosos ríos, produciéndose grandes variaciones horizontales (superficial) y verticales (en el perfil). La variabilidad va desde sitios altos y de textura gruesa en los bancos de los ríos, pasando por textura media (napas), hasta muy fina en las cubetas. El clima es tropical con una temperatura media anual de 27 °C y una precipitación media anual de 2565 mm (estación Bum-Bum, piedemonte andino), con un primer máximo en junio y otro en septiembre, presentando la mínima en enero. La duración de época de la precipitación es de ocho meses (abril - noviembre) (Díaz, 1991). La vegetación predominante es de un bosque alto mixto, heterogéneo, en donde abundan las especies *Anacardium excelsum*, *Bombacopsis quinata*, *Brosimum alicastrum*, *Copaifera officinalis*, *Mouriri barinensis*, *Terminalia guyanensis* (Balbuena, 1980).

3.4. BOSQUE HÚMEDO TROPICAL (bh-T)

En esta zona de vida se encuentran cuatro parcelas, dos situadas en la población de Río Grande en la Sierra de Imataca y las dos restantes en el Km. 98 (El Dorado) del Edo. Bolívar. Los terrenos de las dos primeras parcelas presentan pendientes suaves, de 5 a 20%. Los suelos son generalmente bien drenados, profundos, arcillosos y pedregosos. Las parcelas de El Dorado presentan suelos muy gruesos con afloramiento de grandes rocas. El clima es típicamente pluvial con 2500 a 3200 mm de lluvia al año y un mes árido anual promedio con una temperatura media anual de 25 a 27 °C. Las especies forestales más comunes en estos lugares son: *Licania densiflora*, *Licania spp.*, *Alexa imperatricis*, *Mora excelsa*, *Protium schomburgkianum*, *Eschweilera grata*, *Eschweilera spp.*, *Inga alba*, *Inga spp.*, *Aspidosperma excelsum*, *Aspidosperma spp.* El bosque es posiblemente primario, no se notan influencias humanas (Veillon, 1985).

3.5. BOSQUE HÚMEDO MONTANO BAJO (bh-MB)

Cinco parcelas de esta zona de vida están ubicadas en el Bosque Universitario San Eusebio, La Carbonera, Edo. Mérida, con una altitud que varía desde 1500 m hasta 2450 m. s. n. m. en su parte más alta. Los suelos son de origen aluvial y coluvial; los primeros se localizan en zonas estrechas de muy reducida pendiente, su posición en el relieve, su pendiente y su relación con el agua hacen de ellos sitios mal drenados. El segundo grupo de suelos (coluviales) son en términos generales mejor drenados; la infiltración en estos sitios está controlada en primer término por la estructuración del horizonte superficial y, además, por la pendiente y la intensidad de la lluvia. Los suelos son de textura fina, manifestando con esto la gran influencia del desarrollo estructural sobre ciertos parámetros hidrológicos (infiltración, escurrimiento y flujo subsuperficial) y sobre el desarrollo radicular (Valcarcel, 1982).

La temperatura media anual varía entre 18 y 12^o C según la altitud, y la pluviosidad media anual es de 1463 mm, con 1 a 2 meses áridos en promedio. Los sitios donde se encuentran las parcelas poseen pendientes suaves a muy fuertes (10 - 60%). Los bosques son primarios, con una alta densidad y un buen desarrollo, alcanzando sus árboles alturas de hasta 30 m. Las especies más comunes son: *Achornea grandiflora*, *Cordia caracasana*, *Guarea* y *Trichilia spp.*; *Nectandra sp.*, *Ocotea spp.*, *Persea spp.*, *Sapium stylare*, *Vochysia duquei*, *Virola sebifera*, *Richeria grandis*, *Chrysophyllum sp.* y *Podocarpus rospigliosii* (Valcarcel, 1982; Veillon, 1985).

3.6. BOSQUE HÚMEDO MONTANO (bh-M)

En esta zona de vida se ubicaron dos parcelas, en el sector superior del valle del Chama, Edo. Mérida, entre 2440 y 3500 m de altitud. El terreno es de pendiente suave a muy fuerte (15 - 70%). El suelo es de origen coluvial, pedregoso, arenoso con grandes rocas aflorando en las altitudes superiores. El clima es templado a frío, con temperatura media anual de 12 a 6 °C., y la pluviosidad alcanza valores de 1800 a 2200 mm. Las especies forestales dominantes son: *Aiovea spp.*, *Aniba spp.*, *Nectandra spp.*, *Ocotea spp.*, *Bellischnidia sukata*; *Eugenia spp.*, *Myrcia spp.*, *Myrcianthes spp.*; *Miconia spp.*, *Granfferia spp.*, *Laplacea semiserrata* y *Podocarpus spp* (Veillon, 1985).

IV. METODOLOGÍA

4.1. DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

El crecimiento absoluto de un bosque, en un período de tiempo, puede ser calculado a través de mediciones sucesivas de las circunferencias o diámetro. Además, sirve como base de apreciación o estimación del crecimiento volumétrico (Vellon, 1985).

La productividad del bosque en este trabajo se expresó en términos de $t\cdot ha^{-1}\cdot año^{-1}$, y se estimó a través de mediciones sucesivas de las circunferencias de los árboles desde el establecimiento de las parcelas, luego transformadas en d , para conocer el patrón de variación interanual. Con los resultados de productividad para un período de 5 años (1989 hasta 1994) se hicieron análisis de correlación con el contenido de N, arena, limo y arcilla, manteniéndose constantes los demás factores que puedan influir en el crecimiento, incluyendo algunos propios del suelo como temperatura, humedad, aireación, y otros macronutrientes.

Se calculó la biomasa por individuos con diámetros mayores o iguales a 10 cm, por zona de vida y para el total por período, aplicando las ecuaciones de regresión desarrolladas por Brown *et al.* (1989) y mejoradas por Brown e Iverson (1992), para los bosques tropicales, incluyendo hojas, ramitas, ramas, corteza y fuste. No se estimó la biomasa de otros componentes vivos del suelo, tales como renuevos, arbustos, bejucos y epífitas, porque ellos representan una pequeña fracción del total y no existen bases de datos disponibles para ser extrapolados a gran escala. Tampoco se hicieron estimaciones de biomasa subterránea.

A continuación se presentan las ecuaciones de regresión utilizadas para estimar la biomasa total del vuelo de los sitios estudiados :

| Zona de vida | Ecuaciones | N | R ² |
|--------------------|---------------------------------------|-----|----------------|
| be-T, bms-T y bs-T | $Y = 34,47 - 8,068 (d) + 0,659(d^2)$ | 32 | 0.67 |
| bh-T | $Y = 38,49 - 11,788(d) + 1,193(d^2)$ | 168 | 0.83 |
| bh-MB y bh-M | $Y = 21,297 - 6,653(d) + 0,7740(d^2)$ | 169 | 0.92 |

Donde :

Y: biomasa en kg/árbol

d: diámetro a la altura de pecho

N: Tamaño de la muestra

R²: Coeficiente de determinación

www.bdigital.ula.ve

4.2. ESTUDIO DE SUELO

4.2.1. MUESTREO DE SUELO PARA EL ANÁLISIS QUÍMICO

De la experiencia obtenida en muestreos para determinar la materia orgánica del suelo, Brown y Lugo (1991) encontraron que 10 muestras tomadas en un área de tamaño similar al de las parcelas de estudio (0,25 ha) proveen coeficientes de variación y promedios aceptables; por lo que se utilizó esa misma intensidad de muestreo. Las muestras para el análisis químico fueron colectadas aleatoriamente dentro de cada parcela, usando un barreno de suelo estándar, de 2,0 cm de diámetro interno, después de remover cuidadosamente la hojarasca para exponer el suelo mineral. Las profundidades del muestreo fueron de 0-25 cm y 25-50 cm, ya que es allí donde se encuentra la mayor cantidad de nitrógeno disponible para las plantas. En las parcelas donde se encontró una alta pedregosidad y afloramientos se tomaron solamente 10 muestras a la profundidad 0 - 25 cm.

El material colectado se colocó en pequeñas bolsas de algodón, obteniéndose un total de 20 muestras por parcela. Finalmente, las muestras por profundidad se mezclaron leatoriamente por pares, obteniendo cinco muestras/ profundidad/parcela.

Las muestras de suelo fueron transportadas al Instituto de Silvicultura, donde se secaron al aire libre y pasaron por un tamiz de 2 mm para eliminar las gravas, raíces y otros desperdicios orgánicos no descompuestos. Luego se colocaron nuevamente en pequeñas bolsas de plástico y se transportaron a la Universidad de Illinois para el análisis químico.

4.2.2. MUESTREO Y DESCRIPCIÓN DE CALICATAS

Por cada parcela muestreada se abrió y describió una calicata hasta una profundidad de 1,50 m en uno de los bordes. En las parcelas ubicadas en pendiente, la misma se abrió en el punto medio, a la derecha o izquierda del límite de la parcela, tomando como referencia el sentido de la pendiente. En el caso de terreno plano la calicata se ubicó en el sitio más representativo de la vegetación o del tipo de suelo presente en la parcela.

Una vez realizada la apertura de las calicatas se procedió a la descripción de los horizontes diferenciables en el perfil hasta 1,50 m de profundidad, y mediante el uso de barreno se describió el perfil hasta 2,0 m. Las variables evaluadas fueron: profundidad de los horizontes, textura, estructura, color, raíces, pedregosidad y consistencia. En las parcelas donde se encontró una gran cantidad de pedregosidad y afloramientos rocosos no fue posible abrir la calicata hasta 1,50 m de profundidad, realizándose la misma hasta donde la cantidad de rocas lo permitió.

Después de la descripción se tomaron muestras de suelo por cada horizonte o estrato presente en los perfiles para el análisis de nitrógeno y textura.

4.2.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO

4.2.3.1. TEXTURA

Para la determinación de la textura en las muestras procedentes de las calcatas, previamente pasadas por un tamiz de 2 mm, se utilizó el método hidrométrico (Gee y Bauder, 1986). Adicionalmente, 10 muestras de suelo tomadas aleatoriamente dentro de cada parcela, por un estudiante de Maestría de la Universidad de Illinois, a una profundidad de 0 - 50 cm, se mezclaron hasta obtener una buena homogeneización; de estas se tomó una submuestra y se realizó el mismo análisis textural.

El cálculo del tamaño de las partículas se hizo mediante el uso de hoja de cálculo, el cual permitió determinar el porcentaje de las partículas de arcilla, arena y limo. Posteriormente se determinaron las clases de cada uno de los horizontes para cada una de las calcatas mediante el triángulo de textura (Hassett y Banwart, 1992).

4.2.3.2. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO Y CARBONO

De las muestras de suelo colectadas, tanto dentro de las parcelas como en los horizontes apreciables en las calcatas se tomaron submuestras para determinar las reservas de N total siguiendo la metodología estándar de Kjeldahl. Previamente al análisis de carbono, las muestras utilizadas para el primero se mezclaron hasta obtener una buena homogeneización para una profundidad de 0 - 50 cm, luego se tomó una submuestra para el respectivo estudio siguiendo el método de oxidación

seca, utilizando un analizador de Carbono Leco y técnica estándar (Nelson y Sommers, 1982). Este análisis se realizó solamente para el suelo procedente de las parcelas. La determinación de carbono se realizó conjuntamente con un estudiante de Maestría de la Universidad de Illinois.

Los totales de N y C se expresaron en kgN/ha y tC/ha, respectivamente, como el producto de la concentración de N y/o C, profundidad de muestreo y densidad aparente. Este último se obtuvo de las calicatas.

En la comparación entre los resultados del contenido de N y de M.O., expresada como el porcentaje de carbono por zonas de vida, los del primero se promediaron para igualarlo en profundidad con los del C. Los resultados de N también se presentan para las dos profundidades analizadas inicialmente.

www.bdigital.ula.ve

4.3. MANEJO DE DATOS E INTERPRETACIÓN

Con el conjunto de valores de diámetro (d) provenientes de las evaluaciones de campo, se creó una base de datos. Adicionalmente, se elaboró un programa con las ecuaciones de regresión desarrolladas por Brown e Iverson (1992), el cual permitió el cálculo de la biomasa del vuelo por parcela por año; luego, por diferencia entre dos períodos de evaluación (1994 - 1989) se obtuvo la productividad por parcelas en las diferentes zonas de vida. Después se realizó un análisis de correlación con todo el conjunto de datos de productividad por categorías diamétricas por zonas de vida y los contenidos de nitrógeno, arena, limo y arcilla de los suelos, para determinar el grado de asociación que pudiera existir entre la biomasa del vuelo y las variables del suelo.

Los resultados de la productividad para las 24 parcelas fueron analizados y comparados por zonas de vida, en función de las diferencias del contenido de N y textura del suelo. En la interpretación final, también se incluyó información climática puntual, especialmente relativa a temperatura y precipitación.

www.bdigital.ula.ve

V. RESULTADOS

5.1. TEXTURA DE LOS SUELOS

Los resultados que se presentan a continuación se refieren en primer lugar a los horizontes observados en cada una de las calcatas por sitio de estudio. En segundo lugar los correspondientes a las muestras de suelo compuestas, colectadas a una profundidad de 0 - 50 cm dentro de cada una de las parcelas evaluadas. En el anexo 2 aparece una descripción detallada de los perfiles de suelo por zonas de vida.

Los primeros resultados del análisis granulométrico (porcentajes de arena, limo, arcilla y las clases texturales) para todos los sitios de estudio se resumen en el Cuadro 1.

En las parcelas de las zonas de vida be-T, bms-T, bs-T (Calmital) y bh-MB predominan los suelos con alto contenido de arcilla y limo (textura fina y media): arcilloso, franco - arcilloso, franco - arcillo - limoso, arcillo - limoso y franco - limoso. Los porcentajes de arcilla son altos, ubicándose generalmente entre el 30 - 50% y 40 - 50% para el limo, mientras que la arena está por debajo del 30%. En las parcelas de los bs-T (Ticoporo), bh-T y bh-M predominan los suelos con textura media a gruesa: arcillo - limoso, franco - limoso, franco y franco - arenoso. Los porcentajes de arcilla son bajos, ubicándose generalmente por debajo del 30%, el limo y la arena oscilan entre 30 y 50%.

Las Figuras 3 - 6 resumen los porcentajes de arcilla, limo, arena y su variación con la profundidad por zona de vida.

