

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Departamento de Manejo de Bosques y Ecosistemas



TRABAJO DE DIPLOMA

ESTUDIO SOBRE FIJACION DE CARBONO EN PLANTACIONES DE *Pinus oocarpa*, DE 11 AÑOS DE EDAD, EN LOS SITIOS QUINTA BUENOS AIRES, ESTELI Y AURORA, NUEVA SEGOVIA

Autores:

Br. Víctor Gerardo Acuña Gómez

Br. Sergio Augusto Oviedo Zamora

Asesores:

Ing. MSc. Guillermo Castro

Ph.D Bruno Rapidel

Managua, Nicaragua

ENERO del 2001

INDICE GENERAL

Contenido	Pagina
INDICE GENERAL	I
INDICE DE FIGURAS	II
INDICE DE CUADROS	III
INDICE DE ANEXOS	IV
DEDICATORIAS	V
AGRADECIMIENTOS	VI
SUMARY	VII
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivo Especificos	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Descripción del genero Pinus	4
2.2 Descripción de la especie <i>Pinus oocarpa</i>	4
2.3 El carbono	6
2.3.1 Regulación del intercambio gaseoso del aparato estomático	8
2.4 Los ecosistemas forestales como sumideros del carbono	8
2.5 Generalidades del cambio climático	10
III. MATERIALES Y METODOS	12
3.1 Localización de los sitios de estudio	12
3.1.1 Compartimento n 18, Sitio Aurora	12
3.1.2 Compartimento n 19, Sitio Aurora	12
3.1.3 Sitio Quinta Buenos Aires	
3.2 Proceso metodológico	15
3.2.1 Premuestreo	15
3.2.2 Variables evaluadas	15
3.2.3 Muestreo de Biomasa aérea	15
3.2.4 Muestreo de Suelo	16
3.2.5 Muestreo de hojarasca	17
3.3 Análisis estadístico	17
3.4 Muestreo	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	19

IV. RESULTADOS Y DISCUSION	19
4.1 Densidades	19
4.1.1 Diámetro	19
4.1.2 Altura	20
4.2 Sitio Quinta Buenos Aires	21
4.2.1 Suelo	21
4.2.2 Biomasa Aérea	23
4.2.3 Hojarasca	24
4.3 Sitio Aurora	25
4.3.1 Compartimento n°19	25
4.3.1.1 Suelo	25
4.3.1.2 Biomasa Aérea	27
4.3.1.3 Hojarasca	28
4.3.2 Compartimento n°18	29
4.3.2.1 Suelo	29
4.3.2.2 Biomasa Aérea	31
4.3.2.3 Hojarasca	32
4.4 Comparación de las estimaciones de contenido	33
4.4.1 Suelo	33
4.4.2 Biomasa Aérea	36
4.4.3 Hojarasca	38
4.5 Determinación de la influencia de temperatura, precipitación y altitud en las concentraciones de carbono.	41
V. CONCLUSIONES	45
VI. RECOMENDACIONES	46
VII. BIBLIOGRAFIA	47
VIII. ANEXOS	49

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
1, Mapa del sitio Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000	14
2, Diámetro promedio de arboles para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000	19
3, Altura promedio de arboles para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000	20
4, Contenido de carbono a diferentes profundidades del suelo, sitio Quinta Buenos Aires, Estelí 2000	21
5, Contenido de carbono en biomasa aérea, sitio Quinta Buenos Aires, Estelí 2000	23
6, Contenido de carbono a diferentes profundidades del suelo, sitio Aurora, compartimento 19, Nueva Segovia 2000	25
7, Contenido de carbono en biomasa aérea, sitio Aurora, compartimento 19, Nueva Segovia 2000	27
8, Contenido de carbono a diferentes profundidades del suelo, sitio Aurora, compartimento 18, Nueva Segovia 2000	29
9, Contenido de carbono en biomasa aérea, sitio Aurora, compartimento 18, Nueva Segovia 2000	31
10, Contenido de carbono en suelo dentro de cada sitio de estudio en ton/ha.	33
11, Contenido de carbono en biomasa aérea dentro de cada sitio de estudio en ton/ha.	36
12, Contenido de carbono en hojarasca dentro de cada sitio de estudio en ton/ha.	38
13, Contenido de carbono total para cada uno de los sitios de estudio en ton/ha.	39
14, Relación temperatura - tonC/ha, para los sitios de estudio	41
15, Relación precipitación - tonC/ha, para los sitios de estudio	42
16, Relación altitud - tonC/ha, para los sitios de estudio	43

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pagina
1, Análisis de la varianza en biomasa aérea, sitio Quinta Buenos Aires, Estelí 2000	24
2, Análisis de la varianza en biomasa aérea, sitio Aurora, compartimento 19, Nueva Segovia 2000	28
3, Análisis de la varianza en biomasa aérea, sitio Aurora, compartimento 18, Nueva Segovia 2000	32
4, Análisis de la varianza del suelo para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia 2000	35
5, Análisis de la varianza de la biomasa aérea para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora Nueva Segovia 2000	37

INDICE DE ANEXOS

- 1, Formato de anotación
- 2, Porcentaje carbónico ton/ha, premuestreo
- 3, Porcentaje carbónico ton/ha, dap y altura muestreo compartimento 19, Aurora, Nueva Segovia, 2000
- 4, , Porcentaje carbónico ton/ha, dap y altura muestreo Quinta buenos Aires, Estelí, 2000
- 5, Porcentaje carbónico ton/ha, dap y altura muestreo compartimento 18, Aurora, Nueva Segovia, 2000
- 6, Datos de peso seco y verde del árbol promedio de cada sitio de estudio
- 7, Datos de peso carbónico por árbol promedio de cada sitio de estudio en kg. y ton.
- 8, Tabla de resultado del análisis químico del suelo.
- 9, Resultados de pruebas de separación de Duncan.
- 10, Peso carbónico de la biomasa aérea y de hojarasca en kg. y ton/ha
- 11, Datos de precipitación para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia, 2000.
- 12, Datos de temperatura para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia, 2000

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con el mas profundo agradecimiento;

A:

DIOS, por guiarme en todas las decisiones tomadas, a como esta escrito no será avergonzado todo aquel que en ÉL confía.

A mis padres:

Gerardo A. Palma quien me impulsa a ser un profesional.

Gloria Campo quien con sus consejos me ha enseñado ha ser un hombre de convicciones firmes.

A mis hermanos:

Francisco Javier A. Gómez.

Ronald Vladimir A. Gómez.

Darwin Ivan A. Gómez.

Quienes de alguna u otra forma creyeron en mi.

A mi novia:

Claudia del S. López, mi razón de esfuerzo y amor fiel; quien con su sonrisa me a otorgado aliento y vitalidad para proseguir y luchar por lo que deseo.

A todas aquellas personas que con su esfuerzo contribuyeron de una u otra manera a mi formación profesional.

Víctor Gerardo Acuña Gómez.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de diploma:

A:

Dios por permitirme la vida, guiarme y poder lograr mis metas propuestas.

A mis Padres:

Norberto Oviedo Pérez (Q.e.p.d) y Amalia Zamora de Oviedo por darme en todo momento su apoyo incondicional y lograr ser de mi un profesional.

A mis Hermanos:

A todos y cada uno de mis hermanos por haberme brindado su mano amiga en los momentos difíciles de mi carrera.

Sergio Augusto Oviedo Zamora

AGRADECIMIENTO

Agradecemos la colaboración financiera del proyecto de Cambio Climático del PROGRAMA AMBIENTAL NICARAGUA FINLANDIA / MARENA.

Así como el asesoramiento brindado en todo momento por el Ph.D Bruno Rapidel.

Agradecemos la ayuda brindada por el asesor Ing. MSc. Guillermo Castro.

Así también la cooperación de todas las personas que contribuyeron de alguna manera a la realización del estudio y las facilidades que nos brindaron durante el tiempo que llevo realizarlo.

Agradecemos al Ing. Carlos Hernandez, el habernos brindado su tiempo así como toda la información obtenida.

SUMMARY

This investigation was made in plantation of *Pinus oocarpa* of 11 years old in two different places; Quinta Buenos Aires in Esteli and place Aurora, compartment 18 y 19 in San Fernando, Nueva Segovia City. The main objective was calculate the quantity in two place.

Was continue the methodology Macdicken it consisted in calculate, the quantity of carbon that in meet in the different sources such: air biomass, soil, and leaves. The addition of the three sources give lie result the total quantity establish in the plantation.

The examples Ws take using the technical of systematic examples. Using round plot of land of 500 m², with radio used was 12.6 m using the Russo's methodology (1983) and for leaves was use the Salazar's methodology (1989) and for soil the Lope'z methodology (1990)

The result showed that place of Buenos Aires the quantity of carbon calculate is 8.15 ton/ha air biomass, leaves 1.14 ton/ha and soil 43.5 ton/ha; for a total of 52.78 ton/ha. While that the place of Aurora in the compartment 18, air biomass was 4.65 ton/ha, leaves 0.71 ton/ha and soil 27.5 ton/ha; for a total of 32.86 ton/ha. In the compartment 19, in air biomass was 5.04 ton/ha, leaves 0.85 ton/ha and soil 25.95 ton/ha; for a total of 31.84 ton/ha.

The variant climatic such: rain, temperature, elevation, slope, and population density have influence in direct form on indirect form in the capture of atmospheric carbon inside of the component (air biomass, soil and leaves) in each of place of study.

RESUMEN

La presente investigación se realiza en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 11 años de edad ubicadas en dos sitios diferentes; Quinta Buenos aires, en el municipio de Santa cruz, Esteli y sitio Aurora; compartimentos n°18 y n°19 en el Municipio de San Fernando, Nueva Segovia. El objetivo principal fue estimar la cantidad de carbono fijado en ambos sitios.

Se utilizo la metodología de Macdicken la cual consistió en estimar, la cantidad de carbono que se encuentra en las diferentes fuentes como son: biomasa aérea, suelo y hojarasca del suelo. La sumatoria de las tres fuentes da como resultado la cantidad total de carbono fijado en la plantación.

Las muestras fueron tomadas utilizando el muestreo sistemático. Utilizando parcelas circulares de 500 m, cuyo radio utilizado fue 12.6m. aplicando la metodología de Russo (1983) para biomasa aérea; para hojarasca se utilizo la metodología de Salazar (1989) y para suelo la metodología de López et al (1990).

Los resultados demostraron que en el sitio Buenos aires la cantidad de carbono estimado son de 8.15 ton/ha biomasa aérea, hojarasca 1.14 ton/ha, y suelo 43.5 ton/ha; para un total de 52.78 ton/ha. Mientras que en el sitio Aurora, en el compartimento 18, en biomasa aérea 4.65 ton/ha, en hojarasca 0.71 ton/ha y en suelo 27.5 ton/ha; para un total de 32.86 ton/ha. En el compartimento 19, en biomasa aérea fue de 5.04 ton/ha, hojarasca 0.85 ton/ha y en suelo de 25.95 ton/ha; para un total de 31.84 ton/ha.

Las variaciones climáticas como la temperatura y precipitación, al igual que la elevación, pendiente, densidad poblacional; influyen de manera directa o indirecta en la captación de carbono atmosférico dentro de los componentes (biomasa aérea, hojarasca y suelo) en cada uno de los sitios de estudio.

I.- INTRODUCCION

Desde el inicio de la Era industrial en los países desarrollados las actividades humanas han provocado la acumulación de gases con efecto invernadero en la atmósfera, tales como, el bióxido de carbono y el metano. Esta acumulación incrementa el efecto invernadero natural de la atmósfera, provocando un cambio paulatino de las condiciones climáticas en la superficie de la tierra. (MARENA, 1999)

Se estima que estas alteraciones en los gases de efecto invernadero y en los aerosoles, consideradas conjuntamente, cambiarán el clima regional y global y el parámetro relacionados con el clima, como temperatura, precipitación, humedad del suelo y nivel del mar. Las temperaturas y las precipitaciones aumentarán, el clima podría volverse más variable y los temporales tropicales podrían verificarse con mayor frecuencia.

Los cambios en los niveles de dióxido de carbono pueden tener efectos positivos en las plantas. Un efecto positivo sería el efecto fertilizante del dióxido de carbono. Un aumento del dióxido de carbono atmosférico permite una mayor fotosíntesis en las plantas, lo que produce al menos temporáneamente, un mayor índice de crecimiento de estos y de absorción de dióxido de carbono atmosférico por las plantas, siempre que los otros requisitos para su crecimiento sean satisfechos. (MARENA, 1999)

Los bosques contienen una cantidad de carbono de 20 a 100 veces superior por unidad de área que las tierras de cultivos y juegan un papel crítico en la regulación del nivel de carbono atmosférico. Se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación, los bosques podrían resaltar en un sumidero neto de carbono durante los próximos 100 años, permitiendo reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de dióxido de carbono atmosférico.

Las temperaturas cambiantes pueden alterar el índice de la actividad microbiológica de los suelos, aumentando proporcionalmente. La materia orgánica se descompone mas rápidamente, por consiguiente, se puede prever que contribuirá considerablemente a aumentar la cantidad de dióxido de carbono atmosférico. Se prevé también que el índice de erosión química del suelo mineral aumentará junto a mayores temperaturas, provocando que hayan más nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas, contribuyendo a acelerar el crecimiento de estas.

Este estudio se realizó con el objetivo de obtener información que permita realizar estimaciones de la cantidad de carbono fijado por plantaciones de *Pinus oocarpa* en condiciones climáticas diferentes. Esto permitirá a los productores forestales del país poder entrar al mercado internacional como un oferente de ventas de reducciones certificadas de emisiones de carbono a países industrializados que tienen el compromiso en el ámbito mundial de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Favoreciendo al país con la obtención de nuevas tecnologías o nuevos financiamientos en el área forestal.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Generar información sobre la cantidad de carbono fijado en las plantaciones de *Pinus oocarpa* con una edad de 11 años, en los sitios Quinta Buenos Aires; Estelí y sitio Aurora; Nueva Segovia.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Estimar la cantidad de carbono atmosférico fijado en cada sitio de estudio, como resultado de la medición en biomasa aérea, hojarasca y suelo.

Determinar, cual de los sitios de estudio realiza la mayor captación de carbono atmosférico y cual de los componentes (biomasa aérea, hojarasca y suelo), presenta mayor fijación.

Determinar de que manera influyen las condiciones de temperatura, precipitación y altitud en las concentraciones de carbono de cada componente dentro de los sitios Buenos Aires y Aurora.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 – Descripción del género *Pinus*

El género *Pinus* (Familia Pinaceae) es uno de los tres géneros de gimnospermas que se encuentran en Nicaragua. Las gimnospermas no producen flores verdaderas y sus semillas se forman en conos leñosos o en estructuras modificadas de conos. Las hojas (aciculas) nacen en fascículos de 2-6 rodeadas por vainas basales de bracteadas. Los conos consisten de escamas que se ponen duras y leñosas a la madurez. Cada escama produce dos semillas aladas.

A pesar del pequeño número de taxones hasta hace muy poco se aclaró su taxonomía y se definieron sus distribuciones geográficas y ecológicas. *Pinus oocarpa* que antes fue confundido mucho con el siguiente taxon (*Pinus Patula subsp tecunumanii*) es ahora considerado como subespecie distinta a una que se encuentra mas al norte en México. Debido a que los 4 taxones se encuentran al límite sur de su distribución son de suma importancia genética. (CMG BSF, 1994).

2.2 – Descripción de *pinus oocarpa schiede ex schlecht subsp oocarpa*

Pinus oocarpa Schiede ex Schlecht subsp. oocarpa, es un árbol de hasta 36 m de altura, algunas veces alcanzan los 48 m. con un DAP de 50-60 cm. Copa cónica, pero regular en árboles con ramas mas o menos péndulas. Corteza áspera, café oscura o negruzca, profundamente fisurada, descascarándose en plaquetas gruesas, elongadas e irregulares, anaranjado rojizo en las fisuras. Follaje verde oscuro, erecto o esparcido, tosco y grueso, 5 aciculas por fascículos (raramente 6) gruesas y toscas de 12-28 cm de longitud; vainas persistentes amplias, café oscuras, ásperas y escamosas, de 10-30 mm de longitud, 3-8 canales resinosos, la mayoría septales (que tocan tanto al hipodermo como al endodermo). Conos ampliamente ovoides (forma de huevo) abriéndose para formar una roseta, muy variable en tamaño, pero usualmente de 2.5-10 cm de largo por 4.0-7.5 cm de ancho; café mate; nacen en pedúnculos rígidos de hasta 3.0 cm de longitud; escamas gruesas planas o ligeramente convexas con apofisis alzados. (ALONSO, 1966)

Los conos maduran de enero a marzo y su producción es más abundante. El hábito de ramificación de pino oocarpa es mucho más regular y controlada. La densidad de la madera es de 0.415 g/cm. *Pinus oocarpa* se encuentra ampliamente distribuido en América central formando extensos rodales puros. En Nicaragua se presenta entre los 700 y 1300 m.s.n.m, en las montañas del norte, en los departamentos de Nueva Segovia, Madriz, Estelí, León, Jinotega, y Chinandega. Generalmente los rodales son muy irregulares y degradados por la sobre explotación y los fuegos frecuentes. (CMG BSF, 1994)

La distribución de *Pinus oocarpa subsp. oocarpa* está restringida a los sitios ecológicos más pobres y secos, con una precipitación anual de entre 800 y 1200 mm. Los rodales son abiertos, muchas veces crecen en suelos superficiales con poco humus, o a veces sobre rocas descubiertas. Generalmente los suelos se derivan de granito dando paso a arenas con abundante cuarzo o de rocas volcánicas, principalmente toba riolítica e ignimbritas; estos son ácidos (pH 5.5 a 6.0) y de buen drenaje debido a que *Pino oocarpa* son bosque más secos, tienden a contar con más sotobosque estacional sobre todo gramíneas, los que se distribuyen en la temporada seca. (CMG BSF, 1994).

