



Volumen XXVII No. 2-2009

TIKALIA



Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala



Estimación de Biomasa y Contenido de
Carbono en Plantaciones de *Eucalyptus*
Camaldulensis, en el municipio de
Siquinalá, departamento de Escuintla,
Guatemala





Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala



Vol. XXVII, No. 2



Guatemala
2009

**Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Junta Directiva

Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez	Decano
Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales	Secretario
Ing. Agr. Waldemar Nufío Reyes	Vocal I
Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria.	Vocal II
Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Dávila	Vocal III
P. For. Axel Esau Cuma	Vocal IV
P. Contador Carlos Alberto Monterroso González	Vocal V

Comité Editorial

Dr. Hugo Cardona
Ing. Agr. Byron Zúñiga
Pdsta. Dennis Escobar Galicia

Revista  **tikalía**
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Guatemala
Teléfonos: (502) 2476-9770
Fax: (502) 2476-9770
Correo electrónico: comited.agro@usac.edu.gt

PRESENTACIÓN

Revista TIKALIA (Volumen XXVII, No. 2, 2009), órgano divulgativo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala que da a conocer estudios científico técnicos de las ciencias agrícolas y de los recursos naturales renovables. Este número contiene los artículos científicos siguientes:

“Estimación de Biomasa y Contenido de Carbono en Plantaciones de *Eucalyptus Camaldulensis*, en el municipio de Siquinalá, departamento de Escuintla, Guatemala” de Marisa Montepeque y Eddi Alejandro Vanegas Chacón. En este estudio se procedió a realizar el análisis de regresión no lineal, correlación de la biomasa total por encima del suelo y la variable DAP, lo que sirvió para obtener un modelo matemático para la estimación de la biomasa de la especie.

“Calidad del sitio forestal” de Eddi Alejandro Vanegas Chacón y Boris Méndez Paiz. En este artículo se determina que el sitio forestal tiene una connotación espacial, sin embargo, el concepto no se refiere al espacio en sí, sino a las características. En Dasometría el interés central de este concepto está en la caracterización del potencial de crecimiento de las especies forestales que se asocian a una localidad o área determinada.

“Componentes de ciclo biogeoquímico en plantaciones de palo blanco (*roseodendron donnell-smith*) en Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala” de Eddi Alejandro Vanegas Chacón. Este estudio caracterizó el potencial nutricional orgánico de los diferentes componentes (tronco y

hojas), así como de la hojarasca, en seis distintos sitios plantados por Palo Blanco en la Finca San Julián de Patulul, Suchitepéquez.

“Evaluación del Comportamiento y los Efectos de las Quemadas Prescritas en dos Rodales de Bosque natural de *pinus oocarpa schiede* en la Finca Lagunilla, Jalapa, Guatemala” de Gabriela A. Ortiz de la Cruz, Boris Méndez Paiz y Pedro Peláez. Este estudio concluyó en que para las condiciones prevalecientes en la Finca Lagunilla, la quema prescrita resulta ser una herramienta silvicultural eficaz. Los efectos en su mayoría fueron positivos y otros, como el impacto en el suelo, se deben estudiar más a fondo para tener datos más exactos.

“Evaluación nutricional de plantaciones de palo blanco (*Roseodendron Donnell-Smith*) en Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala” de Eddi Alejandro Vanegas Chacón. Este estudio se justifica en virtud de que en Guatemala existen plantaciones forestales de especies nativas con fines de aprovechamiento maderable, cuya relación suelo-árbol pocas veces es documentada, lo que se constituye en una limitante al entendimiento del crecimiento arbóreo como rodal en función de la distribución bioclimática en el país.

Los editores.