Cuadro 1. Análisis textural de los suelos por horizontes apreciables en parcelas ubicadas en las diferentes zonas de vida

| ZONAS DE VIDA Y PARCELA | HORIZ. | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | TIPO DE SUELO |
|----------------------------------|--------|---------|--------|-----------|-------------------------|
| Bosque espinoso tropical: | | | | | |
| Caujarao | | | | | |
| P - 1 | A | 21 | 28 | 53 | arcilloso |
| | B | 17 | 24 | 59 | arcilloso |
| P - 3 | A | 23 | 29 | 48 | arcilloso |
| Bosque muy seco tropical: | | | | | |
| Clarines | | | | | |
| P - 3 | A | 28 | 38 | 35 | franco arcilloso |
| | B | 17 | 28 | 55 | arcilloso |
| | C | 24 | 22 | 54 | arcilloso |
| P - 4 | A | 27 | 38 | 38 | franco arcilloso |
| | B | 32 | 18 | 50 | arcilloso |
| | C | 61 | 20 | 19 | franco arcilloso |
| Bosque seco tropical: | | | | | |
| Caimital | | | | | |
| P - 1 | A1 | 12 | 41 | 47 | arcilloso |
| | A2 | 2 | 43 | 55 | arcilloso |
| P - 2 | A1 | 11 | 53 | 38 | franco-arcillo-limoso |
| | A2 | 10 | 51 | 40 | franco-arcillo-limoso |
| P - 3 | A1 | 22 | 30 | 48 | arcilloso |
| | A2 | 6 | 44 | 50 | arcillo-limoso |
| P - 4 | A1 | 16 | 44 | 40 | arcillo - limoso |
| | A2 | 4 | 48 | 51 | arcillo-limoso |
| P - 5 | A1 | 10 | 45 | 45 | arcillo-limoso |
| | A2 | 12 | 38 | 50 | arcilloso |
| | B1 | 47 | 31 | 22 | franco |
| | B2 | 18 | 51 | 33 | franco-arcillo-limoso |
| P - 6 | A1 | 4 | 44 | 52 | arcilloso |
| | B | 1 | 45 | 54 | arcilloso |
| Ticoporo | | | | | |
| P - 1 | A1 | 42 | 41 | 17 | franco |
| | A2 | 58 | 35 | 10 | franco - arenoso |
| | B | 44 | 35 | 21 | franco |
| P - 2 | A1 | 5 | 73 | 22 | franco limoso |
| | A2 | 6 | 49 | 44 | arcillo - limoso |
| | B | 3 | 54 | 43 | arcillo - limoso |
| P - 3 | A1 | 5 | 61 | 34 | franco -arcillo- limoso |
| | A2 | 7 | 57 | 39 | franco-arcillo- limoso |
| | B | 25 | 45 | 30 | franco arcilloso |

Cont...

Cont...

| ZONAS DE VIDA Y PARCELA | HORIZ. | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | TIPO DE SUELO |
|------------------------------------|--------|---------|--------|-----------|-------------------------|
| Bosque húmedo tropical: | | | | | |
| Río Grande | | | | | |
| P - 5 | A | 76 | 8 | 17 | franco arenoso |
| | B | 32 | 9 | 59 | arcilloso |
| P - 6 | A | 58 | 11 | 33 | franco- arcillo-arenoso |
| | B | 20 | 20 | 60 | arcilloso |
| Km. 92 | | | | | |
| P - 1 | A | 60 | 31 | 9 | franco arenoso |
| | B | 38 | 18 | 44 | arcilloso |
| P - 2 | A | 75 | 16 | 8 | arena-limoso |
| | B1 | 71 | 12 | 17 | franco arenoso |
| | B1 | 50 | 27 | 23 | franco |
| Bosque húmedo montano bajo: | | | | | |
| Carbonera | | | | | |
| P - 1 | A1 | 4 | 68 | 29 | franco-arcillo-limoso |
| | B1 | 4 | 24 | 73 | arcilloso |
| P - 2 | A1 | 9 | 69 | 22 | franco limoso |
| | B1 | 6 | 37 | 57 | arcilloso |
| P - 3 | A1 | 10 | 75 | 14 | franco limoso |
| | B1 | 9 | 52 | 39 | franco-arcillo-limoso |
| P - 4 | A1 | 5 | 80 | 15 | franco limoso |
| | B1 | 7 | 49 | 44 | arcillo limoso |
| P - 5 | A1 | 10 | 57 | 34 | franco-arcillo-limoso |
| | B1 | 15 | 38 | 47 | arcilloso |
| | B2 | 31 | 44 | 25 | franco |
| Bosque húmedo montano: | | | | | |
| Mucuy | | | | | |
| P - 6 | A1 | 42 | 49 | 9 | franco |
| | A2 | 46 | 38 | 15 | franco |
| P - 8 | A1 | 52 | 44 | 4 | franco arenoso |
| | A2 | 51 | 43 | 5 | franco arenoso |

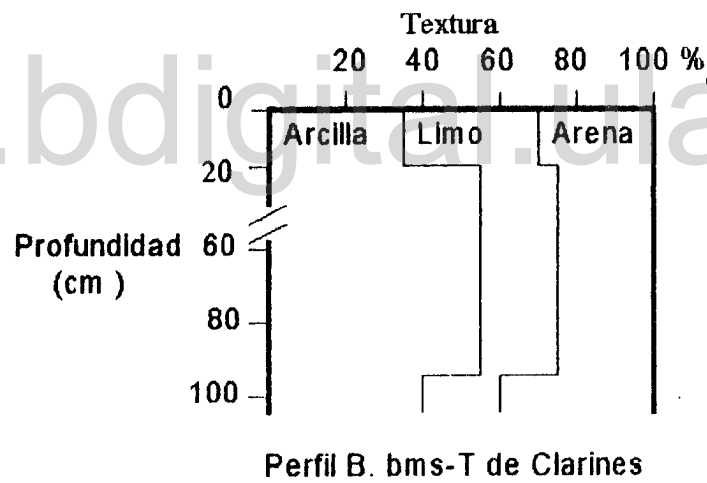
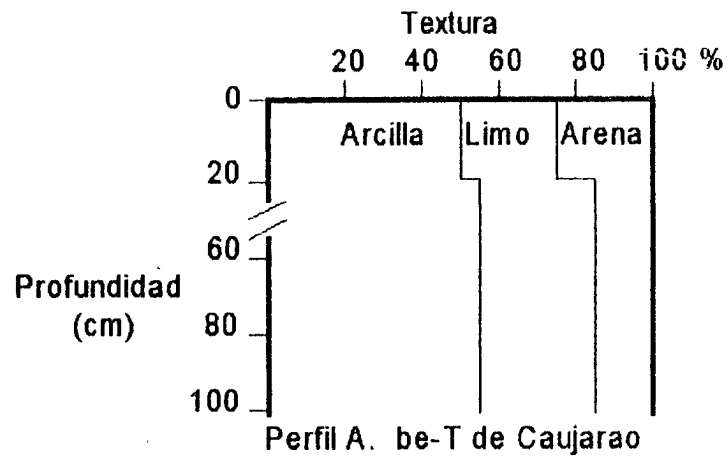
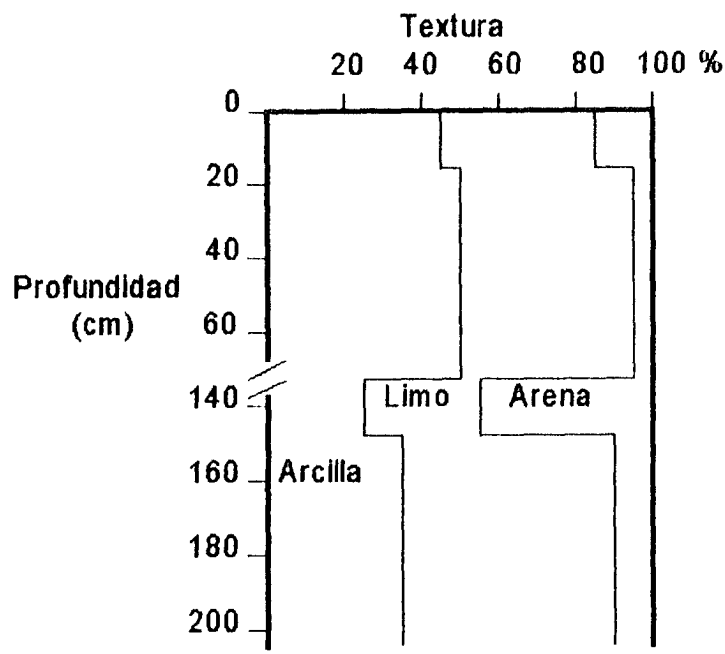
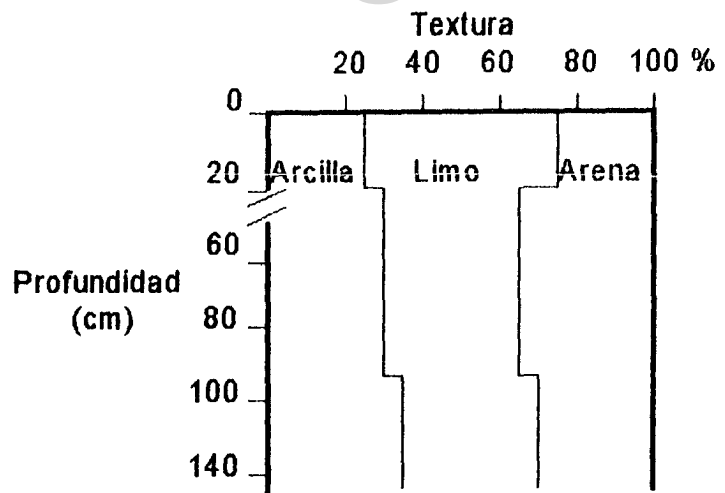


Figura 3. Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en las zonas de vida be-T y bms-T



Perfil A. bs-T de Caimital



Perfil B. bs-T de Ticoporo

Figura 4. Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en la zona de vida bs-T.

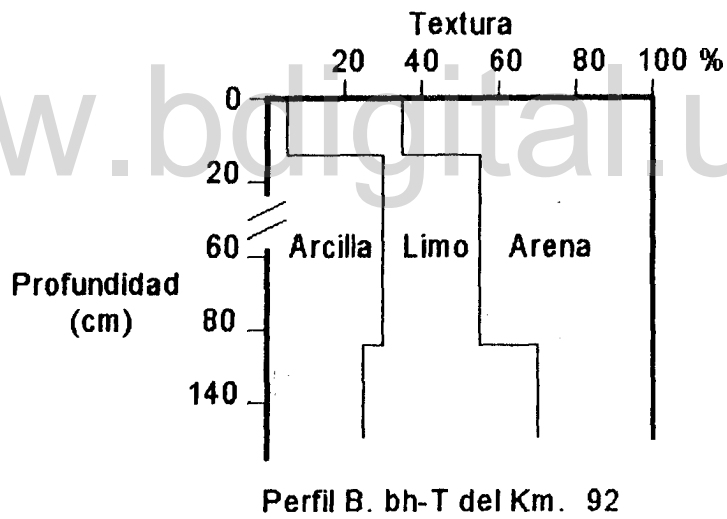
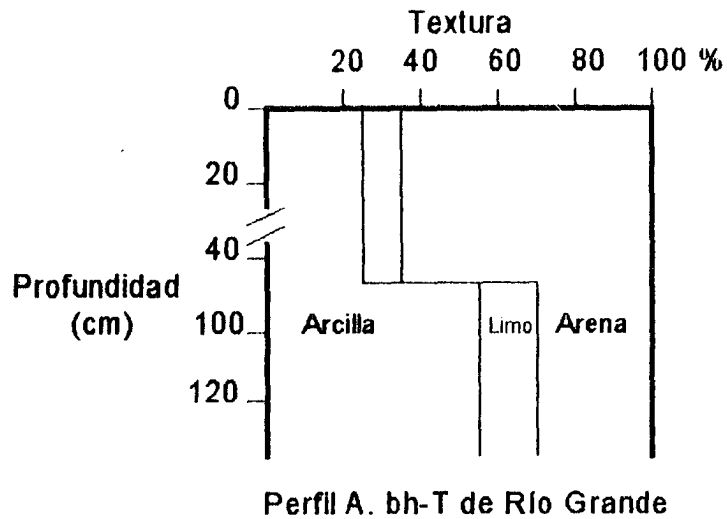


Figura 5. Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en la zona de vida bh-T

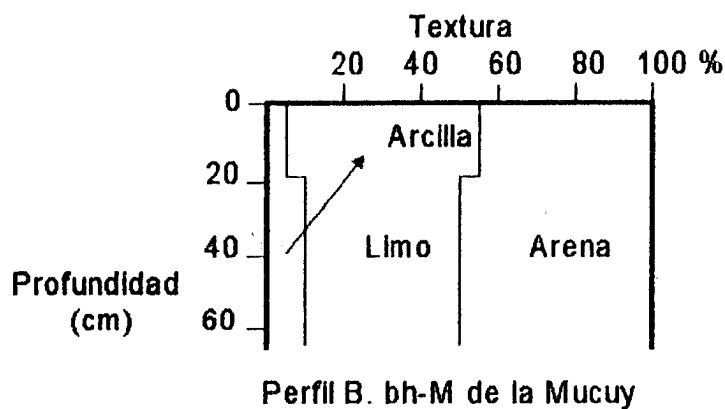
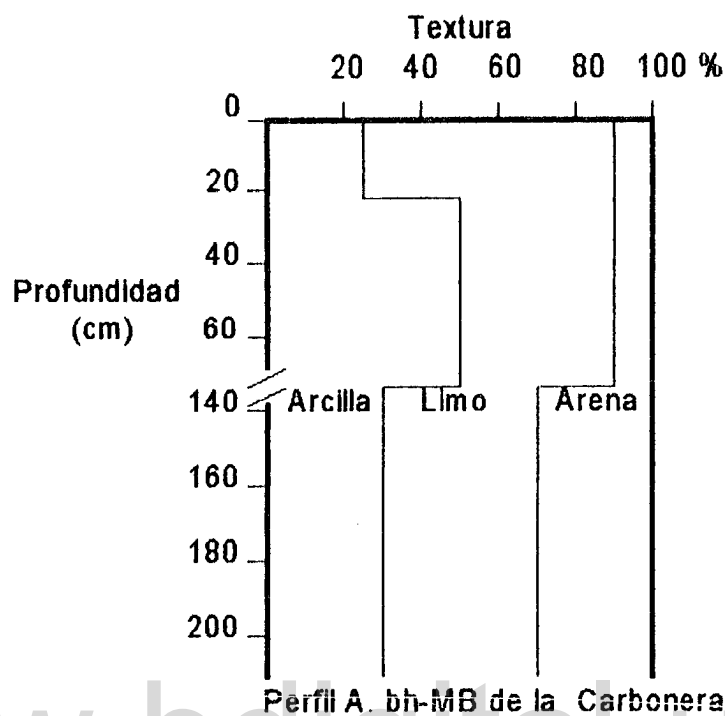


Figura 6. Variación con la profundidad de la textura en los suelos de los perfiles de las parcelas ubicadas en las zonas de vida bh-MB y bh-M.