En América latina *Pinus oocarpa subsp. oocarpa* tiene una extensión geográfica y ecológica posiblemente mayor que todos los pinos latino americanos. La mayor parte de las semillas que primero fue recolectada en Nicaragua y clasificada en este taxón es ahora referida a *Pino patula subespecie tecunumanii*.

A primera vista parece ser muy parecida a *Pinus devoniana Lindl.*, una especie de 5 acículas que alcanza su límite sur en ciudad Guatemala todos los fascículos del árbol nicaragüense son de 5 acículas y la mayoría de los canales resinosos son septales. (Siempre son medios o internos en *Pinus devoniana*). Por lo tanto, se clasificó este espécimen *Pinus oocarpa* que es común en esta área. El árbol posiblemente podría ser un híbrido entre *Pinus oocarpa subsp. oocarpa* y la siguiente especie, ya que los conos demuestran el vigor de un híbrido. (CMG BSF, 1994).

2.3. – El carbono

El carbono en la naturaleza se halla por doquier: en el agua bajo la forma de compuesto carbónicos disueltos (los carbonatos) y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo y que son liberados cuando estos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida. (Smith et al. , 1993b; citado por Ordoñez, 1999)

El ciclo comienza con la fijación de anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizadas por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea, que pasa a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a las plantas, el anhídrido carbónico así formado se libera a través de sus hojas o de sus raíces.

Otra parte es consumida por los animales, que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera (Schimel, 1995; Smith et al. , 1993*; citado por Ordoñez, 1999).

La fijación de carbono por bacterias y animales es otra manera de disminuir la cantidad de dióxido de carbono, aunque cuantitativamente menos importante que la fijación de carbono por las plantas. Cuando los organismos vegetales son comprimidos por depositación, no son atacados por bacterias, sino que sufren una serie de cambios para formar turba, luego carbon pardo o lignita, y finalmente carbon. Los cuerpos de algunos organismos marinos pueden sufrir cambios semejantes y formar, en largo periodo, petróleo. Estos fenómenos significan la sustracción de parte del carbono al ciclo; pero más tarde los trastornos geológicos o las de minería o perforación realizada por el hombre llevan a la superficie el carbon o el petróleo, que será quemado hasta convertirlo en dióxido de carbono, volviendo en esta forma al ciclo inicial.

La mayor parte del carbono de la tierra se encuentra en rocas bajo la forma de carbonatos, como la piedra caliza y el mármol. Las rocas se gastan poco a poco y con el tiempo los carbonatos vuelven al ciclo del carbono. Sin embargo, en el fondo del mar se forman otras rocas a partir de los sedimentos de los animales y plantas muertas de modo que la cantidad de carbono en el ciclo permanece casi constante (Sampson et al. , 1993; citado por Ordoñez, 1999).

Según (Boysen - Jensen, 1932 citado por FAO, 1995) comprobaron que en la copa de los árboles la fotosíntesis neta disminuye a un 15% del valor posible a una iluminación correspondiente al mediodía. El punto de compensación no se alcanza hasta las últimas horas de la mañana y desciende por debajo de este punto varias horas del anochecer.

La cantidad de carbono depende de las características del suelo, de la cubierta vegetal, de la altitud y del tipo de explotación humana. El carbono sigue un ciclo global haciendo intervenir varios depósitos, los océanos, la biosfera, y la atmósfera con carbono geológico o fósil. (Eswaran et al... 1993; citado por Locatelli, 1999)

Las actividades humanas contribuyen a la liberación anual de alrededor de 5.4 mil millones de toneladas de carbono por combustión de carbono fósil (carbono o petróleo) y de alrededor de 1.6 mil millones de toneladas de cobertura de los suelos, esencialmente por deforestación tropical. (Dixon et al 1994; citado por Locatelli, 1999).

La concentración de 353,000 partes por billón del dióxido de carbono en 1990, resulta 25% mayor que en la etapa preindustrial (1750—1800). Cuyo valor era de 280,000 ppb, y por arriba, a su vez, de cualquier periodo durante los 160,000 años. Teniendo un incremento anual de 0.5%, y un tiempo de residencia en la atmósfera de 50-200 años. (Goudie, 1990; Masera, 1991; citado por Ordoñez, 1999).

2.3.1 – Regulación del intercambio a través del aparato estomático

Los estomas son los reguladores principales del proceso de difusión. Gracias a la modificación de la abertura de los estomas, la planta puede controlar al mismo tiempo *el flujo de* entrada de dióxido de carbono a la hoja y también la pérdida de agua por transpiración. La cantidad, distribución, tamaño, forma y movimiento de los estomas son características específicas que pueden variar según la situación de la planta y también individualmente. La densidad estomática, ostiolo y superficie del poro en distintas plantas (según Stocker 1929, Meidner y Hansfield 1968, Pisek, Knapp y Ditterstorfer 1970, citado por Larcher, 1997).

En coníferas la densidad estomática de superficie foliar es igual a 40-120, con longitud de la abertura estomática (μm) de 15-20 y una superficie del poro (porcentaje de la superficie foliar) igual de 0,3-1. Un factor muy importante para la abertura de los estomas es el anhídrido carbónico. Su influencia se demuestra claramente en la oscuridad. Para un contenido en dióxido de carbono del aire de 300 partes por millón los estomas están cerrados en la oscuridad, pero se abren cuando desciende la concentración de dióxido de carbono.

La temperatura influye en la velocidad de la abertura de los estomas, proceso que requiere de energía. A temperatura elevadas hay gran cantidad de energía disponible y no extraña que el mecanismo de abertura tenga una velocidad mayor al aumentar la temperatura, Los estomas también se cierran si el calor es excesivo.

2.4. – Los ecosistemas forestales como sumidero del dióxido de carbono

La superficie forestal estimada en la tierra es de 4.1×10^8 ha donde las áreas naturales protegidas abarcan el 2.3%, menos del 10% de las áreas que se encuentran bajo manejo. Aproximadamente el 37% del carbono se encuentra en latitudes bajas 0° a 25° lat., 14% en las medias 25° a 50° lat. y 49% en las altas 50° a 75° lat. Es por esto que Dixon afirma que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere en cuanto a su ubicación geográfica respecto su altitud. Dos tercera partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentra contenido en el suelo. (Dixon et al. 1994; citado por Ordoñez, 1999)

Actualmente la deforestación y la degradación forestal son factores importantes para el cambio climático global, puesto que producen emisiones netas de dióxido de carbono. Además, genera grandes problemas locales y regionales, como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos, entre otros. Sin embargo, se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar en sumidero neto de carbono durante los próximos 100 años permitiendo reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de dióxido de carbono a la atmósfera (IPCC, 1995 citado por Ordoñez, 1999).

Los bosques son importantes sumideros de carbono, ya que se estima que la biomasa de los mismos contiene 1.5 veces la cantidad de carbono en la atmósfera, mientras que el humus forestal contiene 4 veces la misma cantidad. (Bolin 1977 citado por Larcher, 1997). En total los bosques contienen una cantidad de carbono de 20 a 100 veces superior por unidad de área, que las tierras de cultivo y juegan un papel crítico en la regulación del nivel del carbono atmosférico.

La deforestación produce una pérdida de un 20 a 50% del carbono del suelo contenido en la capa superficial. Algunos cálculos indican que alrededor de los años 90, la deforestación de los trópicos produjo una liberación neta del carbono contenido en el suelo que oscila entre 0.1 y 0.3 gigatoneladas, comparada con las emisiones de 0.3 y 1.3 gigatoneladas causadas por las quemaduras y la decadencia de la vegetación, respectivamente (Sombroek et al. , 1993 citado por FAO, 1995).

El dióxido de carbono participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). La copa aporta materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable, este, a su vez aporta nuevamente dióxido de carbono al entorno. Simultáneamente, los troncos al ir aumentando su diámetro y altura alcanzan un tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer productos como tablas, tablones y polines que dan origen a subproductos elaborados, como muebles y casas.

Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando dióxido de carbono al suelo y/o a la atmósfera. Durante el tiempo en que el dióxido de carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol – y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera -, se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por las quemaduras de la biomasa) el dióxido de carbono fluye para regresar la ciclo del carbono.

2.5. – Generalidades del cambio climático

El cambio climático se refiere al cambio de clima que es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que modifica la composición de la atmósfera global. El cambio climático se adiciona entonces a la variabilidad climática natural observada sobre periodo de tiempo comparables. Se define el cambio climático como posible aumento en la temperatura superficial del planeta que se produciría como consecuencia del aumento importante y rápido de las concentraciones de gases invernaderos en la atmósfera (IPCC, 1995, citado por FAO, 1995 y Ordoñez, 1999).

Las previsiones sobre el cambio climático no son seguras dado que nuestro conocimiento es incompleto por lo que concierne a los futuros índices de emisiones, a la respuesta climática a estos cambios y a la debilidad inherente de los modelos usados para predecir dichos cambios. Otras dudas surgen de la transferencia de energía entre la atmósfera y los océanos, entre la atmósfera y la superficie terrestre y entre los distintos niveles de los océanos (Maunder, 1990, citado por FAO, 1995).

El panel intergubernamental de cambio climático (IPCC, 1995 citado por Ordoñez, 1999 y Locatelli, 1999). estima que, un cambio de las emisiones de gases de efecto invernadero, que duplique las concentraciones de dióxido de carbono con respecto al nivel preindustrial, daría como resultado un incremento de temperatura de 1.5 a 3.5 °C. Este cambio de temperatura; provocaría a su vez:

a. cambios en los patrones mundiales de precipitación pluvial, con diferencias regionales significativas.

b. elevación del nivel del mar de 0.2 a 0.6 m, Tanto por la expansión térmica de los océanos como por el derretimiento parcial de glaciares en las montañas y de las capas de hielos en las regiones polares, como el caso de la Antártica, para la que se estima un desprendimiento de 200 kilómetros de masas de hielo.

C. cambios en la humedad del suelo al aumentar la evaporación del agua.

Estos tres factores afectaran directamente a todas aquellas actividades humanas que depende de la precipitación, la temperatura, la humedad y de los cuerpos de agua. El producto de esta alteración sería equivalente a desplazar una región cualquiera en 200 kms de latitud. Lo que provocaría, por ejemplo, la migración de las comunidades de las zonas costera al interior de los continentes y cambios en el uso del suelo. entre otros factores, con las consiguientes de tipo social, económico y político (modificado de Masera, 1995 citado por Ordoñez, 1999).

III. - MATERIALES Y METODO.

3.1. – Localización de sitios de estudio

3.1.1. - Compartimento n°18, Sitio Aurora

Ubicado dentro del Plan de manejo forestal de la cooperativa Jesús Flores Jacinto, la que se encuentra en el sitio Aurora, comarca Aranjuez, sobre la carretera a Jalapa, aproximadamente a 8 kms al norte de Santa Clara, municipio de San Fernando, departamento de Nueva Segovia, en las coordenadas:

Latitud: 13° 33' 05" N y Longitud: 86°20' 18" O. de la hoja cartográfica del municipio de San Fernando. El área de compartimento es de 1.6 ha, con una elevación de 580 m.s.n.m, una textura de suelo franco arcilloso, con una densidad de 337 arb / ha cuya edad es de 11 años. Figura 1.

3.1.2. - Compartimento n°19, Sitio Aurora

Ubicado dentro del Plan de manejo forestal de la cooperativa Reynaldo Gómez Caballero, que se encuentra ubicada en el sitio aurpra, comarca Aranjuez, aproximadamente a 8kms. Al nordeste de Santa Clara, Municipio de San Fernando, Departamento de Nueva Segovia, en las coordenadas:

Latitud: 13°33' N y Longitud: 86°21' O de la hoja cartográfica del Municipio de San Fernando. El área del compartimento es de 12.4 ha, con una elevación de 550 m.s.n.m, una textura de suelo franco arcilloso, con una densidad de 350 arb / ha cuya edad es de 11 años. Figura 1

En ambos sitios siempre se ha mantenido la presencia del bosque, tanto ecosistema natural y luego el establecimiento de plantaciones para la protección del bosque natural así como para la producción de la zona; presentan una precipitación de 1338.6 mm y temperatura media anual de 23.86°C. Los suelos de estas plantaciones se encuentran dentro de la serie Aranjuez, Sitio Aranjuez, la cual presenta suelos profundos bien drenados, suavemente erosionados, con una permeabilidad moderada y un escurrimiento superficial moderadamente rápido. relieve ondulado a muy escarpado, con pendientes de 2 a 40% y elevaciones de 620 a 680 m.s.n.m.

Son suelos minerales con una secuencia de horizontes A-B-C.

El horizonte A es el que esta conformado por restos de humus mezclados con tierra mineral también llamado horizonte de aluviacion porque en este hay un transporte de sustancias hacia abajo. Es delgado (12 cm de espesor) pardo grisáceo, franco y moderadamente estructurado. El horizonte B (cámbrico), es formado por tierra mineral sin humus igualmente delgado (16 cm de espesor), pardo oscuro, franco a franco arenoso, con abundantes gravas de cuarzo, moderadamente estructurado. El horizonte C es el horizonte con escasa influencia de los diferentes procesos del suelo. Es grueso (38 cm de espesor), con muchas gravas de cuarzo (60-85%), de color pardo muy oscuro.

En los perfiles A y B, se encuentra un contenido de materia orgánica medio que va de 6.30% a una profundidad de 8 cm en el horizonte A, de 6.23% en el horizonte B a una profundidad de 18 cm, y muy bajo de 0.26 a 0.79% en el resto del perfil. La capacidad de intercambio cationico es baja – muy baja (2.4-18.4 meq/100g de suelo), la reacción del suelo es medianamente ácida con un ph de 5.8 a 6.5.

3.1.3. – Sitio Quinta Buenos Aires

Ubicado en la quinta Buenos Aires, en la comunidad de Santa cruz, sobre la carretera panamericana a 6 kilómetros de la ciudad de Estelí, en las coordenadas:

Latitud: 13° 2' 20" N. Y Longitud: 86° 19' 43" O.