**Estimación de Biomasa y Contenido de
Carbono en Plantaciones de *Eucalyptus*
Camaldulensis, en el municipio de
Siquinalá, departamento de Escuintla,
Guatemala**

*Marisa Montepeque*¹.
*D. Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón*²

¹*Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables.*
²*Doctor. Profesor Titular de FAUSAC, evaluador de trabajo de
investigación de EPS y editor.*

**RESUMEN**

La producción de contaminantes ambientales incrementa considerablemente la presencia de gases de efecto invernadero, tales como, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y ozono (O₃), entre otros. Lo que conlleva a procesos de alteración del equilibrio ecológico provocando el calentamiento del planeta. Por ello, algunos países con bosques, cuantifican el carbono que estos pueden fijar, para ofrecerlo al mercado internacional, como servicio ambiental. Esta investigación se realizó en plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* con edades de 4, 6, 8 y 15 años, ubicadas en las fincas Margaritas y Cristalinas, propiedad del Ingenio Pantaleón. Los rodales presentan manejo similar, crecimiento normal y densidad media, en buen estado fitosanitario. Mediante muestreo selectivo se muestrearon 20 árboles (5 por rodal de diferente edad). Se midieron las variables DAP y altura del árbol en pie, se procedió al derribo y cuantificación de diámetros a cada metro. Cada uno de los árboles se desramó y se deshojó completamente, las hojas y ramas se pesaron para obtener el peso fresco en campo, haciéndolo de igual forma con el fuste. Además se tomaron tres submuestras de cada componente: fuste, ramas, ramillas, hojas, para trasladarlas al laboratorio, haciendo un total de 240 submuestras. Las submuestras se colocaron en hornos de convección para el proceso de secado a una temperatura de 600C, se anotaron los pesos a diario hasta que se estabilizaron y se obtuvo el peso seco. Con los datos de campo y de laboratorio se realizaron los cálculos para obtener la biomasa total por encima del suelo por árbol. Se procedió a realizar el análisis de regresión no lineal, correlación de la biomasa total por encima del suelo y la variable DAP, lo que sirvió para obtener un modelo matemático para la estimación de la biomasa para la especie. El modelo de mejor ajuste fue $Biomasa = 0.0334 (DAP)^{2.8769}$ con R² 0.95. Con base en el factor de fijación de carbono de MacDicken, se determinó que la fijación de carbono por rodal de diferente edad fue de 14 tC/ha para 4 años, 44 tC/ha para 6 años, 38 tC/ha para 8 años y 80 tC/ha para 15 años. Lo que implica un pago por fijación de carbono equivalente a \$83, \$262, \$228 y \$479 tC/ha, respectivamente.

Palabras clave: Biomasa forestal, fijación de carbono, servicios ambientales, Eucalipto.

ABSTRACT

The increase of environmental pollution due to the presence of green house gases, such as, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄); nitrous oxide N₂O) and ozone (O₃), among others. Produce changes in the ecological equilibrium to aid global warming. Therefore, some countries with forest, quantified the rate of carbon fixation, to offer it at international markets, as an environmental service. This research was carried out in Eucalyptus camaldulensis plantations of 4, 6, 8 and 15 years old, located in Margaritas and Cristina farms properties of Pantalcón Corporation. This plantations have a similar forest management, normal grow, medium density and good phyto-sanitary condition. Using selective sampling, 20 trees were analyzed (5 by plantation of different age). The variables DAP and tree high were measured, and diameter of non standing trees were measured at each meter. Fresh weigh of aerial tree components were determined at field conditions. Further more sub-samples of shaft, branches and leaves were took to be analyzed in laboratory, a total of 240 sub-samples were analyzed. Those sub-samples were dried at 600C, until they got an stabilized weight. With field and laboratory data, the biomass about ground of each tree was quantified. A mathematical model to predict biomass was estimated by using non linear regression and correlation between biomass and DAP. The model of better fitting was Biomass = 0.0334 (DAP)^{2.8769} with R² 0.95. According with tha Mac Dicken carbon fixation factor, the carbon fixation rate by age was 14 tC/ha for 4 years, 44 tC/ha for 6 years, 38 tC/ha for 8 years and 80 tC/ha for 15 years. This represent a payment by environmental services of \$83, \$262, \$228 and \$479 tC/ha, respectively.

Key words: Forest biomass, carbon fixation, environmental services, Eucalyptus.