5.2. TEXTURA DE LOS SUELOS A UNA PROFUNDIDAD DE 0 - 50 CM

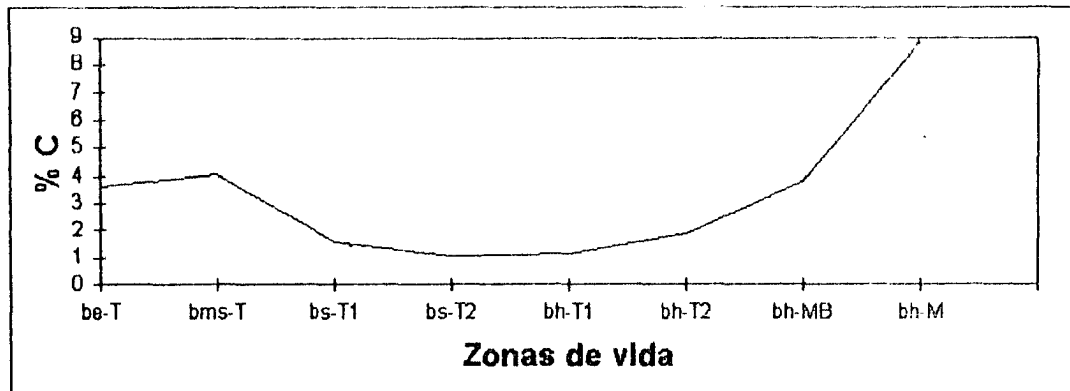
Los resultados del análisis granulométrico realizado a las muestras compuestas, tomadas en los diferentes puntos dentro de cada parcela a una profundidad de 50 cm y por zona de vida se resumen en el Cuadro 2. En éste se presentan valores de porcentajes de arena, limo, arcilla y tipo de suelo. Los resultados mantienen la tendencia que se presenta en el Cuadro 1; en las parcelas de los be-T, bms-T, bs-T (Calmital) y bh-MB, predominan las clases texturales fina a media; los suelos poseen alto contenido de arcilla y limo, los más comunes son: arcilloso, franco - arcilloso, arcillo - limoso y franco - arcillo - limoso. Los porcentajes de arcilla, limo y arena se ubican entre 18 - 58 % (promedio 38%), 18 - 47% (promedio 33%) y 5 - 64% (promedio de 29%) respectivamente. Mientras que en las parcelas de bs-T (Ticoporo), bh-T y bh-M predominan los suelos con textura media a gruesa, los porcentajes de arcilla, limo y arena oscilan entre 6- 42% (promedio 21%), 14 - 60 (promedio 38%) y 9 - 66% (promedio 41%), respectivamente.

5.3. MATERIA ORGÁNICA (M.O.), NITRÓGENO (N) Y RELACIÓN C/N

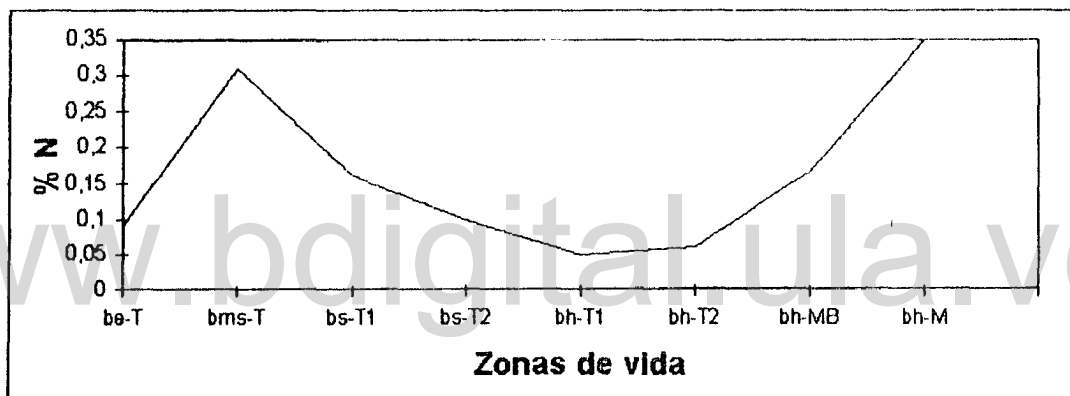
El contenido promedio de materia orgánica de los suelos estudiados, expresado como el porcentaje de carbono (C), a una profundidad de 0 - 50 cm fue de 3,22 %; observándose una gran variabilidad entre ellos. Los valores extremos oscilan entre 1,04 - 8,86 % de C. La Figura 7a muestra la distribución de la concentración de C por zona de vida. El bh-M fue el que presentó el valor más alto en C (8,86 %), seguido por el bms-T con un 4,06 % de C, continuando el bh-MB con 3,80% de C, y el be-T 3,62% de C. El resto de los sitios estudiados, que constituye un 50%, contienen valores de C entre 1,04 y 1,88%.

Cuadro 2. Análisis textural de los suelos a una profundidad de 0 - 50 cm por parcelas en las diferentes zonas de vida

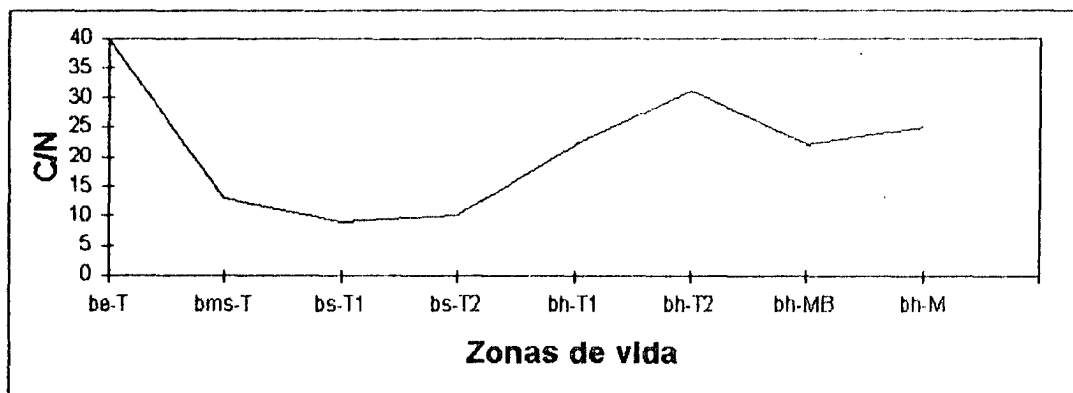
| ZONAS DE VIDA Y PARCELA | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | TIPO DE SUELO |
|------------------------------------|---------|--------|-----------|----------------------------|
| Bosque espinoso tropical: | | | | |
| Caujarao | | | | |
| P - 1 | 20 | 27 | 43 | arcilloso |
| P - 3 | 32 | 28 | 40 | arcilloso |
| Bosque muy seco tropical: | | | | |
| Clarines | | | | |
| P - 3 | 34 | 29 | 37 | franco arcilloso |
| P - 4 | 64 | 18 | 18 | franco arenoso |
| Bosque seco tropical: | | | | |
| Caimital. | | | | |
| P - 1 | 5 | 38 | 58 | arcilloso |
| P - 2 | 32 | 34 | 33 | franco arcilloso |
| P - 3 | 34 | 33 | 33 | franco arcilloso |
| P - 4 | 52 | 22 | 26 | franco - arcillo - arenoso |
| P - 5 | 26 | 31 | 44 | arcilloso |
| P - 8 | 5 | 47 | 48 | arcillo - limoso |
| Ticoporo | | | | |
| P - 1 | 38 | 42 | 20 | franco limoso |
| P - 2 | 11 | 51 | 57 | franco-arcillo-limoso |
| P - 3 | 9 | 60 | 31 | franco-arcillo-limoso |
| Bosque húmedo tropical: | | | | |
| Río Grande | | | | |
| P - 5 | 65 | 14 | 21 | franco - arcillo - arenoso |
| P - 8 | 57 | 18 | 24 | franco - arcillo - arenoso |
| Km. 92 | | | | |
| P - 1 | 66 | 21 | 13 | franco arenoso |
| P - 2 | 57 | 31 | 12 | franco arenoso |
| Bosque húmedo montano bajo: | | | | |
| Carbonera | | | | |
| P - 1 | 22 | 31 | 46 | arcilloso |
| P - 2 | 28 | 36 | 36 | franco arcilloso |
| P - 3 | 19 | 40 | 40 | arcilloso |
| P - 4 | 18 | 40 | 42 | arcilloso |
| P - 5 | 37 | 39 | 24 | franco |
| Bosque húmedo montano: | | | | |
| Mucuy | | | | |
| P - 8 | 59 | 33 | 8 | franco arenoso |
| P - 8 | 42 | 52 | 6 | franco limoso |



A : Contenido promedio de materia orgánica



B : Contenido promedio de nitrógeno



C : Relación C/N

Figura 7. Contenido de materia orgánica, nitrógeno y relación C/N por zonas de vida a una profundidad de 0 - 50 cm.

En la figura 7b se presenta la distribución del contenido promedio de N encontrado en el suelo a una profundidad de 0 - 50 cm. Los valores extremos fueron 0,05 y 0,35 %, el promedio se ubicó en 0,16 %. El bh-M fue el que presentó la mayor concentración de N, con un 0,35 %, seguido por el bms-T (0,31 %), el bh-MB de la (0,17 %), el bs-T de Caimital (0,16%) y el bs-T de Ticoporo (0,10 %). El bosque be-T y los bh-T fueron los que presentaron los valores de N más bajos; 0,09 y 0,06%, respectivamente.

La relación C/N para todos los sitios varió entre 9 y 40, (Figura 7c). El valor máximo correspondió al be-T y el mínimo al bs-T (Caimital).

5.4. RESERVAS DE MATERIA ORGÁNICA Y NITRÓGENO POR SITIOS DE ESTUDIO

Los valores de las reservas de M.O. y N en los suelos estudiados por zona de vida se presentan en el Cuadro 3. La M.O. hasta una profundidad de 50 cm alcanza un máximo en el bh-MB seguido por el bh-M y el be-T. Los valores más bajos se obtuvieron en el bs-T de Ticoporo. Las reservas de N a la misma profundidad no siguen el mismo patrón de la M O, el valor máximo se obtuvo para el bms-T, seguido por los bh-M, bh-MB, be-T y por último el bh-T de Río Grande. En el mismo cuadro, se observa que la máxima cantidad de reserva de N a una profundidad de 0 - 25 cm se encuentra en el bms-T y después disminuye pasando por el bh-M, bh-MB, bs-T de Caimital, be-T, bh-T del Km. 92, bs-T de Ticoporo y, por último, el bh-T de Río Grande. A una profundidad de 25 - 50 cm, el N incrementa a partir del bs-T de Ticoporo hasta alcanzar un máximo en el bms-T.

Cuadro 3. Reserva de materia orgánica y nitrógeno por zona de vida y sitio de estudio

| Zona de vida y sitios de estudio | n | tC/ha± (EE) ^a | TOTAL N kgN/ha± (EE) ^b | kgN/ha± (EE) ^c |
|----------------------------------|----|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| be-T | | | | |
| Caujarao | 10 | 384 ± 20 | 5678 ± 509 | 5678 ± 509 |
| bms-T | | | | |
| Clarines | 10 | 245 ± 62 | 10442 ± 685 | 12048 ± 450 |
| | 5 | | | 8839 ± 919 |
| bs-T | | | | |
| Caimital | 30 | 158 ± 62 | 5397 ± 56 | 7619 ± 317 |
| | 30 | | | 3177 ± 124 |
| Ticoporo | 15 | 112 ± 42 | 3349 ± 76 | 4405 ± 214 |
| | 15 | | | 2295 ± 118 |
| bh-T | | | | |
| Río Grande | 10 | 167 ± 18 | 3258 ± 33 | 4118 ± 176 |
| | 10 | | | 500 ± 52 |
| Km. 92 | 10 | 213 ± 27 | 4235 ± 05 | 5381 ± 303 |
| | 10 | | | 3089 ± 301 |
| bh-MB | | | | |
| Carbonera | 25 | 390 ± 10 | 7706 ± 59 | 7739 ± 650 |
| | 25 | | | 7672 ± 539 |
| bh-M | | | | |
| Mucuy | 10 | 385 ± 83 | 7917 ± 41 | 7917 ± 410 |

a y b: resultados para una profundidad de 0 - 50 cm

c: resultados para dos profundidades, 0 - 25 cm y 25 - 50 cm, a excepción del be-T y el bh-M (solo 0 - 25 cm)