El área del sitio es de 2.16 ha, con una densidad de 547 arb / ha, cuya edad es de 11 años. La zona se caracteriza por ser un paisaje de colina con una pendiente de 35% (mínimo), predominante lomerías, cerros y materiales, con una elevación de 920 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 22.7°C y una precipitación anual de 1186.7 mm. Con suelos de origen volcánico terciario, altamente lavados, son normalmente porosos y de partículas pequeñas, formando estructuras simples, medianamente productivas, suelos intensamente edafizados sujetos a lixiviación intermitente con erosión moderada a severas. Figura 1

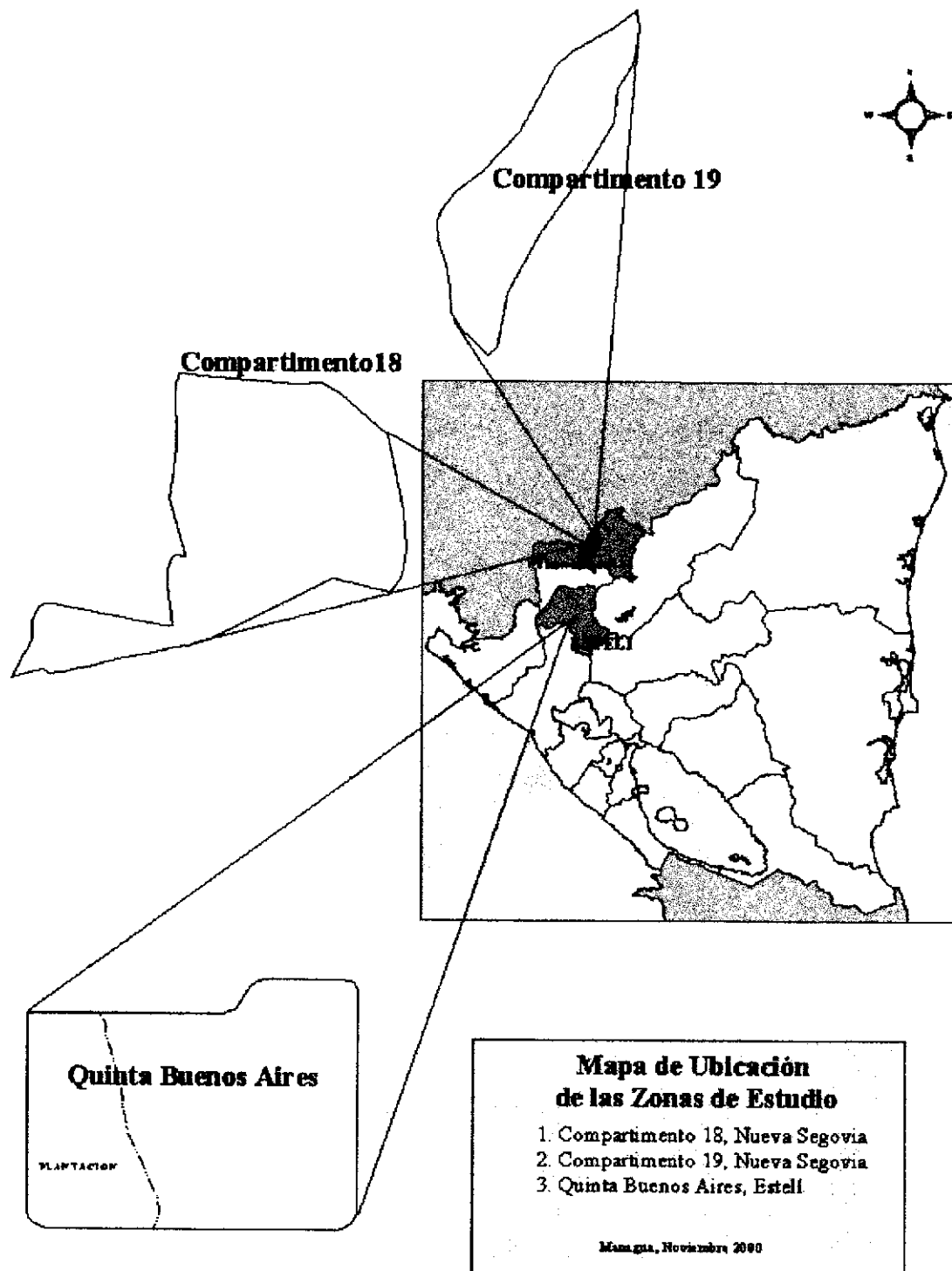


Figura 1: Mapa del Sitio Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

3.2 - Proceso metodológico

3.2.1. - Premuestreo

En el premuestreo se utilizó la metodología de Russo (1983) y Macdicken (1997), realizándose algunas modificaciones dentro del formato de anotación, Anexo 1. Se realizó la toma de muestras de biomasa aérea, hojarasca y suelo, utilizando parcelas circulares distribuidas sistemáticas, de un área de 500 m² y un radio de 12.6 m, (ALVARADO, 1991; FERREREIRA, 1990 Y SORGEL, 1985). Para determinar la variabilidad de la densidad de los árboles dentro de cada sitio, con un error de muestreo de 20 % y así obtener el número exacto de muestras a extraer durante el muestreo y tratando de estimar la cantidad de carbono que fija cada uno de los sitios. Los datos de biomasa aérea están sujetos a la densidad de árboles por hectárea. Anexo 2.

3.2.2. – Variables evaluadas

Se tomó un solo árbol promedio al azar dentro de las parcelas distribuidas sistemáticamente dentro de cada sitio de estudio. Considerando las variables de altura total, diámetro, biomasa aérea (datos de peso verde y seco para fuste, ramas y hojas). También se consideró tomar otras variables como: el carbono almacenado en la hojarasca y el contenido de carbono del suelo.

3.2.3 – Muestreo de biomasa aérea

Aplicando la metodología de Newbould (1967) citado por Russo (1983), el cual dice que para la estimación del peso seco de la biomasa aérea el procedimiento es el siguiente:

1. - Cortar el árbol y separar las diferentes partes que lo integran.
2. - Tomar un disco o submuestra (fracción) de ambos extremos de cada sección y pesarlos (Fuste, ramas, follaje). Cada muestra debe pesar 500 g.
3. - Las muestras pesarlas en fresco, secarlas y pesarlas nuevamente en seco.
4. - Determinar el peso seco de cada componente.
5. - Obtener relaciones entre peso seco y fresco de las muestras.
6. - Sumar los pesos de cada parte o componentes.

En el laboratorio se determinó el peso verde (PV) de cada muestra en una balanza de precisión. Luego se desmenuzó la muestra de fuste y ramas en pedazos pequeños para facilitar la deshidratación, al follaje se le determinó el peso verde y a las muestras se le colocaron etiquetas de papel conservando la identificación de cada sección. Colocándose las muestras en una estufa a 80°C hasta obtener un peso seco (PS) constante.

Luego utilizando la metodología de Salazar (1989), se utilizaron los datos de peso seco y el peso verde, para determinar para cada muestra la relación: $R = PS / PV$ En forma individual para fuste, ramas y follaje, y se determinó el promedio de la relación PS / PV , para los árboles muestreados, Estos datos fueron utilizados para transformar los pesos verdes de cada árbol a peso seco. Para determinar el peso seco de cada árbol, se multiplicó el promedio de la relación correspondiente (eje, ramas o follaje) por el peso verde correspondiente obtenido en el campo, luego sumamos para obtener el peso seco total del árbol. Por simple regla de tres y usando la densidad actual de la plantación se obtuvo el peso seco total por hectárea.

3.2.4. Muestreo de suelo

Utilizando la metodología de (López et al,1990 Y PARKER, 1988); se tomaron 15 submuestras de suelo las cuales conforman una muestra compuesta para cada nivel, realizándose dos tomas de muestras. La diferencia entre ambas muestras compuestas permite calcular las variaciones del suelo en esa parcela. Cada parcela se delimitó con estacas (usando cuerdas) y se cruzó en zigzag, haciendo sondeos con el taladro de la siguiente forma: se tomaron 15 submuestras representativas, de igual volumen, la cual origina una muestra compuesta del sitio en estudio; Tomándose 3 muestras compuestas de 0 a 5 cm, 3 muestras compuestas de 5 a 10 cm, 2 muestras compuestas de 10 a 20 cm, y 2 muestras compuestas de 20 a 40 cm de profundidad para cada sitio.

Las muestras compuestas se colocaron en bolsas identificadas debidamente, dichas muestras se colocaron junto con las demás dentro de un saco y se llevaron al laboratorio sin secar. En el ámbito de laboratorio se estimó la cantidad de carbono almacenado en el suelo, utilizando el método de Walker y Black.

3.2.5 - Muestreo de la hojarasca

La hojarasca también es llamada horizonte L y esta formado principalmente por la capa de hojarasca más reciente. En el muestreo de hojarasca se tomaron tres muestras por cada sitio de estudio, con un área de 1m² cada una. Dichas muestras se les tomo el peso húmedo, y se sometió en el horno a una temperatura de 80°C, obteniéndose el peso seco; se realizaron las operaciones para obtener la relación peso seco – peso verde, obteniéndose el peso promedio al aplicar la metodología de Salazar (1989).

3.3. – Análisis estadístico

Para el análisis y procesamiento de los datos se realizo un ANDEVA a las fracciones de la biomasa aérea con el objetivo de conocer la variabilidad de las estimaciones en los contenidos de carbono entre los sitios; así mismo se le realizo al componente suelo. Otorgándole confiabilidad a los resultados. Para conocer el número real de muestras a utilizar en el muestreo en cada uno de los sitios se utilizo la siguiente formula:

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

Donde:

n = Numero de parcelas.

N = Numero de parcelas probables.

CV = Coeficiente de variación.

E% = Error aceptable.

t² = Valor de t- student.

3.4. - Muestreo

De acuerdo con los datos obtenidos en el análisis del premuestreo, se determina el número de parcelas para cada sitio de estudio. Tomando en cuenta el área y la densidad poblacional de cada uno de ellos. Para el sitio Buenos Aires se obtuvieron un total de 39 parcelas, el sitio Aurora compartimento 19 se obtuvieron 28 parcelas y el compartimento 18 con 150 parcelas. Cada una de estas parcelas equivalente a un área de 0.05 ha. Anexos 3,4 y 5.

Para la variable suelo se tomó en consideración la realización de 2 análisis químicos de los cuales se obtuvieron los promedios utilizados para obtener el total de carbono fijado por el suelo para cada uno de los sitios. También se consideró codificar los niveles de profundidad del suelo, con letras del alfabeto de la siguiente manera: A – (10 cm); B – (20 cm); C – (30 cm) y D – (40 cm)

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Densidades

4.1.1 Diámetro

La densidad poblacional promedio de cada sitio de estudio es: Sitio Buenos Aires con 547 arboles/ha para un total de 1067 arboles en un área efectiva de 1.95 ha. Sitio Aurora compartimento 19 con 350 arboles/ha para un total de 491 arboles dentro de un área efectiva de 1.4 ha. Y compartimento 18 con 337 arboles/ha para un total de 2531 arboles para un área efectiva de 7.5 ha. Esta densidades están influenciadas por la diferencia en el tipo de aprovechamiento que se realiza dentro de cada uno de los sitios de estudio.

La figura 2, muestra los valores promedios de los diámetros en cm para los arboles reflejándose que los mayores diámetros se encuentran dentro del sitio Aurora compartimento 19, con 12.75 cm; el sitio Buenos Aires con un dap promedio de 11.74 cm y el compartimento 18, con un promedio de 11.6 cm; esto indica que a mayor dap, mayor producción de biomasa.

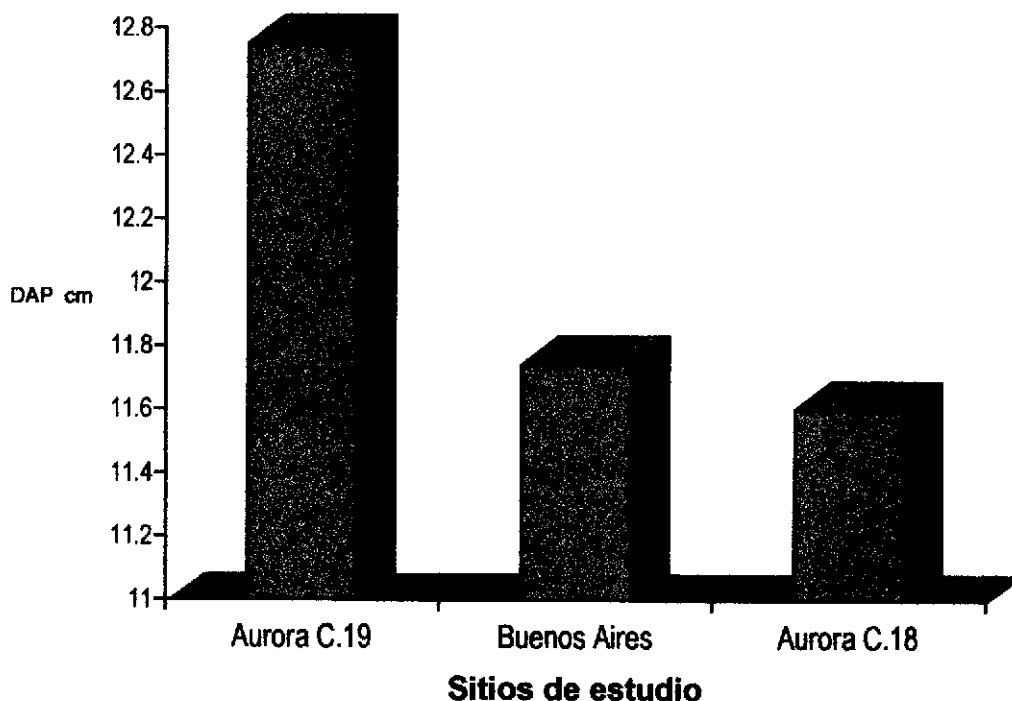


Figura 2: DAP promedio de arboles para los sitios Quinta Buenos Aires, Esteli y Aurora, Nueva Segovia; 2000.

4.1.2 Altura

En la figura 3, se muestra los valores promedios de la altura para los arboles, de los sitios de estudio; reflejándose el mayor promedio en el sitio Buenos Aires con 11.3 m, seguido del sitio Aurora, compartimento 18 con un promedio de 11 m, y el compartimento 19 con un promedio de 9.7m. Esto permitirá realizar una estimación de la biomasa total existente dentro de los sitios de estudio.

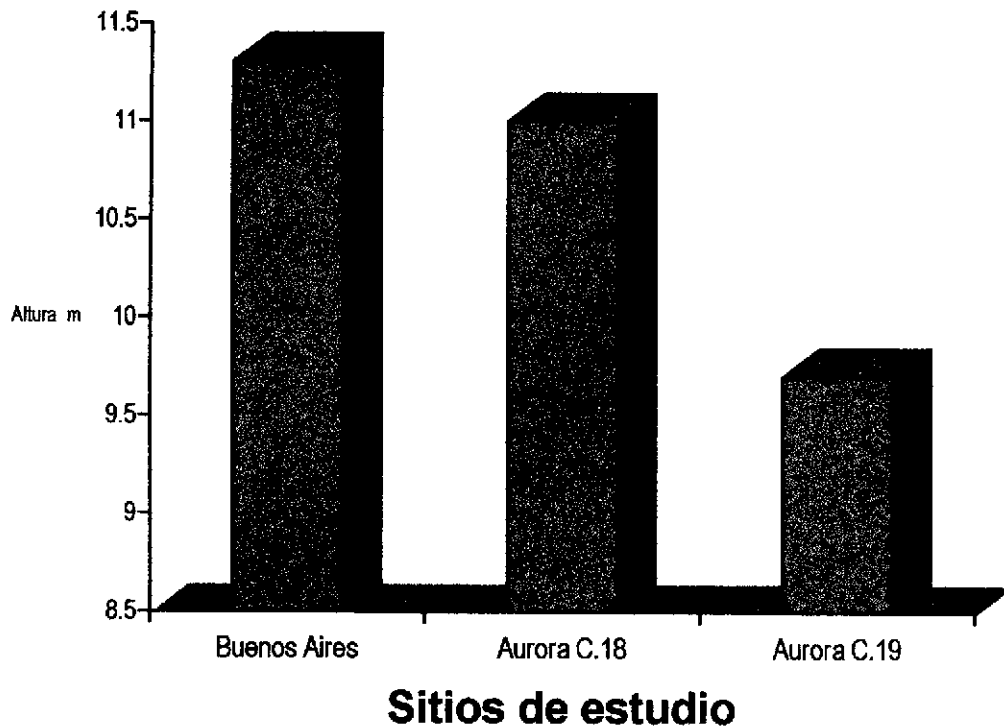


Figura 3: Altura promedio de los arboles para los sitios Quinta Buenos Aires, Esteli y Aurora, Nueva Segovia; 2000.

La altura y diámetros contenidos dentro de los sitios de estudio, ejercen su influencia en la estimación de la cantidad de biomasa total producida por las plantaciones, ya que existe una correlación comparativa entre la biomasa, los diámetros y la altura, es decir a mayores diámetros y alturas, mayor biomasa.

4.2 Sitio Buenos Aires

4.2.1 Suelo

En la figura 4, se presenta la cantidad de carbono estimado a diferentes profundidades del suelo, siendo el total de contenido de carbono en el suelo de 43.5 ton/ha. La cantidad mas alta se encuentra en el nivel A (0 - 5 cm), con 15 ton/ha, esto debido a que la materia orgánica se encuentra en los primeros 100 - 150 cm superior del suelo, reagrupándose sobre todo en la capa situada entre 1 - 20 cm de profundidad, así mismo los niveles B (5 - 10 cm) y C (10 - 20 cm) también se ven afectados en sus contenidos de carbono.

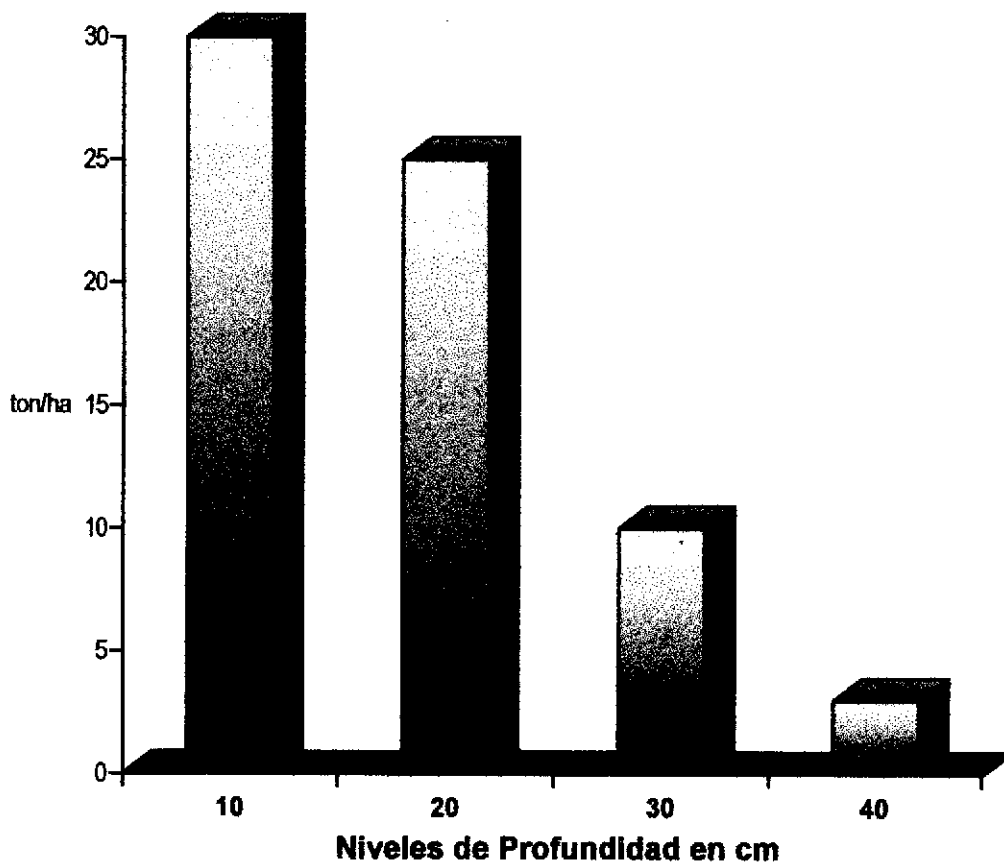


Figura 4: Contenido de carbono en suelo a diferentes profundidades; Sitio Buenos Aires, Esteli; 2000.