INTRODUCCIÓN

La generación y emisión de diversos gases a la atmósfera como resultado de la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) procesos industriales y otros, acompañado con la reducción de la masa boscosa, ocasionan desequilibrio en los diversos ecosistemas. La incidencia de estos gases ha contribuido al efecto invernadero, el cual consecuentemente induce a un calentamiento del planeta, un cambio de los ciclos hidrológicos, aumento del volumen hídrico, repercutiendo en inundaciones, sequías, elevación de las temperaturas, pérdida de la biodiversidad, propagación de plagas y proliferación de enfermedades, atentando contra la vida en general. Lo que ha motivado reuniones de expertos de diferentes países, tal como la realizada en Kyoto, Japón en 1997 (Global Warming, 1999) y la de Copenhague en 2009 para analizar los informes científicos sobre cambios climáticos y acordar medidas mitigadoras. Con base en algunos de estos acuerdos internacionales, se instauró el pago de los servicios ambientales de los bosques con el propósito de incentivar el manejo adecuado de los mismos, adicionalmente esto ha potencializado el aumento de cobertura forestal mundial. Consecuentemente, en Guatemala, existe la necesidad incipiente de efectuar investigación de esta índole, tanto con especies nativas como exóticas para obtener información confiable que constituya la base para el establecimiento de propuestas de pago por servicios ambientales de captación de CO₂. En esa orden de ideas, esta investigación estima la biomasa aérea (sobre el suelo) de *Eucalyptus camaldulensis* en plantaciones establecidas en el departamento de Escuintla, se utilizan variables dasométricas primarias para generar un modelo matemático para la estimación de biomasa y se estima la cantidad de carbono fijado en t/ha en función de la edad de la plantación, para establecer en términos económicos su potencial comercial como servicio ambiental.

METODOLOGÍA

Las principales características edáficas y ambientales de los sitios de estudio, se presentan en el Cuadro 1. Mediante muestreo selectivo se colectaron 5 árboles de cada rodal en función de la edad de 4, 6, 8 y 15 años, estableciendo variables primarias y derivadas. Variables primarias: diámetro a la altura del pecho, DAP (cm); altura de árbol en pie (m), diámetro a cada metro del fuste (cm), peso fresco total de hojas, ramas y ramillas (Kg).

Variables derivadas: volumen del fuste principal, peso seco total de hojas, ramas, ramillas, carbono según MacDicken (1996) y cuantificación económica de la captura de CO₂ utilizando una tasa de \$ 6.00/tC fijado en la biomasa. La determinación del volumen de las rodajas se realizó con la siguiente ecuación: $V \text{ (cm}^3\text{)} = \pi r^2 h$, donde: V = volumen (cm³); h = altura; r = radio, π = constante= 3.1416.

El contenido de humedad, por la ecuación: C.H. = (peso fresco - peso seco)/peso fresco. La materia seca por la ecuación: %MS = (PS/PH)* 100, donde: PS = peso seco; PH = peso húmedo. La biomasa, por la ecuación: B = PH * %MS, donde B= Biomasa de árboles; PH = Peso húmedo total registrado en campo; %MS materia seca.

La estimación del contenido de carbono fijado en la biomasa se estableció por el factor de carbono MacDicken, de acuerdo con la ecuación: C = biomasa * 0.5, donde C = Carbono fijado en la biomasa.

Para el Análisis de la información se utilizó regresión no lineal y correlación para establecer las relaciones entre la biomasa total y las variables DAP y altura. Modelos exponenciales fueron estimados utilizando el soft-

ware EXCEL®, como criterio de ajuste se utilizó el coeficiente de determinación (R²). Las variables fueron; X = DAP e Y = biomasa total.