n: tamaño de la muestra

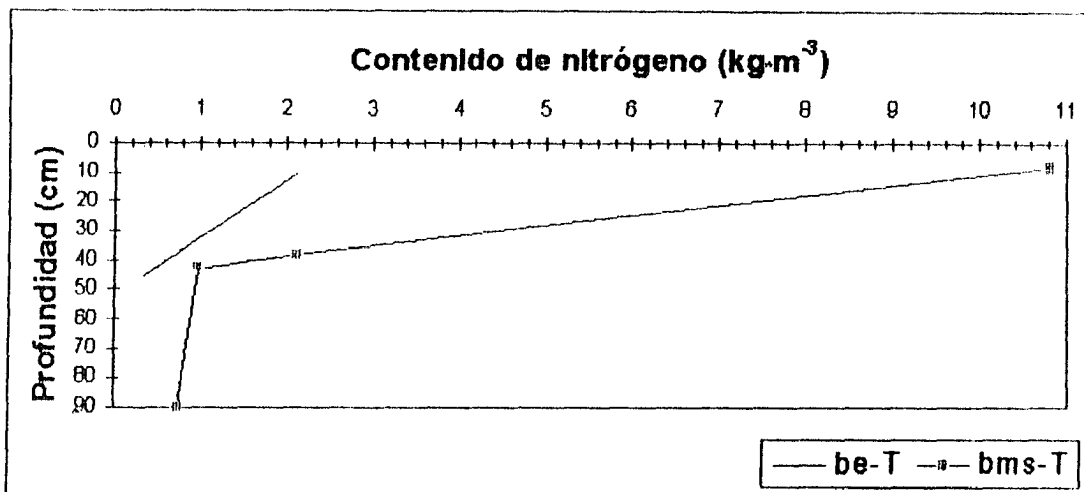
EE: error estándar de la media

5.5. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL NITRÓGENO EN EL SUELO

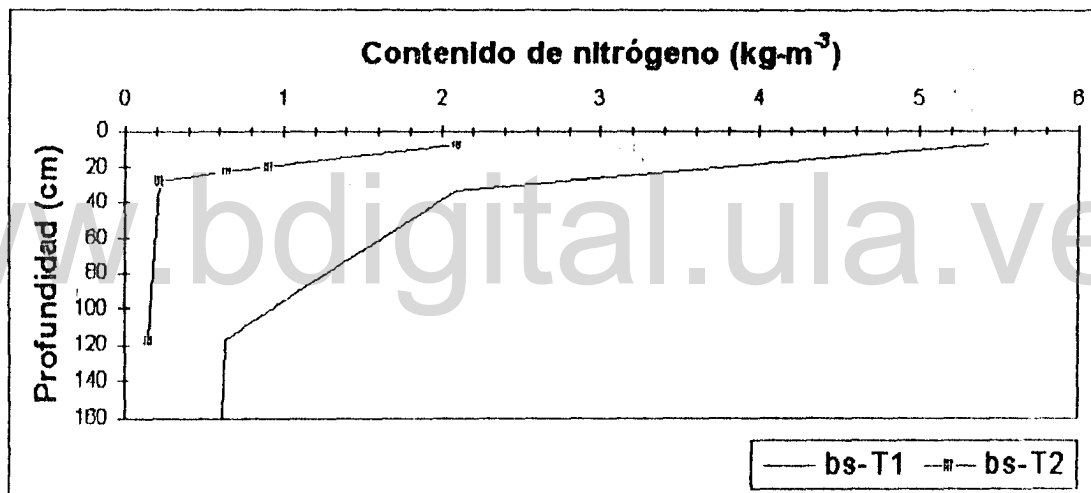
Las Figuras 8 y 9 muestran la variación con la profundidad del contenido del N en el suelo en las diferentes zonas de vida. Se observa una disminución bastante rápida en los primeros 50 cm en todos los sitios estudiados, siendo la misma más acentuada para los bs-T (Ticoporo), bh-T y el be-T. Los que presentaron menor disminución fueron el bh-MB, bh-M, bms-T y el bs-T (Caimital); después de esta profundidad los cambios de los mismos son menos fuertes. Para los be-T y bh-M se desconoce como varía el contenido de N a partir de 50 cm porque estos sitios presentan suelos superficiales con altos contenidos de rocas que se incrementan con la profundidad, las cuales limitan la apertura de calcatas.

5.6. PATRÓN DE VARIACIÓN INTERANUAL DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS BOSQUES TROPICALES VENEZOLANOS

En las Figuras 10 y 11, que muestran el cambio interanual de la productividad de los bosques dentro de las parcelas por zona de vida, se observa una fluctuación sin ningún patrón definido. Las parcelas del be-T tienen una biomasa que varía entre 17,64 y 19,99 t/ha y una productividad promedio de $-0,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, con un mínimo de $0,70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y un máximo de $0,58 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$; la fluctuación es leve (Figura 10a). En el bms-T la biomasa se ubica entre 110,02 y 144,73 t/ha y la productividad promedio en $2,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ con un rango que varía entre 0,76 y $3,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, fluctuando en forma moderada y sin presentar valores negativos (Figura 10a).

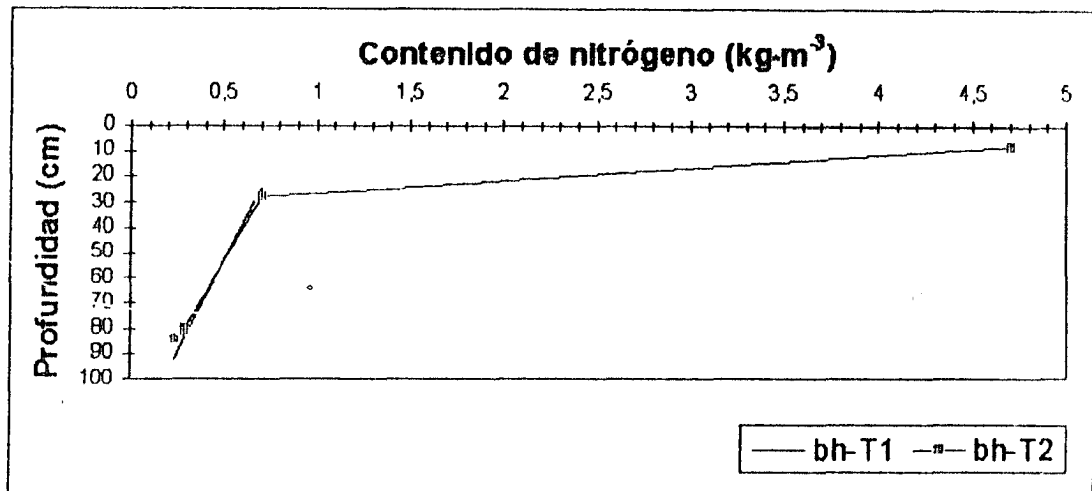


A: be-T (Caujarao) y bms-T (Clarines)

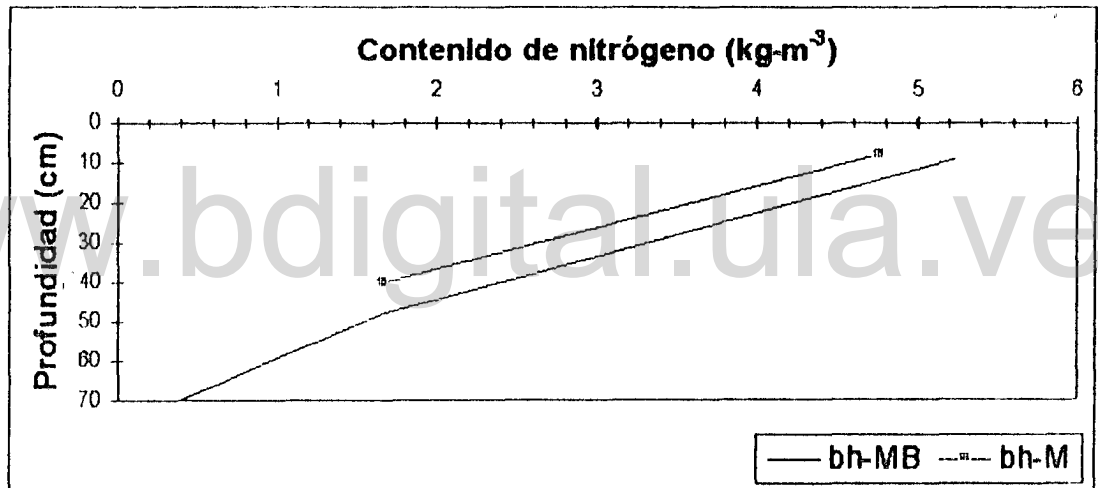


B: bs-T1 (Caimital) y bs-T2 (Ticoporo)

Figura 8. Variación del contenido de nitrógeno en el suelo con la profundidad en la zonas de vida be-T, bms-T y bs-T

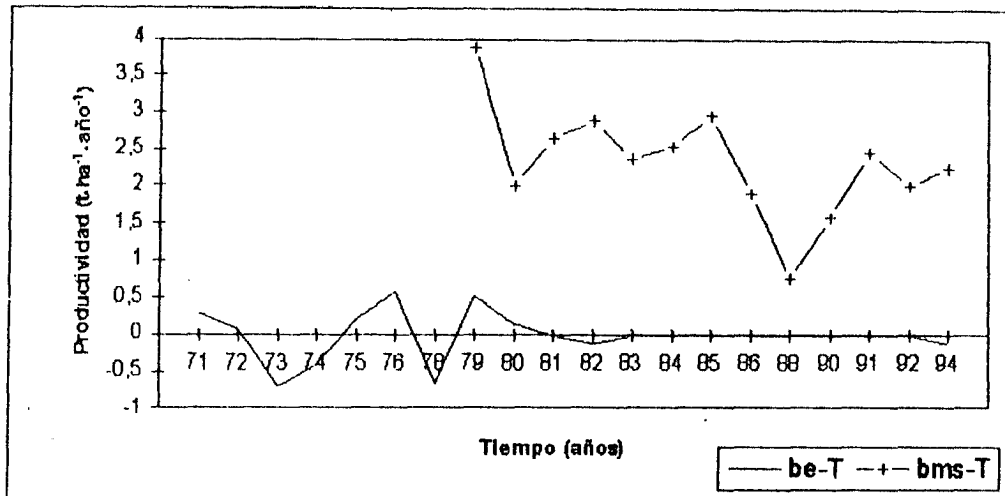


A: bh-T1 (Río Grande) y bh-T2 (Km. 92)

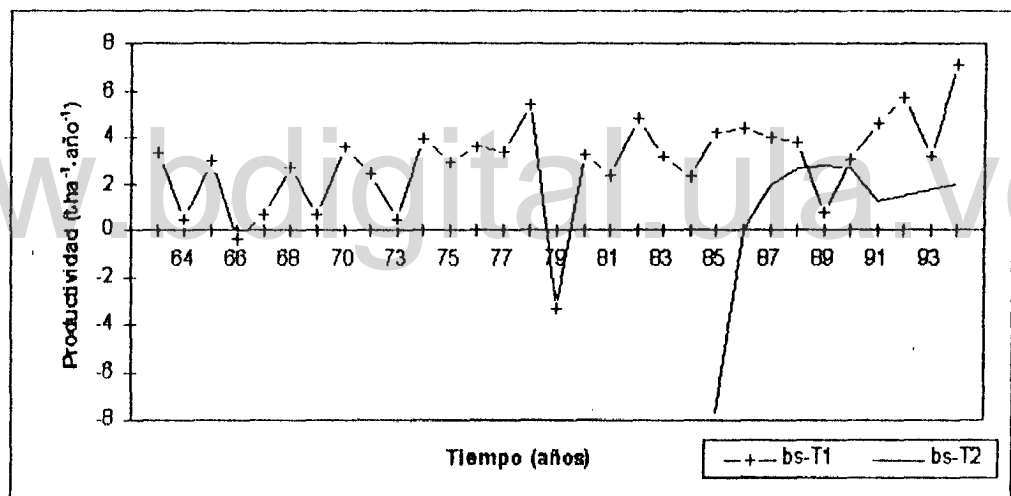


B: bh-MB (Carbonera) y bh-M (Mucuy)

Figura 9. Variación del contenido de nitrógeno en el suelo con la profundidad en la zonas de vida bh-T, bh-MB y bh-M.

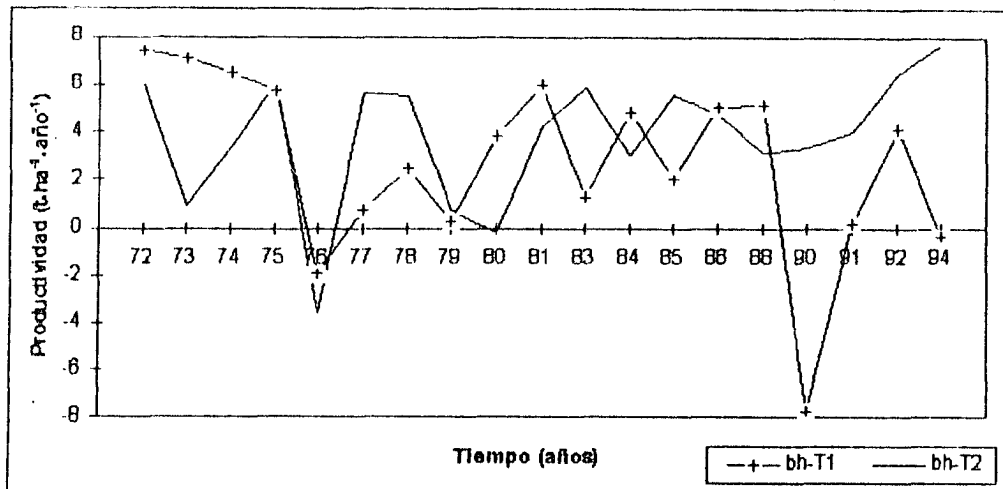


A: Productividad promedio, be-T ($-0,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y bms-T ($2,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)

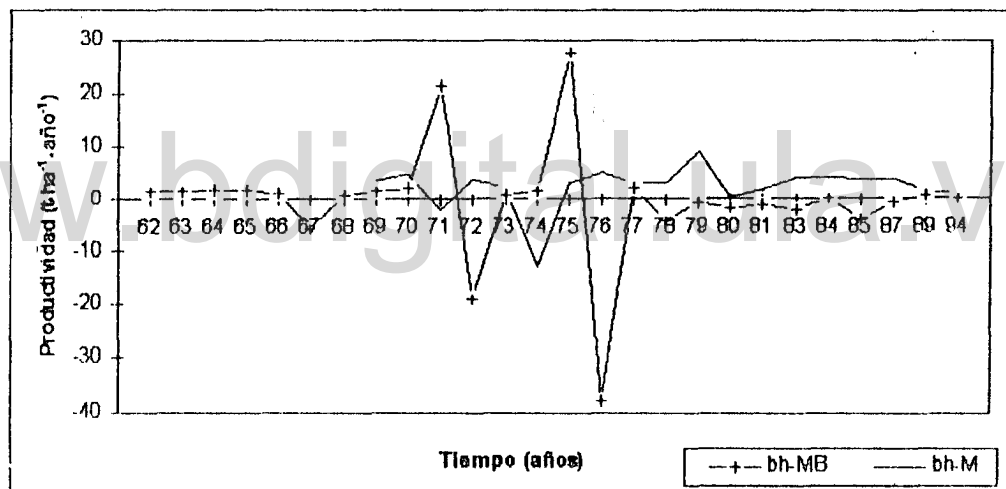


B: Productividad promedio, bs-T1 ($2,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y bs-T2 ($0,02 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)

Figura 10. Variación interanual de la productividad del bosque natural en la zonas de vida be-T, bms-T y bs-T.