Comparándose los cuatro niveles a una profundidad uniforme de 10 cm, es decir que el dato de carbono obtenido en el nivel A (0-5) equivalente a 5 cm de profundidad se asumió el doble de su cantidad y en el caso del nivel D (20-40) equivalente a 20 cm de profundidad se restó la mitad del dato de carbono obtenido; obteniéndose los resultados presentes en la gráfica.

La elevación de 920 m.s.n.m del sitio Buenos Aires, Estelí, tiene influencia en las concentraciones de carbono del suelo ya que en relación con la temperatura y la precipitación, favorecen la producción de material orgánico de la plantación, la cual al descomponerse es incorporada al suelo e incrementa las concentraciones de carbono y otros nutrientes en el suelo.

La temperatura de 22.7°C media anual en el sitio Buenos Aires, tiene influencia en las concentraciones de carbono del suelo a través de la estimulación que ejerce sobre la actividad microbiológica del suelo, lo que permite la descomposición de la materia orgánica y la erosión química del suelo originando como resultado la liberación de carbono y nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.

La precipitación de 1186.7 mm anuales tiene influencia en la fijación de carbono en el suelo, al acelerar la descomposición de la materia orgánica e incrementar las concentraciones de carbono través de su rápida incorporación al suelo. La erosión hídrica provocada por estas precipitaciones en una pendiente de 35 %, se ve amortiguada por la densidad existente dentro del sitio.

4.2.2 Biomasa aérea

En la figura 5, se muestra la cantidad de carbono estimado en biomasa aérea, dividida en tres fracciones: fuste, ramas y hojas. Encontrándose que la mayor cantidad de carbono se refleja en el fuste con 4.37 ton/ha, seguido por las ramas con 2.66 ton/ha y luego las hojas con 1.10 ton/ha. El total de carbono estimado dentro de la biomasa aérea es de 8.15 ton/ha. El carbono capturado se deposita o fija en el follaje, tallos, sistemas radicales y sobre todo en el tejido leñoso de los troncos y las ramas principales de los árboles (Houghton, Grainger, 1990 citado por FAO, 1995)

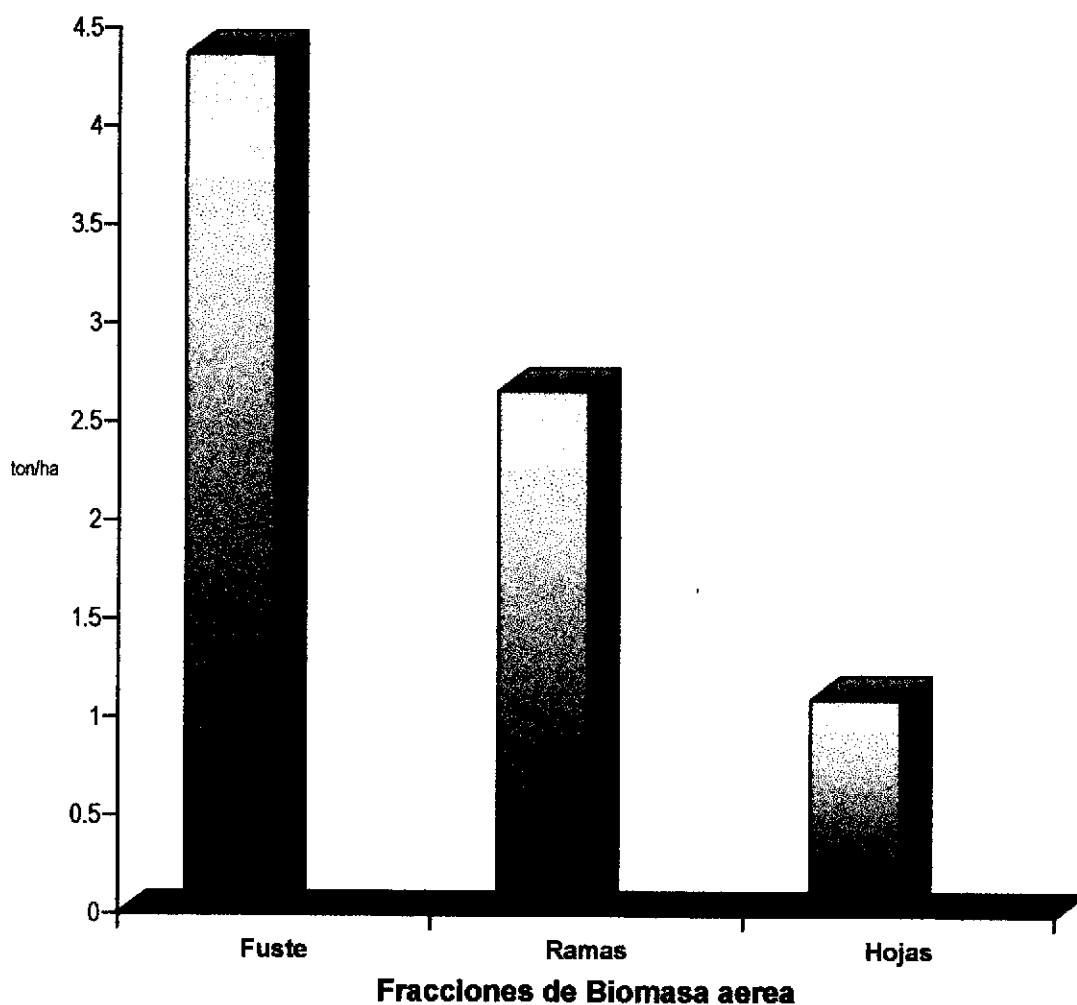


Figura 5: Contenido de carbono en la biomasa aérea; Sitio Buenos aires, Esteli, 2000.

La elevación ejerce influencia en las concentraciones de carbono de la biomasa aérea a través de la temperatura de 22.7°C dicha temperatura estimula la velocidad de abertura de los estomas, los cuales se encargan de controlar el flujo de entrada de dióxido de carbono a la hoja y también la pérdida de agua por transpiración. La precipitación evita que la planta sufra de estrés causado por sequía, ya que dos semanas sin lluvia provocaría el desprendimiento del follaje, lo cual afectaría las concentraciones de carbono almacenado dentro de la biomasa aérea.

La densidad de arboles del sitio influye dentro de las estimaciones de fijación de carbono, ya que dicha densidad permite una mayor captación de carbono por medio de la fotosíntesis realizada por cada individuo e incrementar las concentraciones de carbono dentro de la biomasa aérea.

El cuadro 1, muestra el análisis de varianza realizado a las fracciones de biomasa aérea, con un α 5%, determinándose que existe diferencia significativa entre las concentraciones de carbono de las fracciones, es decir que al menos un par de las tres fracciones evaluadas muestran diferencias reales, en cuanto a la capacidad de captación de dióxido de carbono. Esto debido a que fisiológicamente las fracciones son diferentes y que básicamente el carbono se fija en el tejido leñoso del tronco y las ramas principales.

Cuadro 1: Análisis de la varianza para las fracciones de biomasa aérea, Sitio Buenos aires, Estelí, 2000.

FV	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Fracciones	0.266	2	0.133	26.6*	3.19
Error	0.273	57	0.005		
Total	0.539	59			

Al realizar la prueba de separación de medias Duncan, con ($P < 0.05$), se encontró la existencia de una sola categoría estadística para las tres fracciones pero sus medias son diferentes, indicando que las fracciones son diferentes entre sí. Anexo 9-a.

4.2.3 Hojarasca

El estimado de carbono atmosférico en hojarasca es equivalente a 1.14 ton/ha. La hojarasca se ve influenciada por la temperatura y la precipitación, esta determinan su permanencia sobre el suelo a través de estimulación que ejercen sobre la actividad microbológica que actúa sobre la hojarasca al momento de descomponerla e incorporarla al suelo y de su aporte a las concentraciones de carbono del suelo.

La influencia de la densidad de arboles en las concentraciones de carbono de la hojarasca esta determinada por los aportes de material vegetal, el cual permanece sobre el suelo hasta el momento de su descomposición.

4.3 Sitio Aurora

4.3.1 Compartimento n°19

4.3.1.1 Suelo

En la figura 6, se presenta la cantidad de carbono estimado a diferentes profundidades del suelo, siendo el total de contenido de carbono en el suelo de 25.9 ton/ha. La cantidad mas alta se encuentra en el nivel A (0 - 5 cm), con 10 ton/ha, esto debido a que la materia orgánica se encuentra en los primeros 100 - 150 cm superior del suelo, reagrupándose sobre todo en la capa situada entre 1 - 20 cm de profundidad, así mismo los niveles B (5 - 10 cm) y C (10 - 20 cm) también se ven afectados en sus contenidos de carbono.

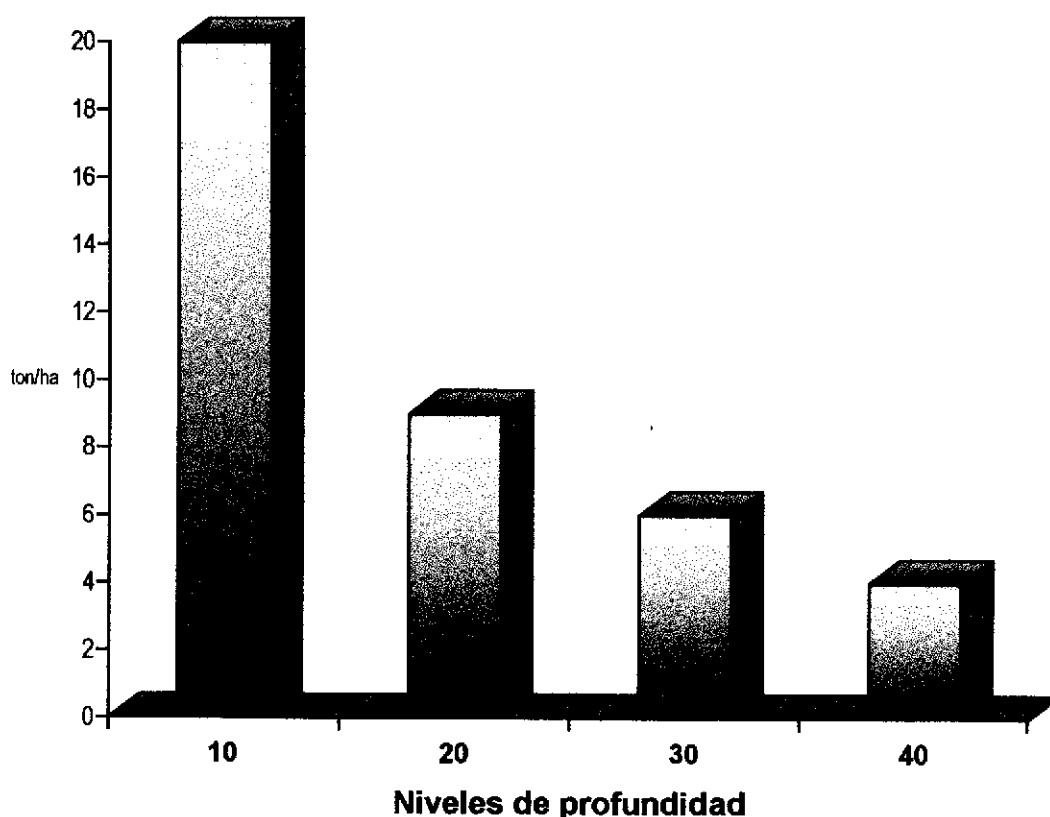


Figura 6: Contenido de carbono en suelo a diferentes profundidades; Compartimento n°19, sitio Aurora, Nueva Segovia; 2000.

Comparándose los cuatro niveles a una profundidad uniforme de 10 cm, es decir que el dato de carbono obtenido en el nivel A (0-5) equivalente a 5 cm de profundidad se asumió el doble de su cantidad y en el caso del nivel D (20-40) equivalente a 20 cm de profundidad se restó la mitad del dato de carbono obtenido; obteniéndose los resultados presentes en la gráfica.

La elevación de 550 m.s.n.m del sitio Aurora, compartimento 19, Nueva Segovia; tiene influencia en los niveles de concentración de carbono del suelo, a través de la temperatura de 23.8 C, estimulando de esta manera la actividad microbologica, acelerando la descomposición de la materia orgánica e incorporándola al suelo.

La precipitación de 1338.6 mm acelera la degradación física y química de la materia orgánica, favoreciendo la incorporación al suelo de carbono y otros nutrientes. La pendiente de 40% y una densidad de 350 arboles/ha influyen en la reducción del almacenamiento del carbono en el suelo, debido a que las lluvias arrastran la materia orgánica. Otro factor a considerar son las perturbaciones causadas por las actividades de aprovechamiento de la plantación.

4.3.1.2 Biomasa aérea

En la figura 7, se muestra la cantidad de carbono estimado en biomasa aérea, dividida en tres fracciones: fuste, ramas y hojas. Encontrándose que la mayor cantidad de carbono se refleja en el fuste con 2.58 ton/ha, seguido por las ramas con 1.67 ton/ha y luego las hojas con 0.78 ton/ha. El total de carbono estimado dentro de la biomasa aérea es de 5.04 ton/ha. El carbono capturado se deposita o fija en el follaje, tallos, sistemas radicales y sobre todo en el tejido leñoso de los troncos y las ramas principales de los árboles (Houghton, Grainger, 1990 citado por FAO, 1995)

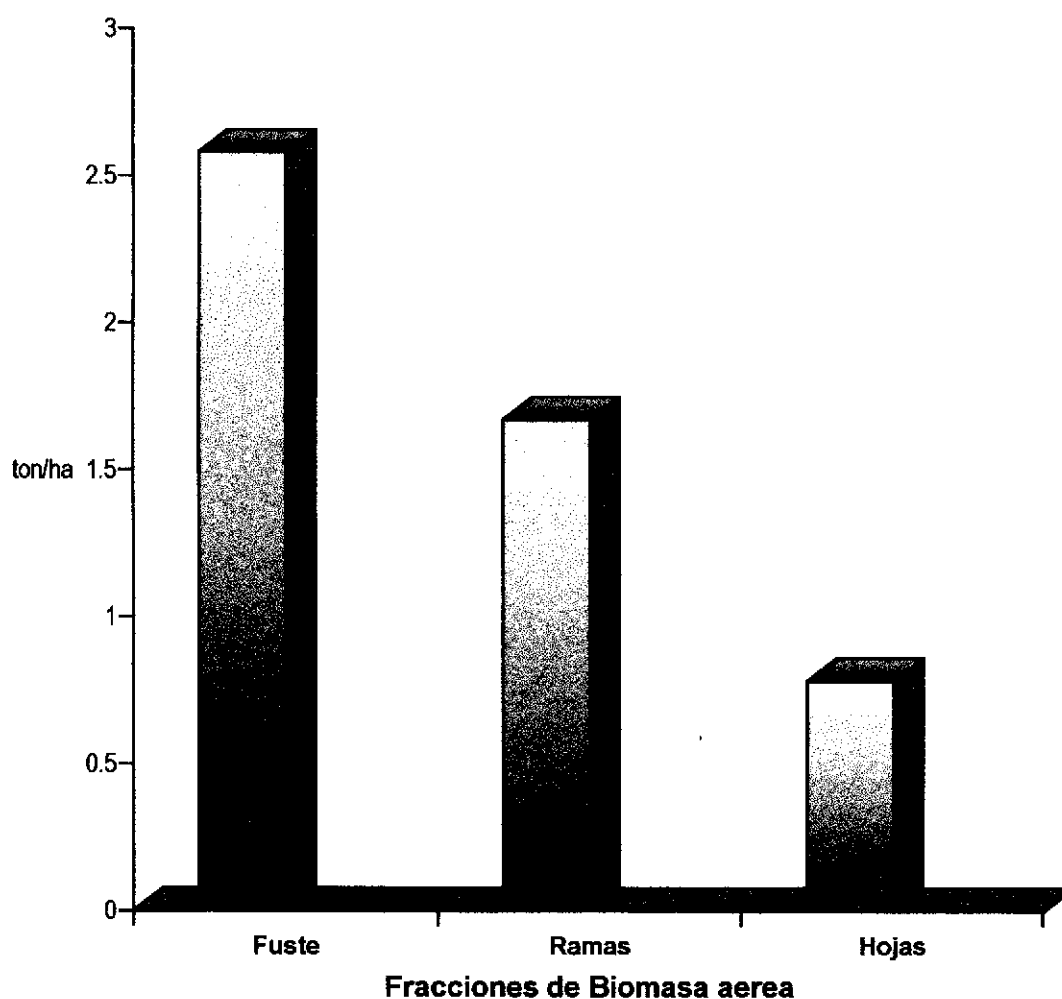


Figura 7: Contenido de carbono en biomasa aérea; compartimento n 19, Sitio Aurora, Nueva Segovia; 2000.