Plantación (Finca)	Edad	Localización	Ubicación geográfica	Altitud msnm	Precipitación (mm/año)	T° media anual (°C)	Zona de vida Holártica	Textura de Suelos	Pendiente (%)
Las Margaritas	4 años	Ingenio La Unión	Lat. 14° 11'05" Long. 90° 57'46"	130	2262	18.1-29.4	bmh-S(c)	Suelos francos arenosos, arcillosos	2%
Las Margaritas	6 años	Ingenio La Unión	Lat. 14° 11'05" Long. 90° 57'46"	118	2262	18.1-29.4	bmh-S(c)	Suelos francos arenosos, arcillosos	2%
Las Margaritas	8 años	Ingenio La Unión	Lat. 14° 11'05" Long. 90° 57'46"	127	2262	18.1-29.4	bmh-S(c)	Suelos francos arenosos, arcillosos	2%
Cumbalinas	15 años	Ingenio Pantaleón	Lat. 14° 22'432" Long. 90° 58'62"	611	3500	15-36	bmh-S(c)	Suelo franco arenoso	4%

Cuadro 1. Características de los sitios de estudio.

Presentación y discusión de resultados

La determinación de la biomasa consistió en la estimación del peso húmedo total registrado en campo (kg) y de la materia seca de la muestra (se puede consultar los valores experimentales en el documento original). Donde la biomasa se obtiene mediante la ecuación $B = PHe * MS$, los resultados se sintetizan en el Cuadro 2 y de forma gráfica en la Figura 1.

Edad	No. de árbol	Biomasa (Kg)				
		Fuste	Ramas	Ramilla	Hojas	TOTAL
4 años	1	29.2568	1.726382	0.938615	3.279323	35.20112
	2	22.79144	1.24578	0.565584	2.144814	26.74762
	3	23.40822	1.295559	0.20496	1.678512	26.58725
	4	16.64789	1.914822	0.699657	2.807721	22.07009
	5	24.05194	0.689493	0.498022	2.449232	27.68869
6 años	1	61.81583	13.16123	2.927053	4.542001	82.44611
	2	286.3598	30.26891	11.65327	8.149211	336.4312
	3	234.7151	5.382387	45.76331	10.8179	296.6787
	4	239.7749	45.93055	7.528797	8.419977	301.6543
	5	189.873	29.15704	6.29923	5.646778	230.976
8 años	1	102.2892	13.26442	1.862187	5.362185	122.778
	2	155.1738	19.39695	3.636905	9.304156	187.5118
	3	173.6926	22.8541	3.884242	10.51941	210.9504
	4	114.9672	12.19239	1.943635	4.395066	133.4983
	5	89.72215	8.794194	2.472183	5.462235	106.4508
15 años	1	585.7533	70.41156	14.19627	13.56746	683.9286
	2	313.8768	26.87142	9.060582	8.896835	358.7057
	3	554.2566	40.28494	15.07176	18.20042	627.8137
	4	388.0787	82.14646	10.6262	10.59262	491.444
	5	108.0551	9.595969	1.461433	1.495096	120.6076

Cuadro 2. Estimación de Biomasa por árbol.

Para árboles de igual potencial genético, mientras mayor sea el diámetro, mayor será su biomasa, siempre y cuando se desarrollen en condiciones no limitantes, ya que se observa que árboles de la edad de 8 años presentan biomasa inferiores a los de 6 años, queda evidenciado la existencia de factores limitantes en la condición pedoclimática de la Finca las Margaritas a una altitud de 127 m. Los modelos estimados con mayor representatividad son: $y = 0.0334x + 2.8769$, ($R^2 = 0.95$), $y = 6.85 \ln 0.156$, ($R^2 = 0.90$), donde: Y = Biomasa (kg), X = DAP (cm) y R^2 = Coeficiente de determinación (regresión no lineal). La Figura 2, muestra la representación gráfica del modelo de mayor R^2 , de la forma $y = a \times b$.