A : Productividad promedio, bh-T1 ($2,64 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y bh-T2 ($3,83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)



B: Productividad promedio, bh-MB ($-0,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y bh-M ($2,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)

Figura 11. Variación interanual de la productividad del bosque natural en la zonas de vida bh-T, bh-MB y bh-M

En las parcelas del bs-T de Caimital con una biomasa entre 146,55 y 228,25 t/ha, la productividad promedio se ubicó en 2,86 86 t·ha⁻¹·año⁻¹, con un mínimo de -0,43 t·ha⁻¹·año⁻¹ y un máximo de 7,10 t·ha⁻¹·año⁻¹; en una sola oportunidad alcanza un valor negativo importante y es en el año 1979 (-3,30 t·ha⁻¹·año⁻¹) Figura 10b. Por otra parte en el bs-T de Ticoporo, la biomasa está entre 133,63 y 148,67 t/ha, la productividad promedio es de 0,02 t·ha⁻¹·año⁻¹, con una variación entre -7,74 y 2,66 t·ha⁻¹·año⁻¹, mostrando un patrón de crecimiento bastante rápido Figura 10b.

En los dos tipos de bosques húmedos tropicales de las parcelas ubicadas en la región de Guayana (Figura 11a), el de Río Grande posee una biomasa entre 327,17 y 379,87 t/ha, la productividad promedio está entre 2,64 t·ha⁻¹·año⁻¹, con un mínimo de -7,76 y un máximo de 7,37 76 t·ha⁻¹·año⁻¹. En el Km. 92, la biomasa varía entre 313,22 y 405,01 t/ha y la productividad promedio es de 3,83 t·ha⁻¹·año⁻¹, con un rango entre 3,64 y 7,70 t·ha⁻¹·año⁻¹, en ambos lugares se observa una fluctuación moderadamente fuerte.

Para los bosques en las parcelas de la región de los Andes (Figura 11b), el bh-MB posee una biomasa que oscila entre 227,54 y 293,49 t/ha, la productividad promedio es -0,43 t·ha⁻¹·año⁻¹, variando entre -37,94 y 27,49 t·ha⁻¹·año⁻¹. El bh-M, con una biomasa entre 271,64 y 317,74 t/ha posee una productividad promedio de 2,09 t·ha⁻¹·año⁻¹, con mínimo de -12,94 t·ha⁻¹·año⁻¹ y un máximo de 9,04 t·ha⁻¹·año⁻¹. Entre estos dos tipos de bosques, el bh-MB es el que presenta la fluctuación más fuerte.

5.7. RELACIONES ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO, ARENA, LIMO Y ARCILLA DEL SUELO

Los resultados del análisis de correlación lineal simple realizado entre la productividad total del bosque para un período de cinco años (1989 - 1994), por categorías diamétricas y para todas las categorías versus el contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla, en el suelo a una profundidad de 0 - 25 y 25 - 50 cm se presentan en el Cuadro 4. Debido a que en este análisis solamente se evalúa el grado de asociación o correlación entre dos variables, se realizó el análisis de correlación parcial (Cuadro 5), el cual mide la correlación entre una variable dependiente y una independiente, manteniendo constantes a las demás variables. El Cuadro 6 contiene algunos estadísticos descriptivos para las variables consideradas en los análisis de correlación.

En el análisis de correlación entre la productividad por categorías diamétricas y todas las categorías versus el contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla por tipos de bosque y zonas de vida estudiados, los valores de los coeficientes de correlación (r) fueron muy variados.

5.7.1. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SUELO

La productividad total por categorías diamétricas, y para todas las categorías, no exhibió asociación lineal significativa, a un nivel de significancia (α) de 5 %, con el contenido de N en el suelo, a una profundidad de 0 -25 cm; con coeficientes de correlación (r) entre -0,246 y 0,286 (Cuadro 4). En la segunda profundidad (25 - 50 cm), sólo la primera categoría diamétrica (10 - 30 cm) mostró asociación lineal positiva significativa, a un $\alpha = 5 \%$; con un coeficiente de correlación (r) de 0,519.

Cuadro 4. Análisis de correlación lineal simple a un nivel de confianza igual a 5% entre la productividad del bosque por clases diamétricas y todas las clases y el contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla del suelo, a dos profundidades. Nivel de significancia igual a 5%.

| Profundidad y variable considerada | Coeficientes de correlación lineal simple (r) | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 - 30 | Signf. | 30 - 50 | Signf. | 50 - 70 | Signf. | 70 - 90 | Signf. | > 90 | Signf. | Todas | Signf. |
| Profundidad : 0 - 25 cm | | | | | | | | | | | | |
| Nitrógeno | 0.252 ^a | ns | -0.247 | ns | 0.286 | ns | 0.088 | ns | 0.198 | ns | 0.235 | ns |
| | 23 ^b | | 22 | | 21 | | 20 | | 12 | | 23 | |
| Arena | -0.423 | ns | 0.440 | ns | -0.352 | ns | 0.188 | ns | 0.204 | ns | 0.022 | ns |
| | 23 | | 22 | | 21 | | 20 | | 12 | | 23 | |
| Limo | 0.09 | ns | -0.09 | ns | 0.115 | ns | -0.159 | ns | -0.424 | ns | -0.181 | ns |
| | 23 | | 22 | | 21 | | 20 | | 12 | | 23 | |
| Arcilla | 0.526 | * | -0.561 | * | 0.411 | ns | -0.137 | ns | 0.064 | ns | 0.117 | ns |
| | 23 | | 22 | | 21 | | 20 | | 12 | | 23 | |
| Profundidad : 25 - 50 cm | | | | | | | | | | | | |
| Nitrógeno | 0.519 | * | -0.192 | ns | -0.143 | ns | -0.127 | ns | -0.455 | ns | -0.211 | ns |
| | 19 | | 19 | | 18 | | 17 | | 12 | | 19 | |
| Arena | -0.341 | ns | 0.368 | ns | -0.306 | ns | 0.355 | ns | 0.204 | ns | 0.102 | ns |
| | 19 | | 19 | | 18 | | 17 | | 12 | | 19 | |
| Limo | 0.324 | ns | 0.259 | ns | 0.131 | ns | -0.181 | ns | -0.424 | ns | -0.195 | ns |
| | 19 | | 19 | | 18 | | 17 | | 12 | | 19 | |
| Arcilla | 0.253 | ns | -0.362 | ns | 0.380 | ns | -0.410 | ns | 0.060 | ns | 0.013 | ns |
| | 19 | | 19 | | 18 | | 17 | | 12 | | 19 | ns |

a: coeficiente de correlación (r)

b: número de observaciones

Cuadro 5. Análisis de correlación lineal parcial a un nivel de confianza igual a 5% entre la productividad del bosque por clases diamétricas y todas las clases y el contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla del suelo, a dos profundidades; número de observaciones igual a 11.

| Profundidad y variable considerada | Coeficiente de correlación lineal parcial (r) | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10-30 | Signf. | 30-50 | Signf. | 50-70 | Signf. | 70-90 | Signf. | > 90 | Signf. | Todas | Signf. |
| Prof. 0 - 25 cm | | | | | | | | | | | | |
| Nitrógeno | -0,210 ^a | ns | -0,117 | ns | -0,052 | ns | 0,838 | ns | -0,102 | ns | 0,497 | ns |
| Arena | -0,645 | ns | -0,015 | ns | -0,318 | ns | 0,549 | ns | -0,178 | ns | -0,13 | ns |
| Limo | -0,642 | ns | -0,015 | ns | -0,32 | ns | 0,551 | ns | -0,181 | ns | -0,129 | ns |
| Arcilla | -0,647 | ns | -0,018 | ns | -0,316 | ns | 0,538 | * | -0,176 | ns | -0,137 | ns |
| Prof. 25 - 50 cm | | | | | | | | | | | | |
| Nitrógeno | 0,346 | * | 0,02 | ns | -0,681 | ns | -0,192 | ns | -0,548 | ns | -0,536 | ns |
| Arena | -0,713 | * | 0,067 | ns | -0,226 | ns | -0,151 | ns | 0,023 | ns | -0,397 | ns |
| Limo | -0,711 | * | 0,067 | ns | -0,235 | ns | -0,154 | ns | 0,017 | ns | -0,402 | ns |
| Arcilla | -0,712 | ns | 0,061 | ns | -0,219 | ns | -0,153 | ns | 0,027 | ns | -0,394 | ns |

a: coeficiente de correlación lineal parcial (r)

Cuadro 6. Algunos estadísticos descriptivos para la productividad del bosque por clases diamétricas, para todo el grupo de especies, contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla del suelo a dos profundidades.

| | PRODUCTIVIDAD ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) POR CLASES DIAMÉTRICAS (cm) | | | | | | N(kg/ha) | Are.% | Limo.% | Arc.% |
|------------------|--|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-------|--------|-------|
| | 10-30 | 30-50 | 50-70 | 70-90 | >90 | Todas | | | | |
| Prof. 0 - 25 cm | | | | | | | | | | |
| n | 23 | 22 | 21 | 20 | 12 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| Suma | 5,37 | 119,72 | 4,78 | 79,05 | 60,05 | 263,28 | 161324 | 812,8 | 785,9 | 701,6 |
| Mínimo | -16,61 | -11,54 | -39,25 | -18,05 | 0,08 | -15,73 | 2572 | 4,57 | 13,78 | 6,06 |
| Máximo | 10,39 | 33,14 | 27,93 | 25,61 | 24,01 | 34,28 | 12462 | 66,22 | 60,23 | 58,37 |
| Media | 0,233 | 5,44 | 0,228 | 3,953 | 5,004 | 11,447 | 7014 | 35,34 | 34,17 | 30,51 |
| Desv. Est. | 6,29 | 10,374 | 14,235 | 10,661 | 7,493 | 12,599 | 2761 | 19,74 | 11,65 | 13,89 |
| Prof. 25 - 50 cm | | | | | | | | | | |
| n | 19 | 19 | 18 | 17 | 12 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Suma | 22,01 | 71,77 | 8,88 | 92,49 | 60,05 | 241,11 | 84523 | 644,8 | 644,9 | 607,6 |
| Mínimo | -6,98 | -1,54 | -39,25 | -18,05 | 0,08 | -15,73 | 1959 | 4,57 | 13,78 | 12,04 |
| Máximo | 10,39 | 25,84 | 27,93 | 25,61 | 24,01 | 34,28 | 10677 | 66,22 | 60,23 | 58,73 |
| Media | 1,16 | 3,78 | 0,49 | 5,44 | 5,00 | 12,69 | 4449 | 34,09 | 33,94 | 31,98 |
| Desv. Est. | 4,95 | 8,22 | 14,52 | 10,51 | 7,49 | 13,31 | 2802 | 20,94 | 12,00 | 12,64 |

El contenido de N en el suelo para la primera profundidad no mostró asociación significativa con la productividad, a un $\alpha = 5\%$. Para la segunda profundidad y en la primera categoría diamétrica se consiguió una asociación entre la productividad y el N en el suelo, a un $\alpha = 5\%$; con un $r = 0,346$, menor que el primero.

5.7.2. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE ARENA EN EL SUELO

La productividad y el contenido de arena en el suelo, no mostraron asociaciones lineales significativas, a un nivel de probabilidad del 95 %, en las dos profundidades (Cuadro 4). Estos resultados se mantienen en el análisis de correlación lineal parcial para la primera profundidad. En la segunda, sólo la primera categoría diamétrica (10 - 30 cm de d) mostró una buena asociación lineal negativa significativa, con un $r = -0,713$, significativo al 5%.

5.7.3. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE LIMO EN EL SUELO

El contenido de limo en el suelo también mostró ser no significativo en el análisis de correlación simple tanto para la primera como la segunda profundidad, así como para el análisis de correlación lineal parcial en la primera profundidad (Cuadro 4 y 5). En este último análisis, la productividad de la categoría diamétrica 10 - 30 cm mostró asociación lineal significativa negativa con el contenido de limo en suelo; con un r de $-0,71$.

6.7.4. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO DE ARCILLA EN EL SUELO

Entre el contenido de arcilla en el suelo a una profundidad de 0 - 25 cm y la productividad del bosque se encontró una asociación significativa positiva (0,526) y negativa (-0,561), respectivamente, para las categorías diamétricas 10 - 30 y 30 - 50 cm (Cuadro 4). Las demás categorías diamétricas y todas las categorías no mostraron asociación significativa con la arcilla. Estos resultados fueron encontrados, también, cuando el análisis se realizó para todas las categorías diamétricas y el total a una profundidad de 25 - 50 cm.

En el análisis de correlación parcial entre la arcilla y la productividad, la categoría diamétrica 70 - 90 cm de d, mostró asociación lineal positiva (Cuadro 5), a un nivel de significancia del 5%, con un r de 0,538. Las demás categorías diamétricas y todas las categorías no mostraron asociación lineal con el contenido de arcilla del suelo en ninguno de los análisis.

VI. DISCUSIÓN

6.1. FACTORES REGULADORES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Los suelos estudiados presentan un mayor contenido de materia orgánica cuando se avanza desde el bs-T hasta el bh-M, y desde el bs-T hasta el bms-T; luego vuelve a disminuir en el be-T. Un patrón similar a éste fue encontrado por Díaz - Romeu *et al.* (1970) en los suelos de América Central. Al aumentar la precipitación, los niveles de materia orgánica muestran un incremento notable para alcanzar su valor máximo en el bh-M de La Mucuy. La diferencia entre el contenido de materia orgánica en los suelos ubicados en las zonas de vida más secas (be-T y bms-T), puede explicarse por la densidad, ya que el primero contiene 272 arb/ha mientras que en el segundo es de 583 arb/ha, la mayor densidad del último se traduce en un incremento en la adición anual de restos orgánicos. Sin embargo, las reservas de materia orgánica en el suelo del bms-T es menor que en el be-T. Aquí podría estar influenciando el tipo de suelo, el cual es más arcilloso en el be-T que en el bms-T. Según Parton *et al.* (1987) el contenido de materia orgánica se incrementa con un aumento del contenido de arcilla en los suelos. Foth *et al.* (1975) señalan que las arcillas absorben las enzimas de descomposición inactivándolas; también expresan, que las moléculas orgánicas absorbidas en las arcillas están parcialmente protegidas de la descomposición por los microorganismos.