La elevación ejerce influencia en las concentraciones de carbono de la biomasa aérea a través de la temperatura de 23.8 °C dicha temperatura estimula la velocidad de apertura de los estomas, los cuales se encargan de controlar el flujo de entrada de dióxido de carbono a la hoja y también la pérdida de agua por transpiración. La precipitación evita que la planta sufra de estrés causado por sequía, ya que dos semanas sin lluvia provocaría el desprendimiento del follaje, lo cual afectaría las concentraciones de carbono almacenado dentro de la biomasa aérea.

La densidad de árboles del sitio influye dentro de las estimaciones de fijación de carbono, ya que dicha densidad permite una mayor captación de carbono por medio de la fotosíntesis realizada por cada individuo e incrementar las concentraciones de carbono dentro de la biomasa aérea.

El cuadro 2, muestra el análisis de varianza realizado a las fracciones de biomasa aérea, con un α 5%, determinándose que existe diferencia significativa entre las concentraciones de carbono de las fracciones, es decir que al menos un par de las tres fracciones evaluadas muestran diferencias reales, en cuanto a la capacidad de captación de dióxido de carbono. Esto debido a que fisiológicamente las fracciones son diferentes y que básicamente el carbono se fija en el tejido leñoso del tronco y las ramas principales.

Cuadro 2, Análisis de la varianza para las fracciones de Biomasa aérea, Compartimento 19, sitio Aurora, Nueva Segovia; 2000.

FV	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Fracciones	0.052	2	0.026	21.66*	3.19
Error	0.071	57	0.0012		
Total	0.123	59			

Al realizar la prueba de separación de medias Duncan con ($P < 0.05$), se encontró la existencia de una sola categoría estadística para las fracciones pero sus medias son diferentes, indicando que las fracciones son diferentes entre si. Anexo 9-b

4.3.1.3 Hojarasca

El estimado de carbono atmosférico en hojarasca es equivalente a 0.85 ton/ha. La hojarasca se ve influenciada por la temperatura y la precipitación, esta determinara su permanencia sobre el suelo a través de la estimulación que ejercen sobre la actividad microbiológica que actúa sobre la hojarasca al momento de descomponerla e incorporarla al suelo y de su aporte a las concentraciones del suelo.

La influencia de la densidad de arboles en las concentraciones de carbono de la hojarasca esta determinada por los aportes de material vegetal, el cual permanece sobre el suelo hasta el momento de su descomposición.

4.3.2 Compartimento n° 18

4.3.2.1 Suelo

En la figura 8, se presenta la cantidad de carbono estimado a diferentes profundidades del suelo, siendo el total de contenido de carbono en el suelo de 27.5 ton/ha. La cantidad mas alta se encuentra en el nivel A (0 - 5 cm), con 9.5 ton/ha, esto debido a que la materia orgánica se encuentra en los primeros 100 - 150 cm superior del suelo, reagrupándose sobre todo en la capa situada entre 1 - 20 cm de profundidad, así mismo los niveles B (5 - 10 cm) y C (10 - 20 cm) también se ven afectados en sus contenidos de carbono.

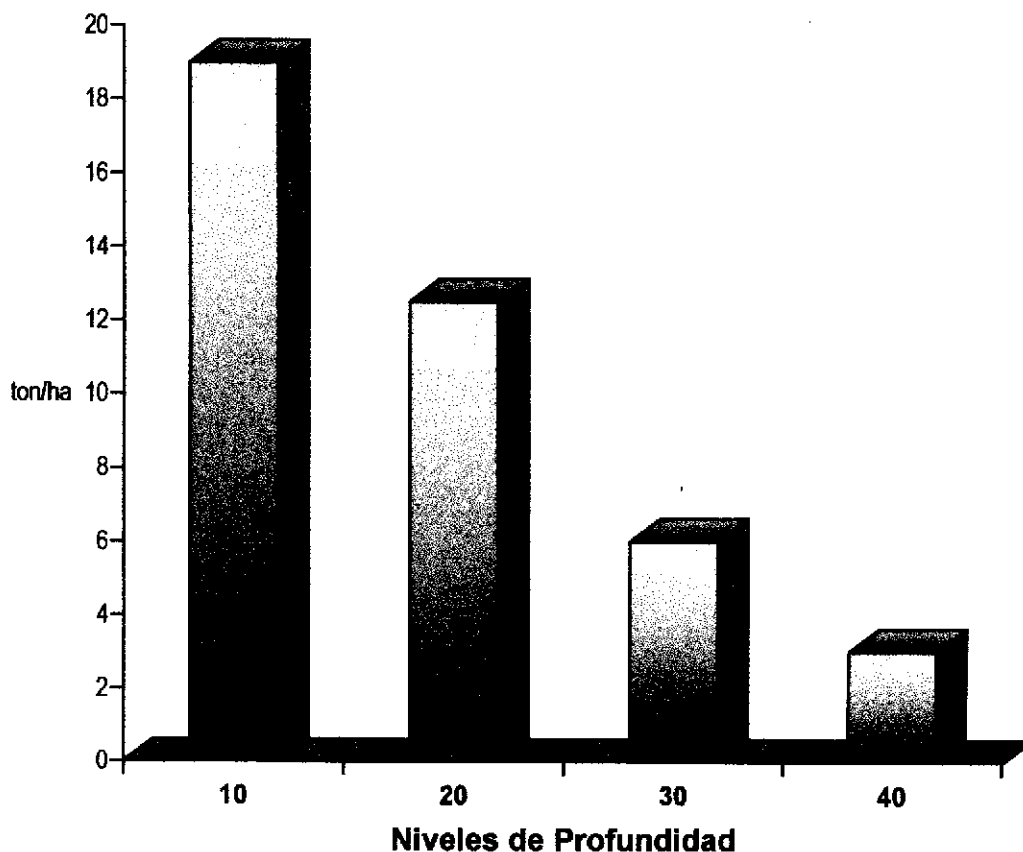


Figura 8: Contenido de carbono en suelo a diferentes Profundidades; Compartimento 18, sitio Aurora, Nueva Segovia; 2000.

Comparándose los cuatro niveles a una profundidad uniforme de 10 cm, es decir que el dato de carbono obtenido en el nivel A (0-5) equivalente a 5 cm de profundidad se asumió el doble de su cantidad y en el caso del nivel D (20-40) equivalente a 20 cm de profundidad se restó la mitad del dato de carbono obtenido; obteniéndose los resultados presentes en la gráfica.

La elevación de 550 m.s.n.m del sitio Aurora, compartimento 18, Nueva Segovia; tiene influencia en los niveles de concentración de carbono del suelo, a través de la temperatura de 23.8 C, estimulando de esta manera la actividad microbiológica, acelerando la descomposición de la materia orgánica e incorporándola al suelo.

La precipitación de 1338.6 mm acelera la degradación física y química de la materia orgánica, favoreciendo la incorporación al suelo de carbono y otros nutrientes. La pendiente de 40% y una densidad de 337 arboles/ha influyen en la reducción del almacenamiento del carbono en el suelo, debido a que las lluvias arrastran la materia orgánica. Otro factor a considerar son las perturbaciones causadas por las actividades de aprovechamiento de la plantación.

4.3.2.3 Biomasa aérea

En la figura 9, se muestra la cantidad de carbono estimado en biomasa aérea, dividida en tres fracciones: fuste, ramas y hojas. Encontrándose que la mayor cantidad de carbono se refleja en el fuste con 2.38 ton/ha, seguido por las ramas con 1.51 ton/ha y luego las hojas con 0.74 ton/ha. El total de carbono estimado dentro de la biomasa aérea es de 4.65 ton/ha. El carbono capturado se deposita o fija en el follaje, tallos, sistemas radicales y sobre todo en el tejido leñoso de los troncos y las ramas principales de los árboles (Houghton, Grainger, 1990 citado por FAO, 1995)

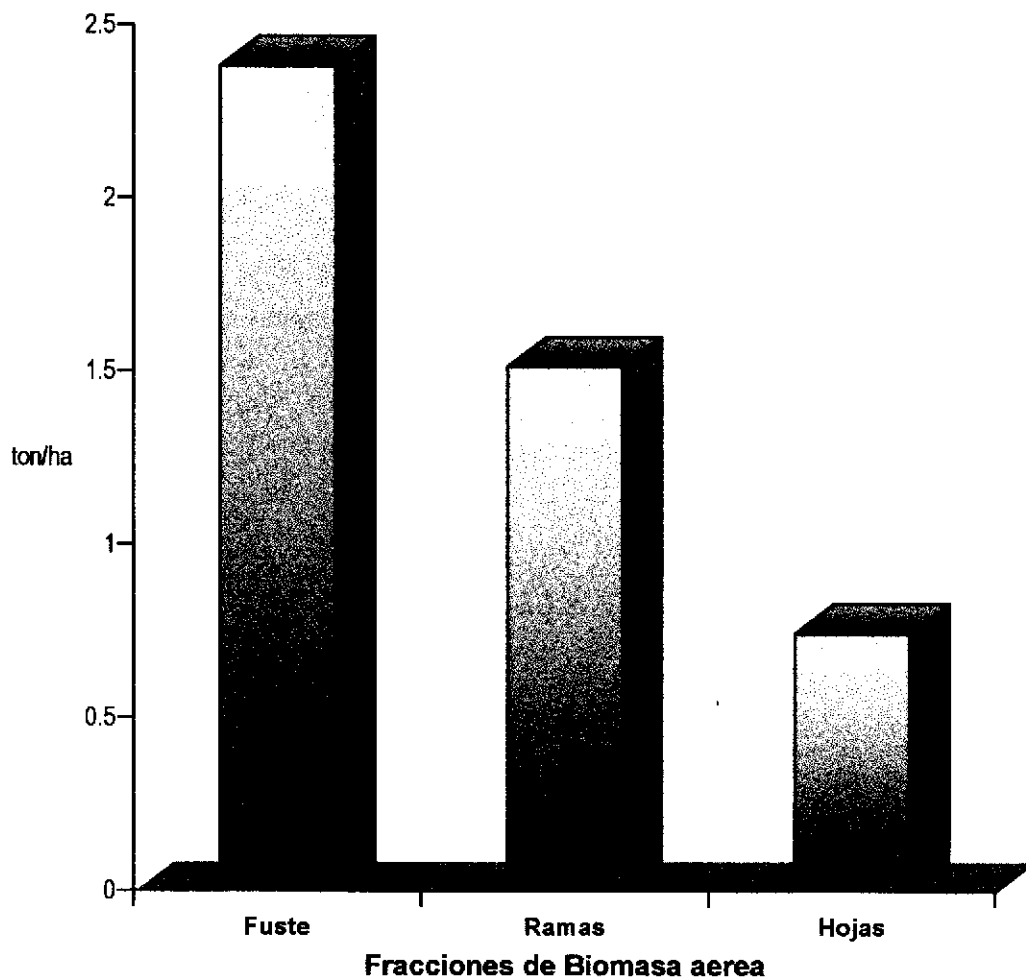


Figura 9: Contenido de carbono en biomasa aérea; compartimento 18, Sitio Aurora, Nueva Segovia; 2000.

La elevación ejerce influencia en las concentraciones de carbono de la biomasa aérea a través de la temperatura de 23.8 °C dicha temperatura estimula la velocidad de apertura de los estomas, los cuales se encargan de controlar el flujo de entrada de dióxido de carbono a la hoja y también la pérdida de agua por transpiración. La precipitación evita que la planta sufra de estrés causado por sequía, ya que dos semanas sin lluvia provocaría el desprendimiento del follaje, lo cual afectaría las concentraciones de carbono almacenado dentro de la biomasa aérea.

La densidad de arboles del sitio influye dentro de las estimaciones de fijación de carbono, ya que dicha densidad permite una mayor captación de carbono por medio de la fotosíntesis realizada por cada individuo e incrementar las concentraciones de carbono dentro de la biomasa aérea.

El cuadro 3, muestra el análisis de varianza realizado a las fracciones de biomasa aérea, con un α 5%, determinándose que existe diferencia significativa entre las concentraciones de carbono de las fracciones, es decir que al menos un par de las tres fracciones evaluadas muestran diferencias reales, en cuanto a la capacidad de captación de dióxido de carbono. Esto debido a que fisiológicamente las fracciones son diferentes y que básicamente el carbono se fija en el tejido leñoso del tronco y las ramas principales.

Cuadro 3: Análisis de la varianza a las fracciones de la variable biomasa aérea, Compartimento 18, sitio Aurora, Nueva Segovia; 2000.

FV	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Fracciones	0.079	2	0.039	43.3*	3.19
Error	0.05	57	0.0009		
Total	0.129	59			

Al realizar la prueba de separación de medias Duncan, con ($P < 0.05$), se encontró la existencia de una sola categoría estadística para las tres fracciones de la biomasa aérea, pero sus medias son diferentes, indicando que las fracciones son diferentes entre si. Anexo 9-c.

4.3.2.3 Hojarasca

El estimado de carbono atmosférico en hojarasca es equivalente a 0.71 ton/ha. La hojarasca se ve influenciada por la temperatura y la precipitación, esta determinara su permanencia sobre el suelo a través de la estimulación que ejercen sobre la actividad microbiológica que actúa sobre la hojarasca al momento de descomponerla e incorporarla al suelo y de su aporte a las concentraciones del suelo.

La influencia de la densidad de arboles en las concentraciones de carbono de la hojarasca esta determinada por los aportes de material vegetal, el cual permanece sobre el suelo hasta el momento de su descomposición.

4.4 Comparación de las estimaciones de contenido de carbono entre los 2 sitios de estudio

4.4.1 Suelo

En la figura 10, muestra que la mayor cantidad de carbono este presente en el sitio Buenos aires con 43.5 ton/ha, seguido por el sitio Aurora, compartimento 18 con 27.5 ton/ha y 25.95 ton/ha para el compartimento 19. Para la estimación de los datos se realizo un análisis químico a las muestras obtenidas me cada uno de los sitios, **Anexo 7**. Las concentraciones de carbono en el suelo están influenciadas por factores como: variaciones climáticas (temperatura, precipitación), características de sitio (elevación, pendiente) y condiciones de manejo (densidad, practicas de aprovechamiento), dichos factores favorecen la fijación de carbono dentro del sitio Buenos Aires, Esteli.

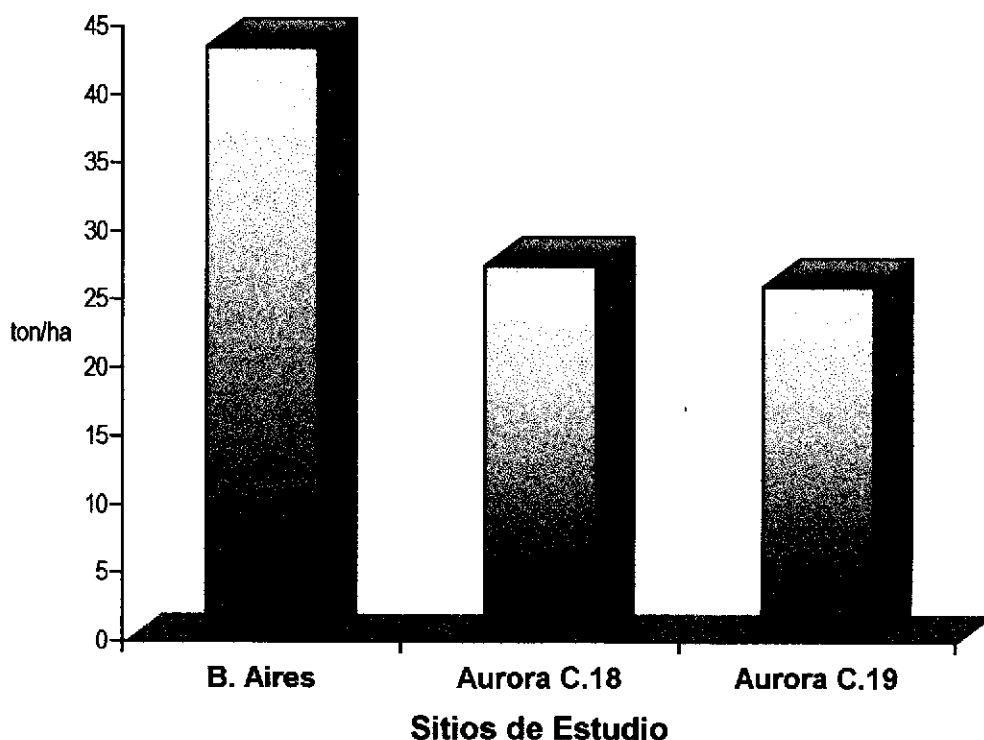


Figura 10: Contenido de carbono en suelo para los sitios Quinta Buenos Aires, Esteli y Aurora, Nueva Segovia; 2000.