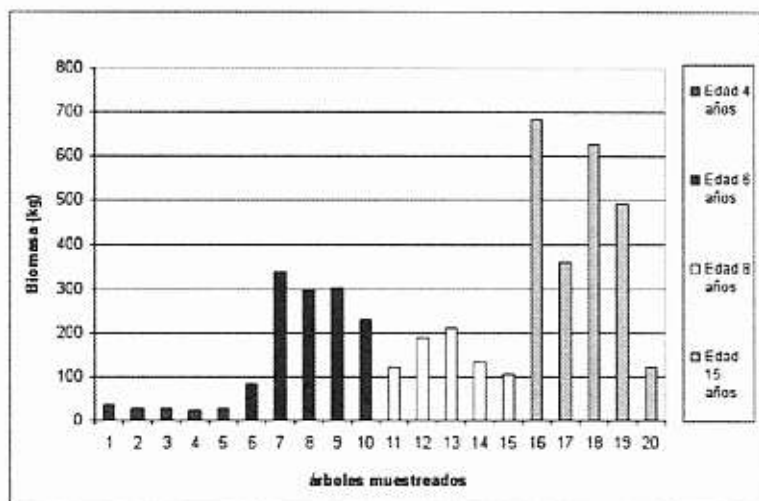


Figura 1. Comparación de la biomasa entre árboles.

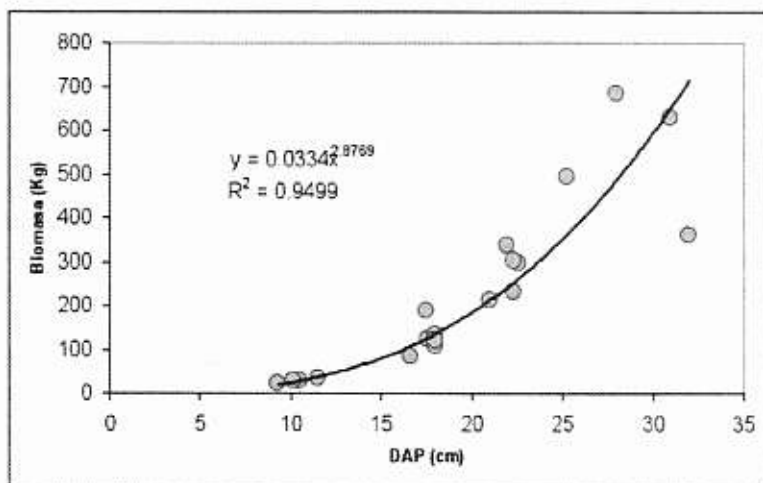


Figura 2. Biomasa vs DAP, plantaciones de diferentes edades.

Con base en la biomasa experimental se estima indirectamente el carbono fijado según MacDicken (1996), factor 0.5. Lo que establece una relación directa entre biomasa y carbono fijado, siendo el mayor porcentaje el fijado en el fuste 83%, ramas 10%, ramillas 4% y hojas 3%. La figura 3, sintetiza la cantidad de carbono fijada en ton/ha, donde se evidencia la discrepancia de los datos de las plantaciones de 8 años. A diferencia de otros trabajos similares Córdova (2002) y Lee (2002), de forma original se presenta la evaluación de varios escenarios en la secuencia cronológica de la fijación de CO₂.

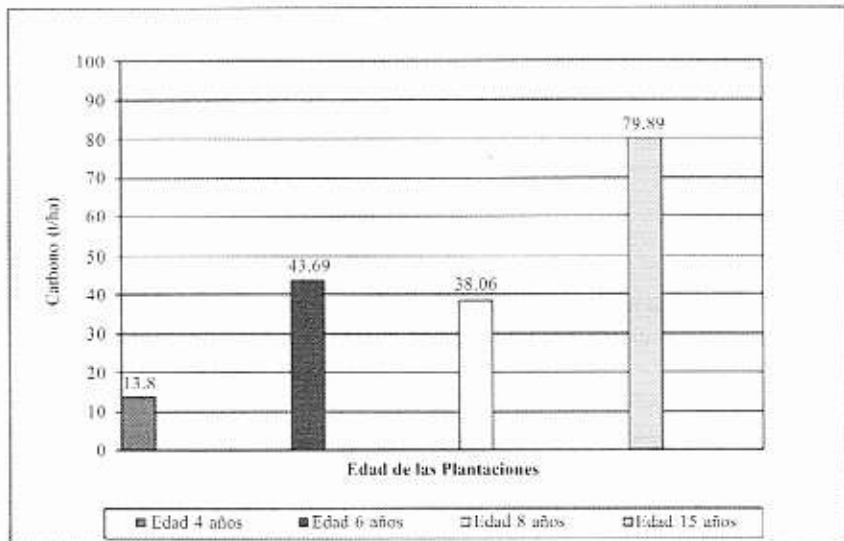


Figura 3. Carbono fijado en t/ha, por edad de las plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