El mayor contenido y reserva de M.O. en los suelos de los sitios ubicados en el be-T y bms-T, respecto a los de los bs-T y bh-T, puede deberse a un mayor contenido de arcilla, viéndose afectada de esta manera la velocidad de la descomposición. Parton *et al.* (1987) señalan que la textura, principalmente la arcilla y el limo juegan un papel importante en la determinación de la M.O., es decir, si el suelo es dominado por arena, la M.O. es menor en comparación con los suelos

arcillosos, y en éstos es igualmente mayor que en los de textura media de sus alrededores. Adicionalmente, las altas superficies de los suelos arcillosos estabilizan los residuos orgánicos, debido a la adsorción de los productos en descomposición sobre las superficies de las arcillas. El material retenido es más difícil de descomponerse que los residuos orgánicos en la solución del suelo o los que existen como piezas discretas de M.O. en el suelo (Hassett y Banwart, 1992).

El incremento del contenido de la M.O. desde el bs-T hasta el bh-T, puede atribuirse principalmente a la acumulación que se produce en el último, por una disminución en la actividad microbiana y la descomposición de la M.O., como consecuencia de la disminución de la temperatura y el aumento de la precipitación. Estos resultados se corresponden con los encontrados por otros autores (e. g. Alexander y Pichott, 1979; Brown y Lugo, 1982). Shanks y Olson (1961), en comparaciones hechas a diferentes altitudes en rodales naturales, concluyeron que la hojarasca tiene una descomposición media de casi del 2 % por 1 °C de disminución de la temperatura. El alto contenido y reserva de M.O. acumulada en los sitios de mayores altitudes (bh-MB y bh-M) obedece también a la acidez de estos suelos. En estos dos tipos de bosques se presenta una situación similar a la de los bosques más secos (be-T y bms-T), pues el bh-MB posee una reserva de M.O. promedio de 390 t C/ha (3,8 % de C), mayor que el bh-M con un promedio de 385 t C/ha (8,86 % de C); la diferencia entre estos dos bosques puede explicarse también por el tipo de suelo arcilloso predominante en el bh-MB versus el arenoso del bh-M. En este último, se favorece la aireación y, por consiguiente, la descomposición de la M.O. En un estudio realizado a diferentes altitudes de la Cordillera de Los Andes de Venezuela, Hetsch y Fölster (1982) indican que la cantidad de materia orgánica depende primeramente de la producción primaria neta vegetal y la tasa de descomposición microbiana.

6. 2. FACTORES QUE REGULAN EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SUELO

El contenido y reserva de N en los suelos aumenta desde el bh-T (0,05 % N y 3743 kgN/ha) hasta el bh-M (0,35 % N y 7917 kgN/ha) y del bh-T hasta el bms-T (0,31 % N y 5398 kgN/ha); en el be-T vuelve a disminuir (0,09 % N y 5678 kgN/ha). El bajo contenido de N en los suelos de los bh-T puede atribuirse principalmente a la alta tasa de descomposición del material orgánico depositado en el suelo, lo que resulta en una mayor liberación de N mineral y, por lo tanto, una rápida asimilación por las plantas. La relación C/N de la M.O. es un buen indicador de la velocidad de descomposición de los restos orgánicos depositados en el suelo por la acción de los microorganismos que pueden mineralizar o inmovilizar el N (Payne, 1993).

Los valores probables críticos de la relación C/N generalmente se ubican entre 15 y 30; esto significa que si el material agregado contiene menos N que el requerido por los microorganismos, entonces toman el adicional requerido de la solución del suelo por la absorción del NH_4^+ y NO_3^- para suplir sus necesidades (Black, 1975). Sin embargo, Pritchett (1975) establece que el N de los materiales orgánicos queda disponible para las plantas después que la relación C/N se aproxima a 10:1. Las relaciones C/N de los bh-T, bh-MB y el bh-M entran en la primera condición y la de los bs-T y bms-T en la segunda. En ambos casos, el N contenido en el suelo se considera suficiente para suplir tanto los requerimientos de los microorganismos como los de las plantas superiores. El be-T se caracteriza por presentar la más alta relación C/N; lo que indica que el material depositado en estos suelos es muy pobre en N, resultando en una inmovilización de este último por los microorganismos del suelo, lo que se traduce en una reducción de la disponibilidad del mismo para las plantas.

La mayor cantidad del N en el suelo proviene de la materia orgánica; por tal motivo, todos los factores que afectan a esta última, también se reflejan en el contenido y reserva de N en el suelo. Entre los agentes más importantes se encuentran el agua, el oxígeno, el pH y la temperatura (Thompson y Troeh, 1980). Thairtsa y Granare (1979) concluyen, al igual que otros autores, que la intensidad máxima de descomposición de M.O. se alcanza a condiciones de humedad relativa entre 60 - 80 %. Así mismo, Brown y Lugo (1982) sostienen que pequeñas diferencias de C y N entre suelos se debe más a factores bióticos que a las diferencias inherentes al suelo mineral.

6.3. ALGUNOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCTIVIDAD DEL BOSQUE

Aunque el contenido de N en el suelo en la zona de vida bs-T es de 0,09 %, superando al bh-T (0,06 %) y muy próximo al bs-T (0,13 %), pareciera no ser un factor limitante en el incremento de la productividad. En cambio las condiciones climáticas muy áridas del lugar, principalmente la alta temperatura y la baja precipitación media anual (28,5 °C y 420 mm, respectivamente), con 9,6 meses secos, influyen fuertemente en el crecimiento del bosque. La baja productividad de este bosque también es el reflejo de la edad, la posición fisiográfica donde se encuentra (ladera de aproximadamente 35 % de pendiente), sobreexplotación, el pastoreo extensivo e incontrolado, la erosión del suelo, y la baja densidad arbórea con individuos de poco diámetro (< 30 cm d) y de poca altura (< 6 m). Otro factor que podría estar influyendo en la productividad, es el escaso volumen disponible de suelo, causado por la abundancia de rocas y gravas tanto en la superficie como en la parte interior del suelo, acompañado de una textura arcillosa, que tiende a compactarse en la época de sequía, limitando el crecimiento radical a poca profundidad del suelo y el agua disponible para las plantas y que también afecta la absorción de nutrientes.

En la zona de vida bms-T el clima es más favorable que el anterior, con una temperatura media anual de 28,3 °C, precipitación media anual de 527 mm y 7 meses secos, esto origina condiciones más húmedas y frescas que resultan en un mayor crecimiento en los árboles; ejemplo de ello, es la presencia de individuos superiores a los 80 cm y alturas que superan a los 20 m. En relación a las propiedades del suelo en el lugar, en primera instancia existe un alto contenido de N, con lo cual se asegura que en el mismo no escasee y, por lo tanto, no se bloqueen los procesos de crecimiento y reproducción del bosque. En segundo lugar, aunque el área posee alto contenido de rocas y gravas tanto en la superficie como en el subsuelo, el volumen del mismo para el crecimiento radical es mayor que en el be-T. Adicionalmente, la clase textural varía de franco - arcillosa a franco arenosa, es decir, hay un mayor predominio de arena, la cual mejora la aireación del suelo y el movimiento y difusión de gases, elementos requeridos para la propagación de raíces y para el crecimiento de las plantas y los microorganismos descomponedores de la materia orgánica.

En las zonas de vida bs-T (Llanos Occidentales) y bh-T (región de Guayana), en donde existen árboles de gran tamaño (alturas > 25m y diámetros > 90 cm, la masa forestal se recupera rápidamente después de una caída de árboles por lluvias fuertes o vientos huracanados. La misma es favorecida por las condiciones climáticas, principalmente la temperatura y la precipitación, factores que influyen positivamente tanto en el desarrollo de la vegetación como en la actividad de los microorganismos, que actúan como agentes descomponedores de los restos orgánicos. Los nutrientes liberados por la descomposición, especialmente el contenido de N en el suelo, son inmediatamente absorbidos por las plantas y utilizados en sus procesos fisiológicos. Por otra parte, los suelos de estos bosques son bastantes profundos, de texturas franco - arcilloso, franco - arcillo - limoso hasta franco - arcillo - arenoso, los cuales permiten que las raíces de las plantas exploren mayor superficie y volumen de suelo en busca de mejores condiciones para su desarrollo.

En las zonas vida bh-MB y bh-M en donde prevalecen condiciones climáticas con temperaturas moderadas y precipitaciones altas, la mayoría de los árboles se encuentran por debajo de los 50 cm de diámetro, superando los 70 cm. En este último grupo se encuentra un exceso de árboles seniles que presentan un crecimiento casi estancado (Veillon, 1985); lo que afecta fuertemente el rodal. Otro factor importante en estos bosques es la mortalidad de árboles. Según Franklin *et al.* (1987), la misma se atribuye a una combinación de elementos como la senescencia, competencia, vientos fuertes y enfermedades que se incrementan con la edad del bosque. De acuerdo a un estudio realizado por Carey *et al.* (1994), en el bh-T y bh-MB de Venezuela, la mayor mortalidad anual ocurre en los árboles de gran tamaño y la mayoría mueren en pie (64%), seguidos por los caídos (17%), descopados (11%) y otras causas desconocidas (11%).

Los bosques mencionados presentan una gran variabilidad entre ellos respecto a la productividad promedio con $2,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para el bh-M y $-0,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para el bh-MB. Este valor negativo se puede explicar parcialmente por la mortalidad de algunos árboles, especialmente si son de diámetros grandes. Arends *et al.* (1992) encontraron que la recuperación de estas selvas nubladas es muy lenta en comparación con otros ecosistemas. La alta tasa de producción del bh-M en comparación al bh-MB se puede atribuir principalmente al suelo en este lugar, de textura arenosa, característica que favorece la aireación del suelo, descomposición de la materia orgánica y penetración de las raíces en busca de nutrientes especialmente el N, que se encuentra en mayores concentraciones (0,35 %) que en el bh-MB, en donde predomina una textura arcillosa con 0,17 % de N en el suelo.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos tanto en los trabajos de campo como en los de laboratorio, permiten formular algunas conclusiones y recomendaciones en relación a la productividad del bosque y su relación con el contenido de nitrógeno, arena, limo y arcilla en el suelo dentro de las parcelas de crecimiento evaluadas por zonas de vida.

- En las parcelas de las zonas de vida be-T, bms-T, bs-T (Caimital) y el bh-MB predominan suelos con una clase textural media a fina; el contenido de arcilla está alrededor del 30 - 50 % y el de limo en 40 - 50 %. En cambio, las parcelas de los bs-T de (Ticoporo), bh-T y el bh-M poseen suelos con textura media a gruesa; en ambos casos el contenido de limo y arena se ubica entre el 30 y 50 %.

- El contenido de materia orgánica promedio, expresado como el porcentaje de carbono, fue de 3,13 %, incrementándose a partir del bs-T (1,12 %) hasta el bh-M (8,86 %). También se observó un aumento desde el bs-T hasta los be-T y bms-T, con un promedio de 3,84 %.

- El contenido promedio del nitrógeno en los suelos fue del 0,16 %, disminuyendo con la profundidad. El mismo tiende a aumentar a partir del bh-T hasta el bh-M, y del bh-T hasta el bms-T, después vuelve a decrecer en el be-T.

- Las parcelas del bh-T del Km. 92 fueron la que presentaron la más alta productividad promedio con $3,83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, seguida en orden decreciente por las del bs-T de Caimital ($2,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), bh-T de Río Grande ($2,64 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), bms-T del Cerro El Coco ($2,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), bh-M de la Mucuy ($2,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), be-T de Caujarao ($-0,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y, por último, el bh-MB de la Carbonera ($-0,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). Esta baja productividad interanual es el reflejo de las intervenciones

humanas y el pastoreo, para el primero, y la muerte de árboles en pie de pequeños y grandes diámetros, para el segundo.

- El contenido de N en el suelo, a una profundidad de 25 - 50 cm, mostró asociación significativa positiva con la productividad del bosque dentro de las parcelas, particularmente con los árboles que poseen diámetros menores de 30 cm.

- Los contenidos de arena y limo en el suelo, en el análisis de correlación parcial para 25 - 50 cm de profundidad, mostraron asociación significativa negativa con la productividad para los individuos con diámetro entre 10 y 30 cm, dentro de las parcelas de crecimiento.

- En el análisis de correlación lineal simple, el contenido de arcilla para una profundidad de 0 - 25 cm, dentro de las parcelas, mostró asociación significativa positiva con los individuos en las categorías diamétricas 10 - 30 cm y negativa para la categoría diamétrica de 30 - 50 cm. En el análisis de correlación parcial el contenido de arcilla también mostró asociación positiva en la categoría de 70 - 90 cm en las parcelas.

Entre las propiedades del suelo, que parecen tener una gran influencia en la productividad de los bosques dentro las parcelas de crecimiento, y que por lo tanto ameritan más atención, se incluyen:

- El contenido de humedad en el suelo y la tasa de descomposición de la materia orgánica, especialmente los factores bióticos y abióticos que las afectan.

- Los contenidos en el suelo de otros macronutrientes tales como fósforo, potasio, calcio y magnesio.

- Otro t3pico que merece mayor atenci3n en los bosques de las parcelas, y por zonas de vida, es la mortalidad, ya que la acumulaci3n de la biomasa es fuertemente influenciada por este factor. Tambi3n este estudio dar3a una idea de la potencialidad de la cantidad de restos org3nicos que ser3an incorporados gradualmente al suelo durante la descomposici3n.