Estudios realizados por Buring, 1984 citado por Locatelli, 1999; indica que los suelos contienen menos de 150 toneladas de carbono por hectárea y poca información está disponible sobre los suelos de los bosques, sin embargo, se estima que un bosque secundario contiene 75% del carbono de un bosque primario del mismo tipo y Ordoñez, 1999, afirma que al realizarle la corta de liberación y ser removida la biomasa forestal, el contenido de carbono en la biomasa decrece hasta cero, mientras que el carbono en el suelo aumenta. En la comparación de las estimaciones del carbono obtenido dentro del suelo de los sitios Buenos Aires y Aurora, dichas cantidades se ven influenciadas por factores climáticos, de sitio, de manejo y por el aporte de carbono de parte del bosque natural que existió antes de estas plantaciones.

Ingram y Fernández, 1999 citado por la FAO, 2000; indican que el secuestro de carbono potencial será controlado por un número de factores definidos como: la mineralogía y la composición mineral del suelo, se define su textura, profundidad, densidad aparente y aireación. La magnitud a la que el nivel potencial del carbono del suelo puede llegar, será controlada por factores limitantes como: la producción de biomasa aérea y subterránea, por los efectos directos del clima en los procesos del suelo principalmente la temperatura, la cantidad y distribución de la precipitación y por los efectos indirectos del clima en producción de biomasa. Los niveles actuales del secuestro de carbono en el suelo serán controlados por factores de reducción entre los cuales están las pérdidas directas por erosión y las causadas por el manejo de residuos de las cosechas que pueden limitar la cantidad de carbono que entra al suelo.

En el cuadro 4, se demuestran los resultados obtenidos al realizar el análisis estadístico de varianza con un 5% de confianza, determinándose que no existe efecto significativo entre las tres muestras de suelo de los sitios de estudio; es decir que las tres muestras evaluadas no muestran diferencias reales en cuanto a la capacidad de fijación de dióxido de carbono; esto puede ser como consecuencia de las extracciones del bosque existente en los sitios antes de establecer las plantaciones.

Cuadro 4: Análisis de la varianza del suelo, para los sitios de estudio Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

FV	SC	Gl	CM	Fc	Ft
Sitio	43.609	2	21.04	2.34 ns	4.26
Error	83.781	9	9.309		
Total	127.39	11			

La prueba de rango múltiple de Duncan, con un 5% de confianza, indican que el conjunto de los tratamiento comparados pueden separarse en dos categorías estadísticas diferentes:

- a. Sitio Buenos Aires, mayor concentración de carbono con un promedio de 10.87 ton/ha.
- b. Sitio Aurora, compartimento 19 con un promedio de 6.94 ton/ha y compartimento 18 con un promedio de 6.49 ton/ha; el comportamiento de las muestras de suelo de dichos compartimento es similar.

Esta diferencias entre los dos sitios de estudio se ven influenciadas por la densidad existente de arboles/ha y las variaciones climáticas (temperatura, precipitación) de los sitios.

4.4.2 Biomasa aérea

En la figura 11, se muestra que la mayor cantidad de carbono este presente en el sitio Buenos aires con 8.15 ton/ha, compartimento 19 con 5.04 ton/ha y el compartimento 18 con 4.65 ton/ha. Estas estimaciones están basadas en los resultados obtenidos en los pesos de los arboles promedio de cada uno de los sitios, así como el contenido de carbono en kg. y ton, Anexo 6,7y10.

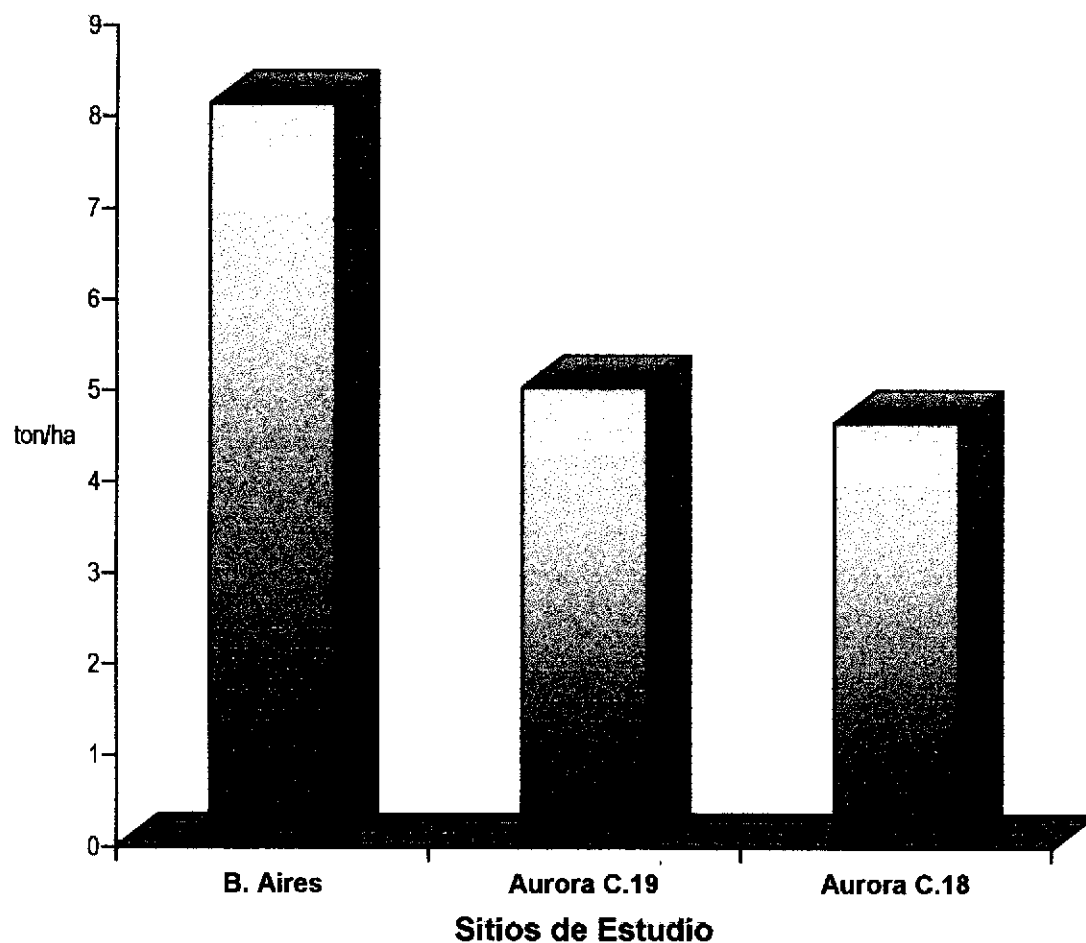


Figura 11, Contenido de carbono en Biomasa aérea por cada sitio de estudio.

Las concentraciones de carbono se ven influenciadas por factores como: variaciones climáticas, características de sitio y sobre todo por las condiciones de manejo como la densidad y las practicas de aprovechamiento.

Estudios realizados por Brown y Lugo, 1984 citado por FAO, 1996; indican que en términos generales, los bosques densos tienen mayor capacidad para almacenar carbono, que los bosques abiertos. Los bosques que no han sufrido perturbaciones pueden almacenar más carbono que los bosques degradados.

En estudios realizados por Madrigal (1999), se encontró que el contenido de carbono por la biomasa aérea su mayor porcentaje se reflejaba en el fuste con un 46.4% y en las ramas gruesas y delgadas un 45.5%; sin embargo estadísticamente no se encontraron diferencias entre las fracciones de la biomasa aérea. Estos resultados son similares a los obtenidos dentro de los sitios Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia, reflejándose en el fuste 52% y en las ramas 33%; así como en el contenido de carbono de las hojas 14%, encontrándose diferencias estadísticas entre las fracciones de la biomasa aérea.

En el cuadro 5, se demuestran los resultados obtenidos al realizar el análisis estadístico de varianza con un 5% de confianza, determinándose que existe efecto significativo entre las tres muestras de biomasa aérea de los sitios de estudio, es decir que las tres muestras evaluadas muestran diferencias reales en cuanto a la capacidad de fijación de dióxido de carbono; esto puede ser como consecuencia de las diferencias de densidad de árboles/ha y el espaciamiento actual en las plantaciones.

Cuadro 5: Análisis de la varianza de la biomasa aérea, para los sitios de estudio Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

FV	SC	GI	CM	Fc	Ft
Sitio	0.319	2	0.159	9.35 *	3.19
Error	0.96	57	0.017		
Total	1.305	59			

La prueba de rango múltiple de Duncan, con un 5% de confianza, indican que el conjunto de los tratamientos comparados pueden separarse en dos categorías estadísticas diferentes:

- a. Sitio Buenos Aires, mayor concentración de carbono con un promedio de 0.405 ton/ha.
- b. Sitio Aurora, compartimento 19 con un promedio de 0.263 ton/ha y compartimento 18 con promedio de 0.241 ton/ha; el comportamiento de las muestras de biomasa aérea de dichos compartimentos es similar. Anexo 9-d.

Estas diferencias entre los dos sitios de estudio se ven influenciadas por la densidad existente de árboles/ha y las variaciones climáticas (temperatura, precipitación) de los sitios.

4.4.3 Hojarasca

En la figura 12, se muestra mayor cantidad de carbono este presente en el sitio Buenos Aires con 1.14 ton / ha, seguido del sitio Aurora; compartimento 19 con 0.85 ton / ha y 0.71 ton / ha para el compartimento 18. En el sitio Aurora, la descomposición de la hojarasca es mayor en comparación con en el sitio Buenos Aires; esto a causa de las variaciones climáticas (temperatura, precipitación), Anexos 11 y 12 y condiciones de manejo (densidad, prácticas de aprovechamiento), que incrementan dicho proceso en el sitio Aurora, Nueva Segovia.

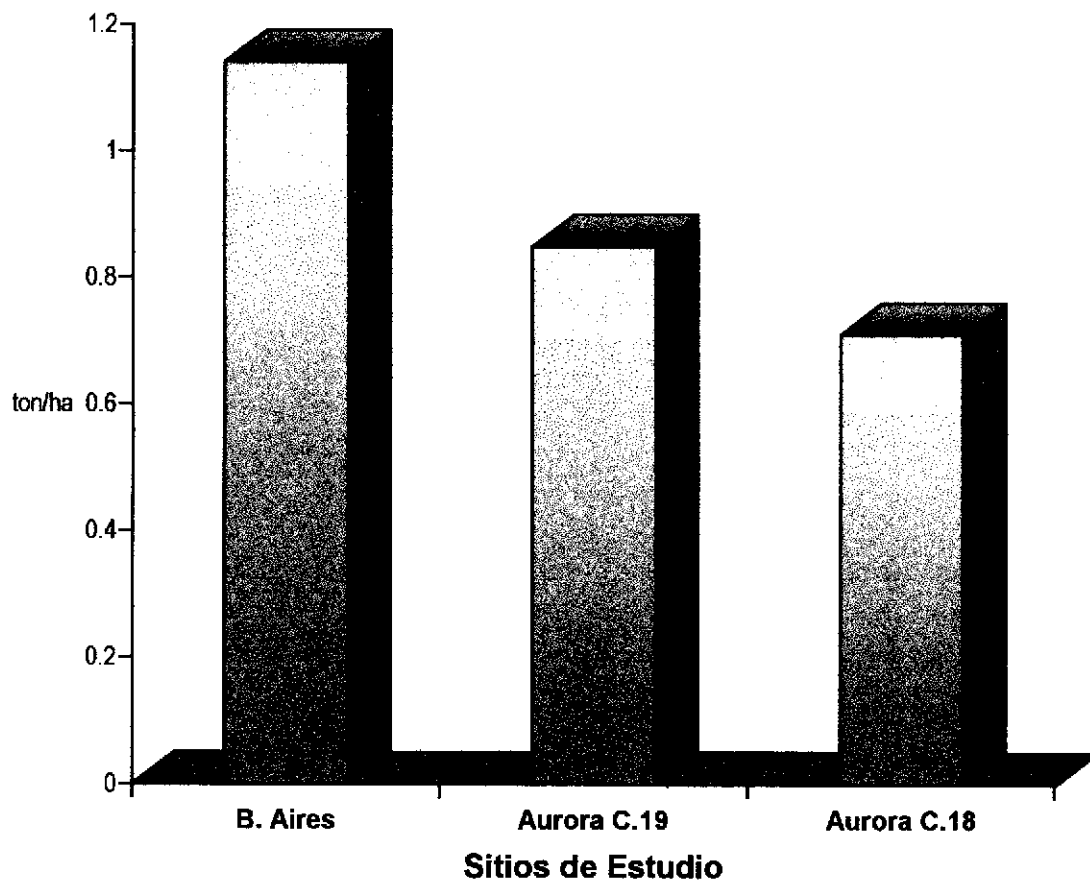


Figura 12: Contenido de carbono en Hojarasca, para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

Según Grace, 1991 citado por FAO, 1996 afirma que al existir un incremento de la temperatura, provocara un aumento de la actividad microbiologica, haciendo que la hojarasca se descomponga mas rápidamente, lo que a su vez acelera la velocidad de emisión de carbono. Otro factor a considerar es la densidad de arboles/ha, por que al existir una menor densidad, hay una menor concentración de hojarasca y una mayor degradación.

La figura 13, muestra las concentraciones totales de carbono almacenado por las plantaciones de *Pinus oocarpa* dentro de los sitios de estudio, correspondiendo de la siguiente manera: Sitio Buenos Aires, Estelí con 52.78 tonC/ha, seguido por el sitio Aurora, Nueva Segovia, compartimento 18 con 32.86 tonC/ha y el compartimento 19 con 31.84 tonC/ha.

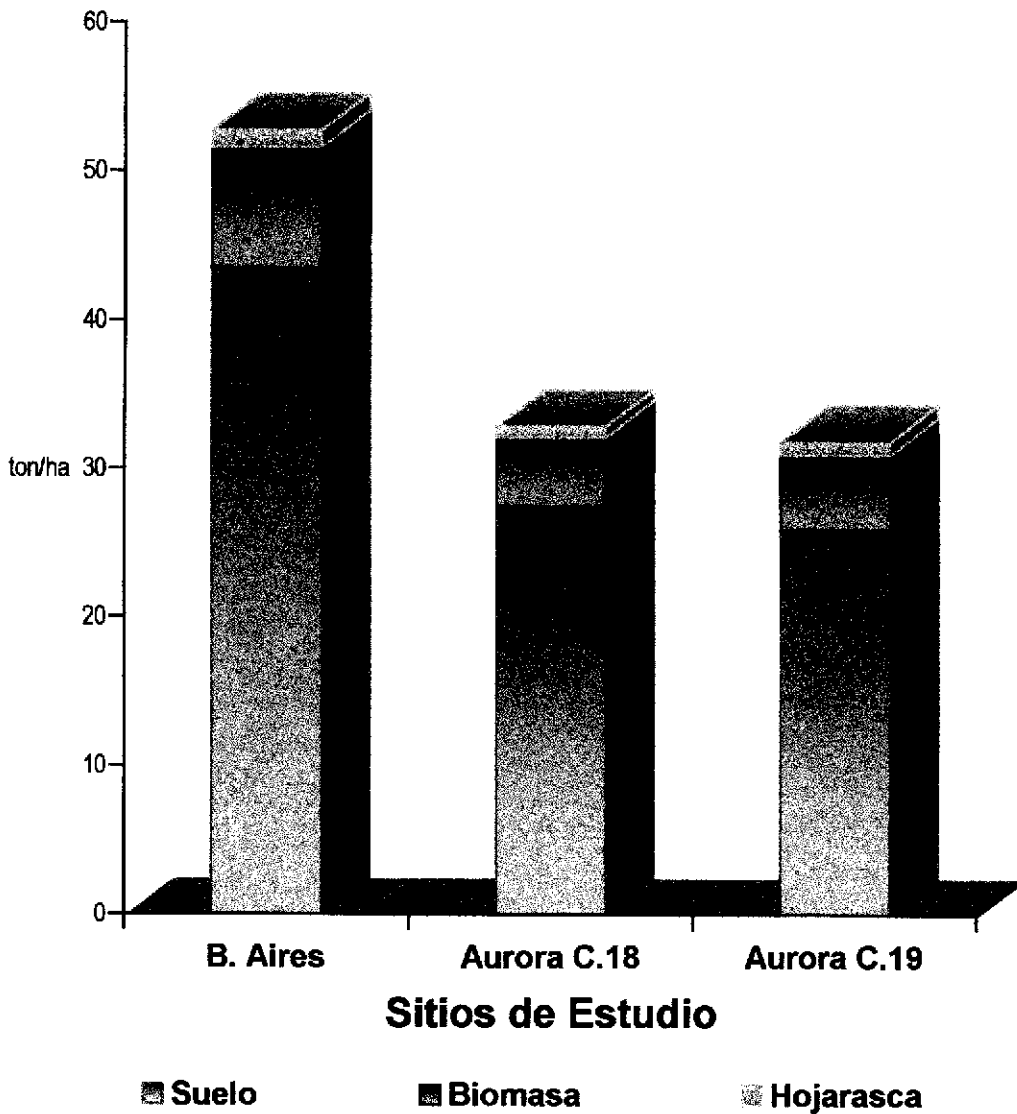


Figura 13: Contenido de carbono total, para los sitios Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

El sitio Aurora ha sido sometido a varias extracciones de madera, provocando la pérdida de concentraciones de carbono almacenado. Caso contrario con el sitio Buenos Aires el cual no ha sido aprovechado y mantienen sus concentraciones de carbono. Este nuevo beneficio ambiental del bosque como lo es la fijación de carbono tiene importancia económica, si tomamos en cuenta que a nivel internacional se ha fijado un precio aproximado de US \$ 10/tC por concepto de la captura de carbono como servicio ambiental en proyectos forestales (Montoya et al., 1995 De Jong et al., 1998 citado por Ordoñez 1999), si consideramos una captura neta mínima de 100 tC/ha, al incrementar la densidad de árboles /ha y el área de la plantación o bosque, los beneficios de este recurso ayudarán a conservar los bosques, el suelo y la diversidad biológica del lugar.