La fijación de carbono es uno de los múltiples servicios ambientales de los ecosistemas forestales. En la valoración del servicio de bosques o

plantaciones como sumideros de carbono se utiliza el precio de mercado de \$6 tC/ha, (PRISMA, 1999). Así, los beneficios económicos de la captura de carbono de estas plantaciones, es de \$83 (4 años), \$262 (6 años), \$228 (8 años) y \$479 (15 años) respectivamente. Lo que permite potencializar en términos económicos los beneficios de la prestación de este servicio ambiental, aunado a la magnificencia escénica y conservacionismo de las áreas plantadas.

CONCLUSIONES

- 1) La biomasa por encima del suelo en las plantaciones de Eucalipto para las edades de 4, 6, 8 y 15 años, fue de 28, 87, 76 y 160 t/ha, respectivamente.
- 2) El modelo de mejor ajuste de predicción de biomasa fue: Biomasa = 0.0334 (DAP) 2.876.
- 3) El potencial de fijación de carbono de las plantaciones de Eucalipto para las edades de de 4, 6, 8 y 15 años, se estimó en 14, 44, 38 y 80 tC/ha, respectivamente.
- 4) La prestación del servicio ambiental de fijación de carbono de las plantaciones de Eucalipto para las edades de 4, 6, 8 y 15 años, se estimó en \$83, \$262, \$228 y \$479 tC/ha, respectivamente.

RECOMENDACIONES

- 1) Para estudios posteriores se debe tomar en cuenta la calidad de sitio y la variabilidad genética, ya que son los factores de mayor variabilidad en este tipo de estudios.
- 2) Incentivar negociaciones para la venta de bonos de carbono y acceder a inversiones para la creación de plantaciones forestales con fines múltiples, repercutiendo en el incremento económico y aprovechamiento sostenible del suelo y agua a mediano plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Córdova López, AL. 2002. Estimación de biomasa y carbono para *Pinus oocarpa Schiede*, *P. maximinoi* H.E Moore y *P. Caribea* Morelet, var. *Hondurensis* en algunos bosques naturales de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 61 p.

Lee Pinto, GA. 2002. Estudio preliminar para la estimación de biomasa y cuantificación de carbono para *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense* y *Cydistax donnell-smithii* en bosques naturales de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 75 p.

MacDicken, KG. 1996. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects (en línea). Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI). 1996. Forest carbon monitoring program. US. Consultado 28 mayo 2007. Disponible en: www.winrock.org/REEP/PUBSS.html.

Global Warming, US. 1999. The Kyoto protocol. US. Consultado 20 oct 2006. Disponible en <http://www.epa.org/globalclimate/wefastateimpacts.htm>

PRISMA (programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente). 1999. SV. Comercio de servicios ambientales y desarrollo sostenible en Centroamérica. Consultado 07 set 2007. Disponible en http://www.tradeknowledgenetwork.net/pdf/prismafullrprt_s.pdf

Calidad del sitio forestal

D. Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón¹. M. Sc. Boris Méndez Paiz².

¹Profesor Titular de FAUSAC. ²Profesor Titular de FAUSAC.

INTRODUCCIÓN

El sitio forestal tiene una connotación espacial, sin embargo, el concepto no se refiere al espacio en sí, sino a las condiciones que lo caracterizan. En dasometría el interés central de este concepto está en la caracterización del potencial de crecimiento de las especies forestales que se asocia a una localidad o área determinada (Corvalan & Hernandez, 2006). Los factores fundamentales que determinan el crecimiento de las especies forestales son climáticos (temperatura del aire, humedad, energía radiante, precipitación y viento); edáficos (topografía, profundidad efectiva, propiedades físico químicas y biológicas) y de competencia (Fisher & Binkley, 2000). Estos factores pueden ser descritos en términos de ciertos indicadores relacionados con la naturaleza del suelo forestal, tal como oferta de agua disponible bajo el suelo, profundidad efectiva de la raíz, acumulación de humus en el horizonte "A", nivel de fósforo disponible en el suelo (McFee & Nelly, 2005). De manera que estos factores intervienen por sí solos o en una gran interacción potencializando el crecimiento forestal.