- En vista del tama3o de la muestra (parcelas), demasiado peque3o en algunas zonas de vida, se sugiere que las mismas se aumenten hasta 10 parcelas por zonas de vida y, en lo posible, ubicarlas en sitios representativos del bosque. De esta manera se estar3a contribuyendo a un mejor entendimiento de la din3mica del bosque, cuando se trate de analizarlo individualmente o compararlo entre zonas de vida, en los futuros estudios.

www.bdigital.ula.ve

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, E. B. and J. PICHOTT. 1979. Soil organic matter in relation to altitude in equatorial Colombia. *Turrialba* 29: 183 - 188.
- ARENDS, E.; VILLAQUIRAN, A. y O. CALDERÓN. 1992. Caracterización de la vegetación secundaria en un área talada de la selva nublada, Edo. Mérida, Venezuela. *Rev. For. Vziana*. 35 y 36: 15 - 22.
- AXELSSON, B. O. 1986. Differences in yield at different sites: an irrigation - fertilization study of nutrient flux during fast growth. pp 171- 183. *in*: Forest site and productivity. Gessel, S. P. (ed.). Martinus Nijhoff Publishers.
- BALBUENA, C. O. 1980. Evaluación de las plantaciones de la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo en los Llanos Occidentales de Venezuela. Tesis M. Sc. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida. 133 p.
- BARBOUR, M. G.; BURK, J. H. and W. D. PITTS. 1987. *Terrestrial plant ecology*. 2a ed., Benjamin/ Cummings, California, USA. 634 p.
- BINKLEY, D. 1991. Connecting soils with forest productivity. pp 66 - 69. *in*: Proceedings Management and productivity of western - montane forest soils: United State, Department of Agriculture, Forest Service (ed). General Technical Report 280. Intermountain Research Station.
- BLACK, C. A. 1975. Relaciones suelo - planta. Tomo II. 2a. ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 866 p.
- BROWN, S. and A. E. LUGO. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14:161-187.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; and A. E. LUGO. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35:881-902.

- BROWN, S. and A. E. LUGO. 1991. Effects of forest clearing and sucesion on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and the US Virgin Islands. *Plant and Soil* 124:53-64.
- BROWN, S. and L. R., IVERSON. 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resource Review* 4 3: 366 - 384.
- BUNVONG, T. y O. GRANGER. 1979. El clima: la descomposición de la hojarasca en el bosque tropical. *Unasyva* 31 126:28-35.
- CAREY, A. V.; BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R. and A. E. LUGO. 1994. Tree mortality in mature lowland tropical moist and tropical lower montane moist forest of Venezuela. *Biotropica* 26 3: 255 - 265.
- CASTILLO, J. B. 1966. Estudio de suelos del Bosque Experimental ULA - Caimital. Distrito Obispos, edo. Barinas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. (mimeografiado).
- CHILDS, S. W.; SHADE, S. P.; MILES, D. W. R.; SHEPARD, E.; and H. A. FROELICH. 1985. Soil physical properties. pp 53- 66. *in*: Importances to long - term forest productivity. Perry, D. A.; Meurisse, R.; Thomas, B.; Miller, R.; Boyle, J.; Heans, J.; Perry, C. R.; and Powers, R. F. (eds.). Timber Press. College of Forestry. Oregon State University.
- CROW, T. 1980. A rainforest chronicle: a 30 year record of change in structure and composition at El Verde, Puerto Rico. *Biotropica* 12: 42 - 55.
- CROW, T. R. 1978. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. *Forest Science* 24 1: 110 - 114.
- DÍAZ - ROMEU, R., BALERDI, F., and H., FASSBENDER. 1970. Contenido de materia orgánica y nitrógeno en suelos de América Central. *Turrialba* 20 2: 185 - 192
- DIAZ ROSALES, C. E. 1991. Dinámica de la materia orgánica, nutrientes y regimen del agua en el suelo en tres ecosistemas forestales (Bosque Natural Intervenido), plantación de teca y de pino, en la Reserva Forestal de Ticoporo edo. Barinas, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, 168 p.

- DUCHAUFER, H. 1975. Manual de Edafología. Editorial Toray - Masson. Barcelona, España. 476 p.
- EWEL, J. J. y A. MADRIZ, 1968. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. Venezuela 264 p.
- FARRELL, P. W.; FLINN, D. W.; SQUIRE, R. O. and F. G. CRAIG. 1986. Maintenance of productivity of radiata pine monoculture on sandy soils in southeast Australia. pp 127 - 136. *in*: Forest site and productivity. Gessel, S. P. (ed). Martinus Nijhoff Publishers. College of Forest Resources. Washington, USA.
- FASSBENDER, H. y E. BORNEMISZA. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ed. IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
- FASSBENDER, H. 1993. Modelo edafológico de sistemas agroforestales. 2a. ed. Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. 492 p.
- FOTH, H. D.; MILLAR, C. E. y L.M. TURK 1975. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. 2a. ed. CECSA. México. 433 p.
- FRANCO, A. A. and D. N. MUNNS. 1982. Plant assimilation and nitrogen cycling. pp 1 - 13. *in*: Plant and soil. Robert, G. P.; Herrera, R.; and T. Rosswall (eds.). Martinus Nijhoff, vol 67.
- FRANCO, W. 1988. Los suelos del Lote Boscoso San Pedro y Reserva Forestal de Imataca, Guarapiche y Ticoporo. Trabajo de ascenso a Prof. Titular. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 183 p.
- FRANKLIN, J. F.; SHUGART, H. H. and M. HARMON. 1987. Tree death as an ecological process. The causes, consequences and variability of tree mortality. *Bioscience* 37: 550 - 556.
- GEE, G. W. and J. W. BAUDER. 1986. Particle - size analysis. pp 383 - 411. *in*: Methods of soil analysis. Klute, A. (ed.). Part I. Physical and mineralogical methods. Agronomy Monographs.

- GILLESPIE, A. J. R.; BROWN, S. and A.E. LUGO. 1992. Tropical forest biomass estimation from truncated stand tables. *Forest Ecology and Management* 48:69-87.
- HASSETT, J. J. and W. L. BANWART. 1992. *Soils and their environment*. Prentice Hall Englewood Cliffs. New Jersey, USA. 424 p.
- HETSCH, W y FÖLSTER H. 1982. Estudio de la relación Clima - Pedogénesis en la Cordillera de los Andes de Venezuela. *in*: VII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Franco, W (ed.), Volumen Especial. Facultad de Ciencias, Forestales Universidad de Los Andes, Mérida.
- HOLDRIDGE, L. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica. 206 p.
- KIMMINS, J. P. 1988. Community organizations: methods of study and prediction of the productivity and yield of forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany* 66 12: 2654 - 2672.
- LANG, G. and H. KNIGHT. 1983. Tree growth, mortality, recruitment, and canopy gap formation during a 10 years period in a tropical moist forest. *Ecology* 64: 1075 - 1080.
- LIEBERMAN, D., LIEBERMAN, M., PERALTA, R. and G. HARTSHORN. 1985. Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal of Ecology*.73: 915 - 924.
- MAIMONE, R. A.; MORRIS, L. A. and T. R. FOX.1991. Soil nitrogen mineralization potential in a fertilized loblolly pine plantation. *Soil Sci. Soc. Ann. J.* 55: 522 - 527
- MARTIN, A. 1977. *Introduction to soil microbiology*. 2a. Wiley. New York. 467 p.
- MARTIN, F. J.; TONN, J. R.; GRAHAM, R. T.; HARVEY, A. E.; and K., GEIER-HAYES. 1991. Nitrogen fixation in forest soil of the Inland Northwest. pp 101-109. *in*: *Proceedings management and productivity of western-montane forest soil*. United State Department of Agriculture, Forest Service (ed.). General Technical Report INT- 280.

- NEGI, J. D. S.; SHARMA, S. C. and D. C. SHARMA.1989. Comparative assessment of method for estimating biomass in forest ecosystems. *Indian Forester* 114 3: 136 - 114.
- NELSON, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp 539 - 552. *in* Methods of soil analysis. Part 2. chemical and microbial properties. Page, A. L. (ed.). Agronomy Monograph No 9. 2a. ed. American Society of Agronomy.
- OWENSBY, C. E.; OVEN, L. M. and P. I. COYNE.1994. Biomass production in a nitrogen - fertilized tallgrass prairie ecosystem exposed to ambient and elevated levels of CO₂ *Plant and Soil* 165: 105 - 113.
- PAPENDICK, R. I. and L. F. ELLIOTT. 1983. Soil physical factors that affect plant health. pp 168-180. *in*: Challenging problems in plant health. Kommedahl, T. and P. H. Williams, (eds.). American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota.
- PARKER, L. W.; SANTOS, P. F.; PHILLIPS, J. and W. G. WHITFORD. 1984. Carbon and nitrogen dynamics during the decomposition of litter and roots of a Chihuahuan Desert annual, *Lepidium lasiocarpum*. *Ecological Monographs* 54: 339- 360.
- PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V. and D. S. OJIMA.1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Ann. J.* 51: 1173 - 1179
- PASTOR, J.; POST, W.; ZINKE, P. J. and A. G. STANGENBERGER. 1985. Global patterns of soil nitrogen storage. *Nature* 317: 613- 616.
- PAUL, E. A. and F. E. CLARK. 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press. New York, USA. 275 p.
- PAYNE, W. J. A. 1993. Tropical soil and fertilizer use. Longman Scientific and Technical. Malaysia. 274 p.
- PRITCHETT, J. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México. 634 p.

- PRITCHETT, J. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México. 634 p.
- QUINTERO, A. 1977. Tablas preliminares de volumen y peso verde de la copa de los árboles para seis tipos de bosques naturales venezolanos, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida. 85 p.
- SCATENA, F. N.; SILVER, W.; SICCANNA, T.; JOHNSON, A. and M. J. SANCHEZ. 1993. Biomass and nutrient content of the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico, before and after Hurricane Hugo, 1989. *Biotropica* 25 1: 15 - 27.
- SHANKS, R. F. and J. S. OLSON. 1961. First-year breakdown of leaf litter in southern Appalachain. *Forest. Sci.* 134:194 - 195.
- SILVER, W. L.; SCATENA, F. N.; JOHNSON, A. H.; SICCAMAT, T. G. and M. J. SANCHEZ. 1994. Nutrient availability in a montane wet tropical forest: spatial patterns and methodological considerations. *Plant and Soil* 164: 129 - 145.
- TANDON, V. N.; PANDEY, M. C. and R. SINGH. 1988. Biomass estimation and distribution of nutrients in five diferent aged *Eucalyptus grandis* plantation ecosystems in Kerala State. *Indian Forester* 114 4: 184 - 199.
- TANDON, V. N.; PANDEY, M. C.; H. S. RAWAT and D. C. SHARMA. 1991. Organic productivity and mineral cycling in plantations of *Populus deltoides* in Tarai region of Uttar Pradesh. *Indian Forester* 117 8: 596 - 608.
- TANNER, E. V.; KAPOS, S.; FRESKOS, J. R. and A. M. THEOBALD. 1990. Nitrogen and phosphorus fertilization of Jamaica montane forest trees. *Journal of Tropical Ecology* 6:231 - 238.
- TANNER, E. V.; KAPOS, V. and W. FRANCO. 1992. Nitrogen and phosphorus fertilization effects on venezuelan montane forest trunk growth and litterfall. *Ecology* 73: 78 - 86.
- THAIUTSA, B. y O. GRANGER. 1979. El clima: la descomposición de la hojarasca en el bosque tropical. *Unasilva* 31 126: 28 - 35.
- THOMPSON, L. M. y F. R. TROEH. 1980. Los suelos y su fertilidad. 4 ed. Reverte. Barcelona, España. 649 p.

- TSCHAPLINSKI, T. J.; JHONSON, D. W.; NORBY, R. J. and D. E. TODD. 1991. Biomass and soil nitrogen relationship of one - year - old Sycamore plantation. Soil Sci. Soc. Am J. 55: 841 - 846.
- VALCARCEL, R. 1982. Clasificación y mapeo de sitios en la estación experimental San Eusebio, basada en criterios físicos hidrológicos del suelo. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida. 122 p.
- VEILLON, J. P. 1985. EL crecimiento de algunos bosques naturales de Venezuela en relación con los patrones del medio ambiente. Revista Forestal Venezolana 29:5 - 120.
- VEILLON, J. P. 1989. Los Bosques Naturales de Venezuela; Parte I, El medio ambiente. Instituto de Silvicultura, Universidad de Los Andes. Todtmann. Caracas, Venezuela. 118 p.
- VEILLON, J. P. 1995. Los Bosques Naturales de Venezuela: Parte II. Los bosques xerófilos de las zonas de vida: Bosque Espinoso Tropical (BET) y Bosque muy seco Tropical (BMST). Serie forestal. Universidad de Los Andes, MARNR. Mérida, Venezuela. 55 p.
- VITOUSEK, P. M.; WALKER, L. D.; WHITEAKER, D. and P. A. MATSON. 1987. Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystem development in Hawaii. Science 238:802 - 804.
- WARING, R. H. and W. H., SCHELENSIGER. 1985. Forest ecosystems: Concepts and management. Academic Press. San Diego, California. 340 p.
- WEAVER, P. and A. J. R. GILLESPIE. 1992. Tree biomass equations for the orests of the Luquillo Mountains Puerto Rico. Commonwealth Forestry Review 71 (1) :35 - 39
- WHITTAKER, R. H. 1961. Estimation of net primary production of forest and shrub communities. Ecology 42: 177 - 180.