4.5 Determinación de la influencia de temperatura, precipitación y altitud en las concentraciones de carbono.

La figura 14, se muestra que con una temperatura de 22.7°C, presenta una mayor concentración de carbono; al contrario de una temperatura de 23.8°C donde las concentraciones de carbono son menores, por lo tanto la velocidad de apertura de los estomas esta marcada a menores temperatura obteniéndose una mayor fijación de carbono.

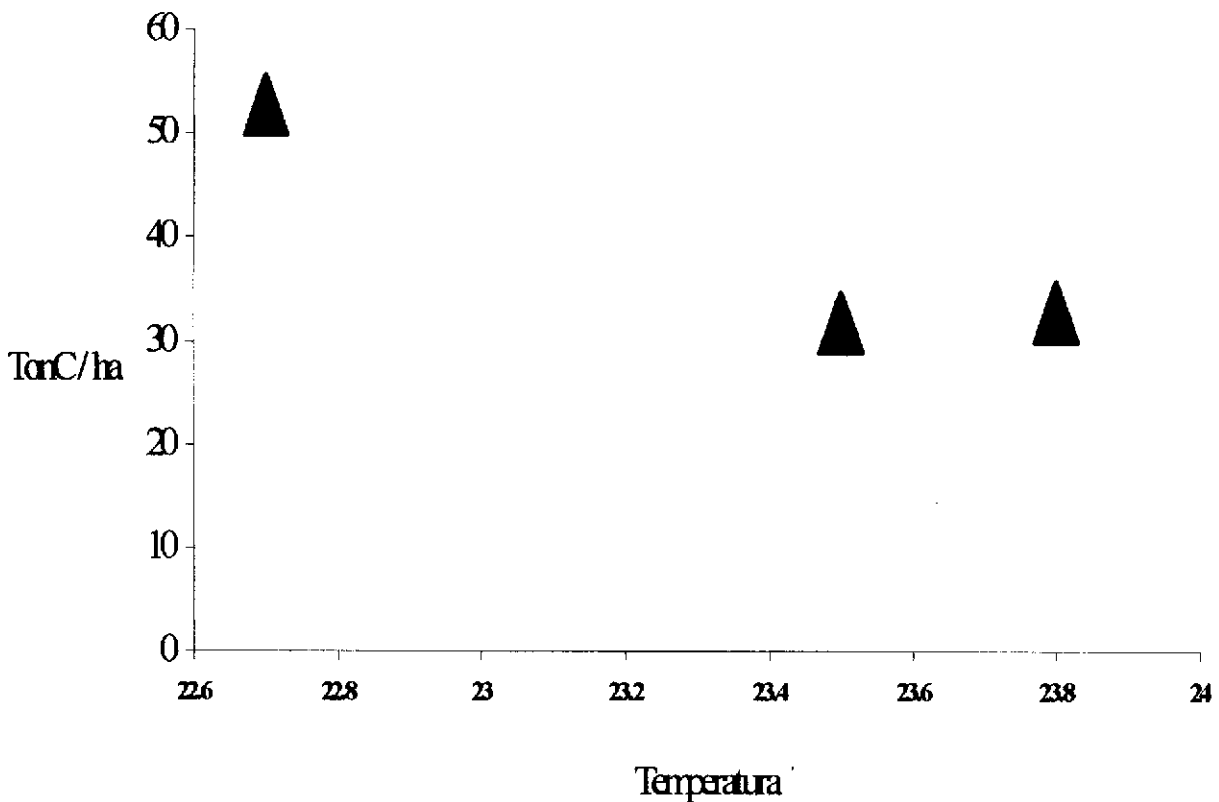


Figura 14: Relación temperatura - tonC/ha, para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

FAO, 2000; indica que las condiciones climáticas, especialmente temperatura y precipitación, influyen en la cantidad de materia orgánica del suelo. El contenido de materia orgánica aumenta a medida que la temperatura disminuye.

En la figura 15, se muestra que, con una precipitación de 1186.7 mm, la concentración de carbono es mayor; al contrario de una precipitación de 1338.6 mm donde las concentraciones de carbono son menores, demostrando esto que la degradación física y química de la materia orgánica bajo la influencia de condiciones de aprovechamiento es mas acelerada.

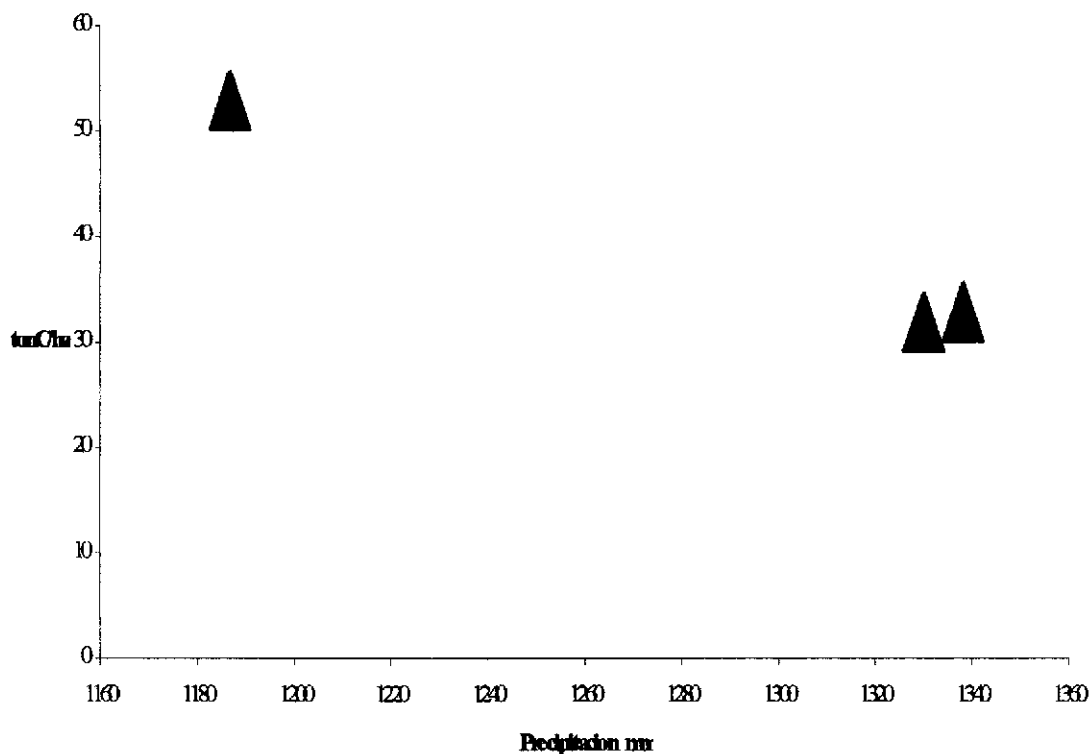


Figura15: Relación precipitación - tonC/ha, para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

Brown y Lugo, 1982; citado por FAO, 2000; reportaron una relacion positiva entre la cantidad de carbono y la humedad del suelo, con incrementos de humedad hubo incrementos en los materiales gruesos, los cuales se descomponen relativamente despacio y pueden resultar en incrementos del carbono orgánico del suelo.

En la figura 16, se muestra que una elevación de 920 m.s.n.m, presenta mayor concentración de carbono; a diferencia de una elevación de 580 - 550 m.s.n.m donde las concentraciones de carbono son menores.

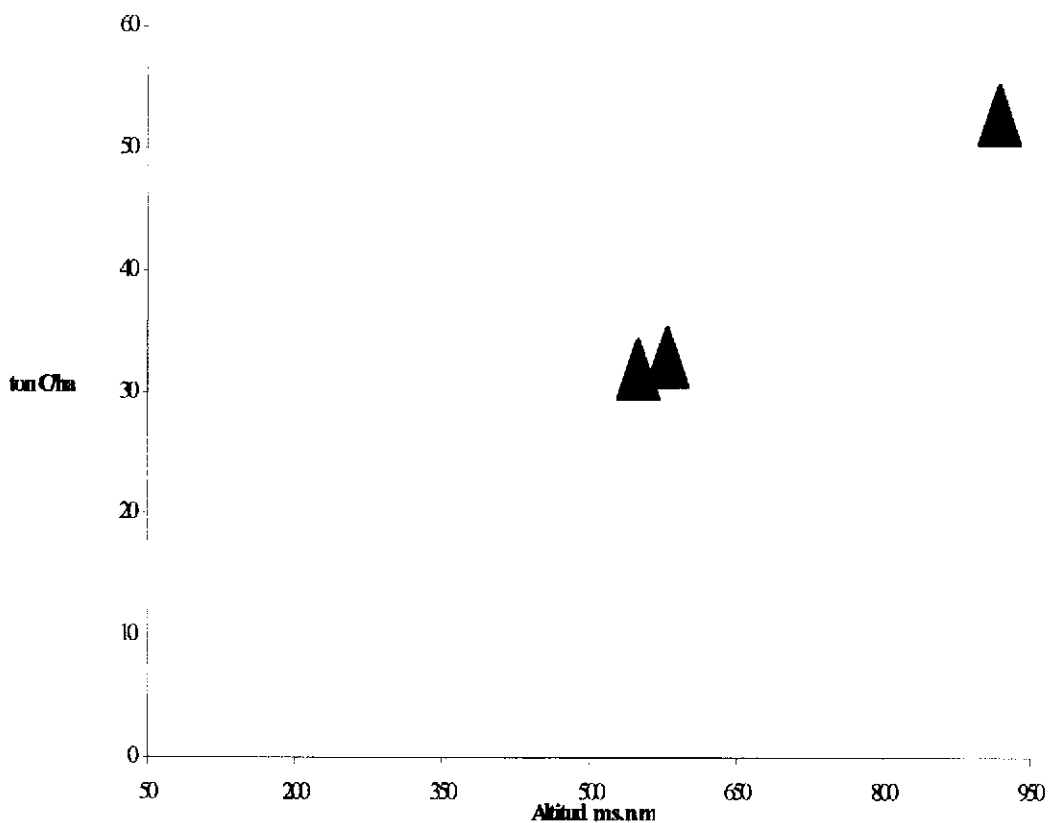


Figura16: Relación altitud - tonC/ha, para los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia; 2000

Vucetich et al; 1999; indican que la descomposición total del carbono y la cantidad de hojarasca total disminuye considerablemente con el incremento de la latitud.

Esto refleja una compensación de variantes climáticas entre los sitios de estudio, ya que áreas que presentan baja precipitación, provocaran una aumento en la eficiencia de las plantas en la utilización del agua, significando que puede ser posible obtener un mayor crecimiento de las plantas.

Miller et al; 1987 citado por FAO, 1996; indican que los cambios de la distribución natural de los ecosistemas naturales y de las especies arbóreas, pueden ser consecuencia de cambios de temperatura y humedad debido a los niveles de gases de efecto invernadero. Las especies pueden desplazarse cambiando la altura o la latitud de su distribución. A medida que la temperaturas aumente, las especies se desplazaran hacia lugares mas altos.

V.- CONCLUSIONES

El sitio que presenta la mayor captación de carbono estimado es: Quinta Buenos Aires, Estelí con 52.78 tonC/ha, el sitio Aurora, compartimento 18, Nueva Segovia presenta un estimado de 32.86 tonC/ha y con 31.84 tonC/ha el compartimento 19.

El componente de mayor fijación de carbono es el suelo, con un estimado de 43.5 tonC/ha dentro del sitio Buenos Aires, seguido de la biomasa aérea con 8.15 tonC/ha y la hojarasca con un estimado de 1.14 tonC/ha.

La temperatura de ambos sitios son similares y tiene gran influencia en la fijación de carbono dentro de los tres componentes (biomasa aérea, hojarasca y suelo) de cada uno de los sitios, al estimular la velocidad de apertura de los estomas y la actividad microbiológica.

La precipitación de ambos sitios también son similares, y también tiene gran influencia en la fijación de carbono, al reducir la cantidad de material orgánico desprendido por el estrés causado por sequía e incendios.

La elevación de los sitios influye en la fijación de carbono, a través de la distribución de la especie, ya que esta siempre busca condiciones climáticas que favorezcan su desarrollo.

Los diámetros y alturas de los sitios Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia ejercen influencia en las concentraciones de carbono, a través de la cantidad de biomasa vegetal producida por las plantaciones de los sitios de estudio.

VI.- RECOMENDACIONES.

Establecer plantaciones que contemple asegurar la productividad sostenida a largo plazo de productos maderables y no maderables (resina, carbón), inclusive la absorción de carbono.

Dar prioridad al conocimiento de nuevas metodología de estimación de carbono almacenado, con el fin de valorizar los nuevos servicios ambientales que el bosque produce e incentivar al productor maderero a manejar mas sosteniblemente su bosque.

Utilización de Practicas de aprovechamiento de bajo impacto (arrastre controlado, tala dirigida, construcción de red vial), para reducir el ritmo de liberación del carbono almacenado.

Un mayor aprovechamiento de los arboles talados, tendrá como resultado una reducción del área total que necesita ser explotada.

Solicitar apoyo financiero a fuentes como lo son: gobiernos nacionales, empresas privadas, y organismos internacionales donantes que han ofrecido su apoyo financiero para realizar plantaciones forestales en los países en desarrollo.

VII.- BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO, C. 1991. Instructivo para la realización de inventarios forestales, serie manual técnico n 1, HONDURAS, Ediciones Lithopress industrial, 16p.
- ALONSO, J. C. 1966. Estudio de la masa forestal del Bosque de pino Oocarpa de Yucul (NICARAGUA) atacado por *Dendroctonus Frontalis*; Magister, Turrialba, COSTA RICA; Instituto Interamericano De Ciencias Agrícolas de la O.E.A. 86p.
- CMG & BSF, 1994. Pinos de Nicaragua/ Centro de mejoramiento genético y Banco de semilla forestal, Managua: Hispamer, 1994, 48p.
- FAO, 1995. Cambio climáticos, Bosques y ordenación forestal, Una visión de conjunto. Estudio FAO: Montes n° 126, Roma, Italia, 146p.
- FAO, Roma 1996. Cambio Climático y Ordenación Forestal Sostenible. Estudio FAO: Montes n°122, Roma, Italia, 295p – 129,141p.
- FAO, Roma 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de Dióxido de carbono. 96p.
- FERRERIA, R. O. 1990, Manual de inventarios forestales, Escuela de Ciencias forestales, SIGUATEPEQUE, HONDURAS. Impreso en ESNACIFOR, 99P.
- HOMER, D.CH; Y PARKER, F.P, 1988. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas, 87p.
- LOCATELLI, B, 1999. Bosques tropicales y ciclo del carbono. Programa ambiental Nicaragua, Finlandia; Ministerio del ambiente y Los recursos naturales, 49p.
- LOPEZ, J.R; Y LOPEZ, J.M, 1990. El diagnostico de suelos y plantas: Métodos de campo y laboratorio. Ediciones Mundi-Prensa castillo, 37.Madrid, 4ta Edición, 33p.
- LARCHER, W. 1997, Ecofisiología vegetal, traducido del alemán por Lahucat J. Barcelona; España, Ediciones Omega, 305p.
- MACDICKEN, K.G, 1997. A guide to monitoring carbon storage in Forestry and Agroforestry projects; Winrock international institute for Agricultural development, 87p.
- MARENA, Programa ambiental Nicaragua-Finlandia; 1999. Guía para comprender el cambio climático en Nicaragua, 61p.
- MARENA, Programa ambiental Nicaragua-Finlandia; 1999. Manual de consideraciones sobre el cambio climático para tomadores de decisiones, 40p.

MADRIGAL, A, 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación cordillera volcánica central, Costa Rica, 117p.

ORDOÑEZ, J, 1999. Captura de carbono en bosque templado: el caso de San Juan nuevo, Michoacán: Primera edición 81p.