ABSTRACT

The forest site has a special connotation, however, the concept is not referring a physical space it self, but to the different conditions that characterized this site. In dasometry the core of this concept is the soil potential on the forest growth associated to a specific location. The main factors that determine the forest grow are climatic (temperature, humidity, radiant energy, precipitation and wind velocity); and edaphic (topography, effective depth, physic, chemical and biological characteristics). Such factors can be described by certain indicators related with the nature of the forest soils, such as water potential below ground, effective root depth, humus accumulation on the A horizon and phosphorus availability in the soil. This review is an actual research of the interaction of all this factors on the forest growth.

CONCEPTOS

Suelos forestales

Los suelos forestales, se definen como aquellos que fueron desarrollados sobre la influencia y/o que sustentan determinada masa forestal (Fhisher & Binkley, 200). Son suelos formados a través del tiempo como resultado de la interacción con la vegetación forestal por lo que presentan características y propiedades intrínsecas (hojarasca forestal, raíces de los árboles y organismos específicos que dependen de la presencia de especies forestales). Este concepto es también utilizado para referirse a los suelos de bosques establecidos artificialmente (plantaciones forestales), en este caso, el término suelos forestales adjetiva el suelo explotado con plantaciones forestales (Gonçalves, 2002).



Ecosistema

Las plantaciones forestales demandan naturalmente extensas áreas, que muchas veces implica la adquisición de tierras baratas y consecuentemente con mayores limitaciones productivas. Para evaluar la calidad de un sitio forestal se debe tener en cuenta una serie de factores ambientales y ecológicos que están muy unidos a los procesos productivos sostenibles. Entre otros, se identifican dos atributos normalmente utilizados para la evaluación de ecosistemas: la fertilidad del suelo y el pedoclima (Barros et al., 2000).

Fertilidad del suelo

La gran mayoría de suelos utilizados en procesos de reforestación, categóricamente son suelos pobres, debido a que la clasificación de suelos por capacidad de uso, deja suelos marginales para actividades forestales (USDA, 1961). Generalmente son suelos con altas pendientes, poca profundidad efectiva, o bien sobre-utilizados por otras actividades agrícolas, muchas veces la reforestación también llega a constituirse en una práctica de recuperación de áreas degradadas (Young, 1997).

a) Atributos que identifican la fertilidad del suelo

Reserva de nutrientes

La reserva de nutrientes del suelo, puede ser determinado por medio de un análisis químico de suelos, con el objetivo de determinar las formas intercambiables de los principales nutrientes, así como la determinación de parámetros indicadores de la calidad del suelo. El análisis de suelos por sí, es de poco valor, sin embargo, la interpretación conjunta con las característi-

cas de la especie forestal, las condiciones climatológicas y las prácticas silviculturales permite interpretar y tomar decisiones sobre el manejo ecológico de las plantaciones forestales (Vanegas et al., 2006).

Tipo de vegetación natural del área

En caso de forestar o reforestar una determinada área, el tipo de vegetación natural allí existente, podrá indicar el patrón o una muestra del rendimiento de la vegetación actual, esto se puede utilizar como indicador del potencial productivo del ecosistema, principalmente puede reflejar el balance resultante de la interacción entre los nutrientes del suelo y la condición ambiental (Gonçalves et al., 1997). En el cuadro 1, se presenta la interpretación referente a las relaciones entre tipos de vegetación natural y aspectos ligados a la fertilidad de los suelos.

Cuadro 1. Relación entre la vegetación natural y la fertilidad potencial de los suelos.