ANEXOS
www.bdigital.ula.ve

ANEXO 1

Descripción de las parcelas permanentes de crecimiento en bosques naturales incluidas en este estudio Veillon (1985, 1989 y 1995).

| ZONA DE VIDA | LUGAR | PARC. Nº | Altitud. (msnm) | Pend. (%) | Pluv. media anual (mm) | Temp media (°C) | Meses secos | Fecha primera medición | Fecha última medición |
|--------------|---------------|-------------|-----------------|-----------|------------------------|-----------------|-------------|------------------------|-----------------------|
| be-T | Cerro El | 1 | 50 | 10-40 | 126 | 28.5 | 9-10 | 01/1965 | 07/1994 |
| | Malecón | 3 | 50 | | 126 | 28.5 | | 07/1994 | 07/1994 |
| bms-T | Cerro El Coco | 1 - 2 | 130 | 10-40 | 656 | 26.8 | 7 | 06/1978 | 06/1994 |
| bs-T | Caimital | 1 - 4 | 150 | 1 | 1500 | 25.5 | 4-6 | 12/1962 | 05/1994 |
| | | 5 - 6 | 150 | 1 | 1500 | 25.5 | 4-6 | 02/1963 | 05/1994 |
| | Ticoporo | C9T1 | 150 | 1 | 1500 | 25.5 | 4-6 | 04/1984 | 05/1994 |
| | | C9T2 | 150 | 1 | 1500 | 25.5 | 4-6 | 04/1984 | 05/1994 |
| bh-T | Río Grande | 5 - 6 | 270 | 5-20 | 2500 | 25.5 | 1 | 07/1985 | 06/1994 |
| | | Km. 92 | 1 - 2 | 210 | 5-20 | 3200 | 25.5 | 1 | 08/1971 |
| | bh-MB | San Eusebio | 1 - 2 | 2320 | 10-60 | 1400 | 15.0 | 3 | 10/1968 |
| 3 - 4 | | | 2430 | 10-60 | 1500 | 15.0 | 3 | 07/1961 | 03/1994 |
| 5 | | | 2450 | 10-60 | 1560 | 15.0 | 3 | 10/1961 | 05/1994 |
| bh-M | La Mucuy | 6 | 2640 | 15-70 | 2136 | 10.5 | 1-2 | 01/1966 | 07/1994 |
| | | 8 | 3000 | 15-70 | 1800 | 10.5 | 1-2 | 03/1968 | 07/1994 |

be-T: bosque espinoso tropical
 bms-T: bosque muy seco tropical
 bs-T: bosque seco tropical
 bh-T: bosque húmedo tropical
 bh-MB: bosque húmedo montano bajo
 bh-M: bosque húmedo montano

ANEXO 2

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PERFILES DE SUELOS

BOSQUE ESPINOSO TROPICAL

Localización: Cerca de Caujarao, Edo. Falcón, a 50 m de altitud y a unos 5 km. al norte de la ciudad de Coro.

Vegetación: Bosque bajo (5 - 15 m), muy empobrecido por la explotación intensiva, con dos estratos. Las especies más abundantes son: *Bulnesia arborea*, *Cephalocereus spp*, *Lemaireocereus spp.*, *Capparis spp.*, *Jacquinia aciculata* y *Acacia spp*.

Topografía: El perfil está ubicado en una ladera de pendiente suave a fuerte (10 a 40%).

Drenaje: El drenaje externo es rápido y el interno es lento. No se presentan períodos con drenaje deficiente.

Breve interpretación del perfil: Suelo de cima, de textura arcillosa. El perfil presenta dos estratos de origen coluvial con afloramiento de rocas de diferentes tamaños, angulares y sub angulares. La deposición de materia orgánica en la superficie del suelo es muy escasa, está constituida por restos vegetales desintegrados en pequeñas partes, con una distribución irregular en toda la superficie del suelo.

Descripción del perfil.

| | |
|------------------|--|
| A1 10 - 20 cm | Color marrón claro (10 YR 5/5) en seco, arcilloso; estructura blocosa angular y subangular, dura y firme en seco y muy adhesivo, plástico en mojado; raíces finas abundantes y gruesas escasas; abundantes rocas angulares y subangulares. |
| B2 20 - 60 cm | Color rojizo pálido (10 YR 6/6), arcilloso, estructura blocosa angular gruesa muy fuerte en seco, plástica muy adhesivo en mojado; raíces grandes frecuentes, medianas y finas escasas; abundantes rocas angulares y subangulares, las cuales aumentan con la profundidad. |

BOSQUE MUY SECO TROPICAL

Localización: Cerca de Clarines, Edo. Anzoátegui; a 50 m de altitud, en unas colinas bordeando al norte la llanura del río Unare.

Vegetación: Bosque medio (20 m), xerofítico, abierto, muy empobrecido, con tres estratos. Las especies más abundantes son: *Bulnesia arborea*, *Machaerium robiniaefolium*, *Bursera simaruba*, *Hura crepitans*, *Lonchocarpus spp*

Topografía: El perfil está ubicado en una ladera de pendiente fuerte (35 a 40%).

Drenaje: El drenaje externo es rápido y el interno moderado, la posición topográfica no permite períodos con drenaje deficiente.

Breve Interpretación del perfil: Suelo de origen coluvio - aluvial, con abundante afloramiento de rocas angulares y subangulares de diferentes tamaños y arreglo irregular. Textura franco - arcilloso.

Descripción del perfil.

| | |
|------------------|---|
| A1 0 - 18 cm | Marrón muy oscuro (7,5 YR 3/4) en seco, franco - arcilloso; estructura blocosa angular, ligeramente friable en seco, plástica y adhesivo en húmedo; raíces gruesas frecuentes, media y finas abundantes. Muy pedregoso. |
| B 18 - 70 cm | Marrón oscuro (5 YR 5/8), arcilloso, blocosa angular débil, ligeramente friable en seco. Raíces gruesas, medias frecuentes y finas abundantes. muy pedregoso. |
| C 70 - 120 cm | Pardo claro (2,8 YR8/2), franco arcilloso; estructura subangular fina, moderadamente fuerte, friable en seco, ligeramente plástica en húmedo. Raíces finas frecuentes. Rocas grandes aumentan con la profundidad. |

BOSQUE SECO TROPICAL DE CAIMITAL

Localización: El perfil está situado en el Bosque Experimental El Caimital, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, Distrito Obispos del Edo. Barinas.

Vegetación: Bosque alto, exuberante, con sotobosque en el cual predominan especies según las condiciones edáficas. Las especies más abundantes son: *Calycophyllum candidissimum*, *Brosimum* sp., *Terminalia* sp., *Melicoccus bijugatus*, *Bombacopsis quinata* y *Fissicalyx fendleri*.

Topografía: El perfil está ubicado en un relieve plano con pequeñas zonas de anegación. Pendiente de 0,5 a 1%.

Drenaje: El drenaje externo moderado por medio de caños o hacia las zonas de anegación o depresiones.

Breve Interpretación del perfil: Suelo de origen aluvial, con pocas diferencias en elevaciones lo que conlleva a que el suelo se anegue en época de lluvias.

Descripción del perfil.

| | |
|-------------------|---|
| A1 0 - 20 cm | Color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR3/1) en húmedo, arcilloso; estructura masiva cuando mojado y blocosa angular fuerte gruesa cuando seco; plástico y adherente cuando mojado, permeabilidad muy lenta y alto contenido de raíces finas, medias y gruesas escasas. |
| A2 20 - 120 cm | Pardo amarillento (10 YR5/6) húmedo, arcilloso; estructura subangular y angular muy compacta en seco; plástico y coherente cuando mojado. Permeabilidad muy lenta; alto contenido de raíces. |
| B 120 - 160 cm | Pardo amarillento (10 YR5/4) en húmedo, arenoso, permeabilidad rápida; estructura de granos simples; suelto cuando húmedo y poco adherente. |
| C 160 - 105 cm | Color gris claro (10 YR 5/6), franco arcilloso - arenoso, estructura blocosa angular, débil en mojado, plástico, permeabilidad rápida. |

BOSQUE SECO TROPICAL DE TICOPORO

Localización: Unidad III de la Reserva Forestal de Ticoporo.

Vegetación: Bosque alto(25 m), exuberante, compuesto con especies siempre-verde y otras que presentan diferentes grados de caducifolia en época de sequía.

Topografía: El perfil está ubicado en posición de sub - banco, con inundaciones ocasionales durante los meses más lluviosos.

Drenaje: El drenaje externo e interno es moderado.

Breve Interpretación del perfil: El suelo se ha desarrollado a partir de sedimentos aluviales, provenientes de la Cordillera de los Andes y depositados por los diferentes ríos presentes en la zona; la planicie aluvial construida por los ríos se caracteriza por tener una topografía con pendientes generales inferiores a 1% haciéndose más plana a medida que se aleja del pie de monte.

Descripción del perfil.

| | |
|------------------|--|
| A1 0 - 16 cm | Color marrón oscuro (10 YR 4/1) en mojado, franco - arcillo - limoso; estructura granular medianamente fuerte, consistencia suelta en el sector de enraizamiento. Raíces finas y medianas frecuente en los primeros 10 cm de profundidad; horizonte con alto contenido de grava mayores de 0,5 cm de diámetro. |
| A2 16 - 75 cm | Color gris claro (5 YR5/1), franco - arcillo - limoso; estructura prismática y blocosa angular; plástica en mojado, ligeramente adhesivo. Raíces medianamente gruesas, frecuentes. Materia orgánica provenientes del horizonte superior. |
| B 75 - 140 cm | Color gris claro (10 YR5/8) en mojado, franco arcilloso; estructura blocosa angular, ligeramente plástica; manchas de color pardo (10 YR 4/2) aumenta con la profundidad. Raíces finas y medianas abundantes. |

BOSQUE HÚMEDO TROPICAL DE RÍO GRANDE

Localización: Cercano a la orillas del río Grande, en la Unidad IV de la Reserva Forestal de Imataca, estado Bolívar.

Vegetación: Bosque alto entre 30 y 35 m de altura, continuo, siempre verde con tres estratos.

Topografía: El perfil está ubicado en una ladera de pendiente suave con 8 - 10 %.

Drenaje: El drenaje externo e interno es moderado, lo que permite contener un adecuado nivel de humedad; no presenta estado de saturación que limite el desarrollo de la vegetación.

Breve Interpretación del perfil: Suelo desarrollado en un grueso depósito coluvio - aluvial, con abundantes rocas angulares y subangulares de diferentes tamaños y arreglo irregular en todo el perfil, las cuales se incrementan a partir de 1,20 m de profundidad.

Descripción del perfil.

| | |
|------------------|---|
| A 0 - 45 cm | Color pardo claro (10 YR 5/6), arcilloso, con abundancia de plintitas; estructura blocosa angular y subangular medianamente fuerte, ligeramente plástico mojado y friable húmedo. Raíces finas abundantes. |
| B 45 - 120 cm | Color pardo amarillento (5 YR 4/6), franco arcilloso rocas grandes y medianas frecuentes; estructura blocosa, plástico mojado y friable húmeda. Raíces finas frecuentes y gruesas hasta los 50 cm de profundidad. A partir de los 120 cm se encuentra el lecho rocoso. |

BOSQUE HÚMEDO TROPICAL DEL Km. 92

Localización: Situado en el Km. 92, a la orillas de la carretera que conduce a Santa Elena de Güairen, del Estado Bolívar.

Vegetación: Bosque alto entre 25 y 30 m de altura, continuo, siempre-verde, sotobosque cerrado.

Topografía: El perfil está ubicado en una pendiente suave (5% aproximadamente) donde se observa abundante afloramiento rocoso.

Drenaje: El drenaje externo e interno moderado, que le permite contener un adecuado nivel de humedad, no presenta estado de saturación que limite el desarrollo de la vegetación.

Breve Interpretación del perfil: Suelo constituido por un grueso depósito de material coluvio - aluvial, areno - francoso a franco - arenoso, bien drenado.

Descripción del perfil.

| | |
|-----------------|---|
| A 0 - 18 cm | Color pardo oscuro (10 YR 3/4), franco - arenoso, estructura blocosa subangular fina moderadamente fuerte, ligeramente plástica mojado y friable en húmedo. Pedregoso, con abundantes concreciones de Fe y Mn de aproximadamente de 0,5 cm en diámetro. Raíces finas y medias abundantes. |
| B 18 - 95 cm | Color pardo claro ((10YR 4/6), franco arenoso, estructura blocosa subangular fina, moderadamente fuerte, medianamente plástica mojado. Raíces finas y medias aun abundantes. Rocas muy grandes, con un estado de meteorización avanzado a partir de los 85 cm de profundidad. |

BOSQUE HÚMEDO MONTANO BAJO

Localización: El perfil está situado en el Bosque Universitario San Eusebio, zona la Carbonera, de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes.

Vegetación: Bosque de 30 m de altura, siempre verde, sotobosque cerrado, rico en epifitas y helechos.

Topografía: El perfil se encuentra en un terreno que presenta pequeñas ondulaciones irregulares.

Drenaje: Dependiendo del relieve y la pendiente los sitios pueden ser bien, o mal drenados.

Breve Interpretación del perfil: Suelo constituido por depósito de material coluvio - aluvial. Se observa una capa de mantillo orgánico de aproximadamente 12 cm de espesor. El sedimento predominante es la arcilla.

Descripción del perfil.

| | |
|-------------------|--|
| Ah 5 cm | Hojarasca parcialmente descompuesta. |
| Ah 7 cm | Materia orgánica completamente descompuesta, marrón muy oscuro, suelta. Raíces muy abundantes. |
| A1 0 - 20 cm | Color pardo oscuro (10 YR4/4), franco - arcillo - limoso; estructura granular suelta produciendo una alta porosidad en este horizonte, ligeramente plástico. Raíces gruesas, medias y finas abundantes así como también lombrices y otros macroorganismos. |
| B2 20 - 150 cm | Color pardo claro (10 YR 5/3), arcilloso; estructura prismática blocosa angular medianamente fuerte; plástica, adhesiva. Desde 30 - 70 cm se observa la presencia de rocas medianas a grandes, angulares. También se apreció moteo amarillo rojizo y manchas grises en forma uniforme en todo el perfil. |

BOSQUE HÚMEDO MONTANO

Localización: El perfil está situado en el sector superior del valle del Chama, a una altitud de 2.450 m aproximadamente, vía a la Laguna de Coromoto.

Vegetación: Bosque típico de la selva nublada andina, de 25 m de altura, ricos en epífitas, helechos y boroquera.

Topografía: El perfil se encuentra en un terreno con pendientes muy fuertes, de 70 %.

Drenaje: El drenaje externo es rápido por la alta pendiente predominante en el sitio; el interno es moderado por el contenido de arena.

Breve interpretación del perfil: Suelo constituido por depósitos de material coluvial, pedregoso, arenoso, con grandes rocas graníticas aflorando en la superficies del suelo.

Descripción del perfil.

| | |
|-------------------|---|
| 0 - 10 cm | Pardo muy oscuro, suelto, raíces muy abundantes. |
| A1 0 - 18 cm | Color pardo oscuro (10YR2/2), franco - arenosa, gruesa, pedregosa; estructura granular gruesa, consistencia muy suave en mojado. Raíces abundantes. |
| A12 18 - 65 cm | Color pardo claro (10 YR 3/4), franco - arenosa; estructura granular gruesa, friable en húmedo y ligeramente plástico en mojado; el contenido de pedregosidad aumenta en este horizonte. Raíces gruesa y medias frecuentes. Debajo de este horizonte se encuentran contenidos de gravas, piedras y bloques de granitos. |