RUSSO, R.O, 1983. Mediciones de biomasa en sistemas agroforestales, curso corto sobre metodología de investigación agroforestal en el trópico húmedo; Cali, Colombia, 1983. Información Y documentación forestal para América tropical, 27p.

SALAZAR, R; 1989, Guía para la investigación silvicultural de Especies de uso múltiple. Turrialba, C.R.: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido, 130p.

SORGEL, N. 1985, Introducción en inventarios forestales, servicio Alemán de cooperación social técnica; Managua, NICARAGUA, Ediciones ENIEC, 120p.

ANEXOS

Anexo 2. – Porcentaje carbónico en ton/ha para biomasa aérea (ramas, fuste y hojas). Para un área de 0.5ha en cada sitio de estudio, con datos obtenidos en el Premuestreo.

Sitio	N° Arboles	C / parcela
Aurora Compartimento N°19	16	0.230
	21	0.302
	29	0.418
	10	0.144
	13	0.187
	15	0.216
	25	0.36
	15	0.216
	20	0.288
	20	0.288
	184	2.65

Sitio	N° Arboles	C / parcela
Aurora Compartimento N°18	37	0.511
	18	0.248
	13	0.179
	17	0.235
	16	0.221
	25	0.345
	15	0.207
	20	0.276
	12	0.166
	17	0.235
	190	2.62

Sitio	N° Arboles	C / parcela
Quinta Buenos Aires	38	0.566
	38	0.566
	1	0.015
	33	0.492
	29	0.432
	29	0.432
	26	0.387
	25	0.373
	27	0.402
	21	0.313
	267	3.98

MUESTREO

Anexo 3. – Promedio de DAP y altura y porcentaje carbónico en ton/ha para el sitio Aurora, compartimento 19, Nueva Segovia; 2000

Compartimento n°19				
N° de parcela	N° de árboles	DAP promedio	Altura promedio	Total %C por parcela
1	18	9.3	12	0.277
2	16	17.1	10	0.246
3	18	12	12	0.277
4	9	16	11	0.139
5	18	11.3	12	0.277
6	27	12.8	11	0.416
7	18	15.9	10	0.277
8	20	17.4	10	0.308
9	0	0	0	0
10	13	15.5	12	0.200
11	16	15.6	9	0.246
12	21	13.1	10	0.323
13	29	11.3	12	0.447
14	10	14.4	11	0.154
15	13	15.7	12	0.200
16	15	13.6	11	0.231
17	25	11.7	10	0.385
18	15	13.5	10	0.231
19	20	10.5	12	0.308
20	20	12.8	12	0.308
21	17	14.7	10	0.262
22	15	16.3	11	0.231
23	22	14.4	9	0.339
24	19	15.1	12	0.293
25	15	15.4	10	0.231
26	19	15	12	0.293
27	23	15.1	11	0.354
28	20	15.1	10	0.308
Totales	491	-	-	7.98

Anexo 4. Promedio de DAP y altura y porcentaje carbónico en ton/ha para el sitio Buenos aires, Estelí; 2000.

Quinta Buenos Aires				
N° de parcelas	N° de árboles	DAP promedio	Altura promedio	Total %C por parcela
1	38	10	11	0.566
2	38	10.8	13	0.566
3	1	9	10	0.015
4	33	13.5	11	0.492
5	29	13	10	0.432
6	29	9.8	12	0.432
7	26	12	13	0.387
8	25	12.7	11	0.373
9	27	14.6	10	0.402
10	21	12	12	0.313
11	35	14.7	9	0.522
12	20	15.8	11	0.298
13	43	14.6	11	0.641
14	34	15.8	11	0.507
15	22	11	11	0.328
16	44	13	12	0.656
17	28	14.8	12	0.417
18	42	13.6	11	0.626
19	16	15.7	12	0.238
20	33	15.6	10	0.492
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	13	13	10	0.194
24	30	12.6	7	0.447
25	38	15.8	11	0.566
26	33	13.6	11	0.492
27	39	13.9	13	0.581
28	29	15.7	12	0.432
29	29	14.7	11	0.432
30	34	13.8	10	0.507
31	40	13.6	12	0.596
32	25	14.9	13	0.373
33	26	15	13	0.387
34	25	13.7	12	0.373
35	27	16.8	13	0.402
36	21	15	12	0.313
37	24	12	12	0.358
38	23	12.8	13	0.343
39	27	15	13	0.402
Total	1067	-	-	15.90

Anexo 5, Promedio de DAP y altura y porcentaje carbónico para el compartimento 18, sitio aurora, Nueva Segovia; 2000.

Compartimento n° 18				
N° de parcelas	N° de árboles	DAP promedio	Altura promedio	Total % C por parcela
1	18	14	12	0.248
2	16	14	11	0.221
3	20	13	10	0.276
4	14	11	10	0.193
5	11	15	10	0.152
6	21	12	11	0.290
7	11	10	12	0.152
8	30	10	13	0.414
9	8	12	11	0.110
10	16	18	11	0.221
11	18	15	9	0.248
12	21	11	10	0.290
13	24	17	11	0.331
14	17	15	11	0.235
15	11	9	10	0.152
16	19	18	8	0.262
17	21	16	10	0.290
18	21	13	11	0.290
19	8	9	12	0.110
20	12	11	12	0.166
21	17	10	11	0.235
22	10	9	8	0.138
23	7	12	10	0.097
24	12	15	9	0.166
25	18	9	10	0.248
26	8	13	9	0.110
27	37	11	10	0.511
28	18	8	12	0.248
29	13	11	11	0.179
30	17	8	10	0.235
31	16	10	13	0.221
32	25	8	12	0.345
33	15	10	9	0.207
34	20	8	10	0.276
35	12	10	11	0.166
36	17	13	13	0.235
37	18	9	10	0.248
38	20	10	12	0.276
39	11	8	10	0.152
40	11	10	11	0.152

Compartimento n° 18				
N° de parcela	N° de árboles	DAP promedio	Altura promedio	Total %C por parcela
41	8	8	12	0.110
42	21	10	10	0.290
43	17	12	11	0.235
44	12	10	10	0.166
45	37	8	9	0.511
46	17	8	12	0.235
47	15	11	9	0.207
48	17	10	13	0.235
49	17	9	11	0.235
50	25	5	12	0.345
51	20	9	10	0.276
52	17	8	10	0.235
53	20	8	11	0.276
54	21	7	10	0.290
55	8	8	11	0.110
56	21	7	10	0.290
57	11	10	9	0.151
58	21	10	12	0.290
59	17	8	11	0.235
60	19	10	10	0.262
61	21	9	9	0.290
62	12	8	12	0.166
63	10	7	11	0.138
64	12	10	10	0.166
65	8	7	11	0.110
66	18	12	12	0.248
67	13	10	10	0.179
68	16	13	11	0.221
69	15	11	10	0.207
70	12	10	13	0.166
71	16	12	12	0.221
72	14	10	10	0.193
73	21	9	11	0.290
74	30	8	12	0.414
75	16	10	13	0.221
76	18	11	11	0.248
77	24	11	12	0.331
78	11	10	10	0.152
79	21	8	11	0.290
80	8	12	10	0.110

Compartimento n° 18				
N° de parcela	N° de árboles	DAP promedio	Altura promedio	Total % C por parcela
81	17	8	11	0.235
82	7	11	10	0.097
83	18	10	13	0.248
84	37	12	13	0.511
85	18	9	10	0.248
86	14	11	12	0.193
87	11	9	10	0.152
88	16	8	8	0.221
89	24	10	11	0.331
90	19	11	12	0.262
91	8	13	10	0.110
92	10	8	12	0.138
93	18	10	11	0.248
94	18	10	9	0.248
95	16	12	9	0.221
96	20	13	10	0.276
97	17	8	9	0.235
98	11	10	11	0.152
99	17	10	12	0.235
100	17	11	13	0.235
101	18	9	9	0.248
102	12	8	13	0.166
103	21	9	10	0.290
104	24	7	11	0.331
105	12	10	11	0.166
106	37	11	10	0.511
107	20	10	9	0.276
108	11	12	9	0.152
109	21	10	10	0.290
110	8	8	11	0.110
111	8	12	11	0.110
112	15	11	10	0.207
113	14	12	12	0.193
114	18	13	10	0.248
115	21	9	11	0.290
116	18	10	11	0.248
117	25	9	11	0.345
118	20	10	11	0.276
119	16	9	10	0.221
120	21	10	12	0.290

Compartimento n° 18				
N° de parcela	N° de árboles	DAP promedio	Altura promedio	Total % C por parcela
121	12	9	12	0.166
122	16	11	10	0.221
123	16	9	11	0.221
124	8	8	10	0.110
125	19	7	11	0.262
126	7	10	9	0.097
127	17	8	10	0.235
128	18	10	11	0.248
129	30	11	12	0.414
130	11	12	11	0.152
131	10	7	12	0.138
132	13	10	11	0.179
133	17	9	11	0.235
134	19	8	10	0.262
135	25	9	10	0.345
136	32	7	12	0.442
137	14	10	9	0.193
138	18	10	11	0.248
139	20	12	10	0.276
140	10	10	9	0.138
141	14	7	10	0.193
142	23	9	12	0.317
143	15	12	10	0.207
144	18	10	9	0.248
145	16	9	11	0.221
146	21	10	9	0.290
147	10	11	10	0.138
148	13	9	12	0.179
149	18	10	9	0.248
150	22	12	10	0.304
Total	2531	--	--	34.93

Anexo 6. - Datos de los pesos verdes y secos, del árbol promedio de las muestras tomadas en los sitios de estudio.

Sitio	muestras	P. verde (g)	P. seco (g)	R ps/pv (kg)	P. verde (kg)	P. S. Total
Aurora compartimento 19, 2000	Fuste	500	242	0.484	30.48	14.75
	Ramas	500	239	0.478	19.91	9.52
	Hojas	500	210	0.42	10.66	4.48
	Hojarasca	170.25	170.25	1	0.17025	0.17025

Sitio	Muestra	P. verde (g)	P. seco(g)	R ps/pv (kg)	P. verde (kg)	P.S. Total
Aurora, compartimento 18, 2000	Fuste	500	234	0.468	30.16	14.11
	Ramas	500	225	0.45	19.87	8.94
	Hojas	500	214	0.428	10.21	4.37
	Hojarasca	141.87	141.87	1	0.14187	0.14187

Sitio	Muestra	P. verde (g)	P. seco(g)	R ps/pv (kg)	P.verde (kg)	P.S. Total
Quinta Buenos aires, 2000	Fuste	500	259	0.518	30.84	15.98
	Ramas	500	244	0.488	19.96	9.74
	Hojas	500	207	0.414	9.75	4.04
	Hojarasca	227.07	227	0.99	0.22707	0.227

Anexo 7, Datos de peso carbónico de la biomasa aérea del árbol promedio de cada sitio de estudio en kg y ton.

Sitio Quinta Buenos aires, 2000		
Biomasa aérea	Peso C kg	Peso C ton
Fuste	7.99	0.0080
Ramas	4.87	0.0049
Hojas	2.02	0.0020

Sitio Aurora, compartimento 19, 2000		
Biomasa aérea	Peso C kg	Peso C ton
Fuste	7.38	0.0074
Ramas	4.76	0.0048
Hojas	2.24	0.0022

Sitio Aurora, compartimento 18, 2000		
Biomasa aérea	Peso C kg	Peso C ton
Fuste	7.06	0.0071
Ramas	4.47	0.0045
Hojas	2.18	0.0022

Anexo 8. - Tabla del resultado del análisis químico; realizado a las muestras de suelo. Tomadas de los tres sitios de estudio a los niveles de profundidad preestablecidos.

Sitio	N° muestra	% Carbono 1er Examen	% Carbono 2do Examen
Aurora Compartimento N° 18, 2000	0 - 5	1.6	2.76
	0 - 5	0.8	2.17
	0 - 5	0.83	3.35
	5 - 10	0.76	0.87
	5 - 10	0.54	3.05
	5 - 10	0.76	1.51
	10 - 20	0.5	0.66
	10 - 20	0.58	0.81
	20 - 40	0.32	0.29
20 - 40	0.21	0.4	

Sitio	N° muestra	% Carbono 1er Examen	% Carbono 2do Examen
Aurora Compartimento n° 19, 2000	0 - 5	1.12	2.02
	0 - 5	2.07	2.24
	0 - 5	0.36	1.74
	5 - 10	0.58	0.87
	5 - 10	2.0	0.95
	5 - 10	0.36	0.77
	10 - 20	0.07	0.55
	10 - 20	0.18	0.58
	20 - 40	0.32	0.4
20 - 40	0.5	0.4	

Sitio	N° muestra	% Carbono 1er Examen	% Carbono 2do Examen
Quinta Buenos Aires, 2000	0 - 5	3.01	2.65
	0 - 5	3.08	2.61
	0 - 5	2.94	2.46
	5 - 10	2.5	1.95
	5 - 10	2.61	2.17
	5 - 10	2.0	2.13
	10 - 20	0.98	2.33
	10 - 20	1.19	2.04
	20 - 40	0.47	1.95
	20 - 40	0.21	2.24

Anexo 9. - Separación de medias según Duncan, efectuado entre las fracciones de la Biomasa aérea y entre los sitios de estudio.

* Existe significancia dentro de las fracciones. ($P < 0.05$)

a.- Prueba de separación de medias para las fracciones de biomasa aérea del sitio Buenos aires.

	Componente	N	$\alpha = 0.05$
Duncan	Fuste	20	0.218*
	Ramas	20	0.133*
	Hojas	20	0.154*

- Existe diferencia significativa entre las fracciones. ($P < 0.05$), determinando una sola categoría 'a'.

b.- Prueba de separación de medias para las fracciones de la biomasa aérea del Compartimento 19.

	Componente	N	$\alpha = 0.05$
Duncan	Fuste	20	0.126*
	Ramas	20	0.082*
	Hojas	20	0.055*

- Existe diferencia significativa entre las Fracciones. ($P < 0.05$), determinando una sola categoría 'a'.

C.- Prueba de separación de medias para las fracciones de la biomasa aérea del Compartimento 18.

	Componente	N	$\alpha = 0.05$
Duncan	Fuste	20	0.124*
	Ramas	20	0.079*
	Hojas	20	0.038*

- Existe diferencia significativa entre los sitios. ($P < 0.05$), determinando una sola categoría 'a'.

D.- Prueba de separación de medias para la biomasa aérea de los dos sitios de estudio.

	Sitio	N	$\alpha = 0.05$	Categoría
Duncan	B. Aires	20	8.106*	a
	Aurora C.18	20	5.25*	b
	Aurora C.19	20	4.83*	b

* Las medias no son significativamente diferentes.

Anexo 10. - Peso carbónico de la biomasa aérea y de hojarasca en kg y ton/ha.

Sitio	Fuste (kg)	Ramas (kg)	Hojas (kg)	Total (kg / árbol)	Hojarasca (kg / m²)
Compartimento n°19	2583	1666	783.51	5032.51	0.085125
Compartimento n°18	2378.36	1506.64	736.32	4621.32	0.070935
Buenos Aires	4369.20	2664.02	1103.98	8137.2	0.1135

Sitio	Fuste	Ramas	Hojas	Total (ton C)	Hojarasca
Compartimento n°19	2.58	1.67	0.78	5.03	0.85125
Compartimento n°18	2.38	1.51	0.74	4.63	0.70935
Buenos Aires	4.37	2.66	1.10	8.13	1.135

Anexo 11. - Precipitación media mensual. Para cinco años (1993 – 1997), para los dos sitios de estudio. Fuente INETER.

Meses	Estación			
	Jalapa 680 m.s.n.m	San Fernando 725 m.s.n.m	Santa Cruz 1010 m.s.n.m	Tomabu 1000 m.s.n.m
Enero	40.4	25.72	26.5	4.3
Febrero	35.24	12.82	12.5	
Marzo	35.78	25.24	17.36	22.3
Abril	36.2	49.32	51.48	53.325
Mayo	138.48	110.62	142.48	141.4
Junio	194.98	177.9	221.56	211.92
Julio	182.22	137.68	97.72	65.32
Agosto	212.14	170.32	200.04	193.14
Septiembre	177.92	236.14	235.22	217.94
Octubre	217.74	187.08	172.28	169.1
Noviembre	125.15	59.04	60.33	53.82
Diciembre	63.675	25.4		3.3

Anexo 12. - Temperaturas medias mensuales. Para cinco años (1982 – 1986), para los dos sitios de estudio. Fuente INETER.

Meses	Estación		
	Jalapa 612 m.s.n.m	Ocotal 612 m.s.n.m	Estelí 815 m.s.n.m
Enero	21.0	22.32	21.04
Febrero	21.1	23.7	22.02
Marzo	23.6	25.1	22.88
Abril	24.76	26.22	23.88
Mayo	25.7	26.62	24.36
Junio	24.46	25.14	23.44
Julio	23.12	24.3	22.82
Agosto	23.4	24.72	23.28
Septiembre	23.7	24.8	23.18
Octubre	23.2	24.06	22.46
Noviembre	22.97	23.3	21.84
Diciembre	22.0	22.76	21.42