Condición	Interpretación
• Bosque perennifolio (copas altas)	• Altas reservas de materia orgánica. Distróficos, pueden ser caoliniticos.
• Bosques subperennifolios	• Altos contenidos de materia orgánica, distróficos (o eutróficos cuando son vertisoles) y caoliniticos.
• Bosques subcaducifolios	• Menores contenidos de materia orgánica. Tienen a ser eutróficos con más frecuencia.
• Bosques caducifolios	• Apenas son amarillentos y tienen a ser distróficos.

Fuente: (Resende et al., 2002).

Morfología del perfil del suelo

Dentro de los aspectos morfológicos, la coloración se reviste de gran importancia en el proceso natural de evaluación de suelos, porque refleja, en



términos generales, los contenidos de materia orgánica, las formas o contenidos de hierro y en consecuencia la identificación de estado de ambientes en reducción, dando así, una idea general de la fertilidad del suelo (Donahue, 1981). Si bien, las relaciones entre la morfología del suelo y su fertilidad potencial están directamente correlacionadas dentro de determinadas zonas fisiográficas, no son de carácter universal, debiendo tener cuidado con sus restricciones. El Cuadro 2, presenta la interpretación de características morfológicas del perfil del suelo, en relación a la fertilidad potencial del suelo.

Cuadro 2. Interpretación de características morfológicas del perfil del suelo, relacionadas con la fertilidad natural de los suelos.

Condición	Interpretación
<ul style="list-style-type: none"> • Color blanquecino y ausencia de capa freática 	<ul style="list-style-type: none"> • Pobreza en Fe, P total, elementos trazos y materia orgánica.
<ul style="list-style-type: none"> • Con bandas grises y ausencia de capa freática 	<ul style="list-style-type: none"> • Igual al anterior, con mayor riqueza en materia orgánica.
<ul style="list-style-type: none"> • Color amarillo con algunas áreas de color rojo (sabana y bosque subcaducifolio) 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor riqueza de Fe.
<ul style="list-style-type: none"> • Suelos amarillos en áreas bastantes secas (sabana y bosques caducifolio) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mucho más pobre en Fe, generalmente caoliniticos.
<ul style="list-style-type: none"> • Suelos con perfil superficial amarillo y rojo, son profundos y algunas áreas (parches) de suelos rojos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menores contenidos de Fe.
<ul style="list-style-type: none"> • Igual al anterior, dentro de áreas de suelos amarillos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes reservas de Fe.
<ul style="list-style-type: none"> • Oscuros a grandes profundidades y en las áreas húmedas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos contenido de materia orgánica y aluminio.
<ul style="list-style-type: none"> • Películas oscuras efervescentes en agua oxigenada 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de Mn, suelos altamente tóxicos.

Fuente: (Resende et al., 2002)

Según el mapa de clasificación taxonómica de los suelos de Guatemala utilizando el sistema USADA, en escala 1:250,000 (MAGA, 2000), los principales órdenes de suelos son Entisoles (20%), Molisoles (18%), Inceptisoles

(14%), Vertisoles (15%), Alfisoles (12%) y Andisoles (10%). La clasificación taxonómica se fundamenta en el estudio de indicadores derivados del estudio de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que le imprimen características morfológicas únicas, lo que permite su agrupación por similitud en una primera gran categoriilla llamada de orden, con el objeto de elaborar planes de manejo y conservación del suelo (USDA, 1999). La Figura 1, muestra las características morfológicas de A: Entisol, suelos nuevos, sin horizontes pedogénicos, ni perfil desarrollado, excepto un superficial A1. Propios de tierras recientemente inundadas por ríos, depósitos de cenizas volcánicas y arenas. Se pueden localizar en las regiones del centro de Pcten, sur de Huehuetenango y región oriental del país. B: Suelos con horizontes superficiales ricos en materia orgánica, típicos de praderas con horizonte A1, profundo y oscuro. Pueden tener un horizonte B2 y acumulación de Ca. Se pueden localizar en las regiones del este de Huehuetenango, centro del Quiché, oeste de Alta Verapaz y sur de Escuintla.

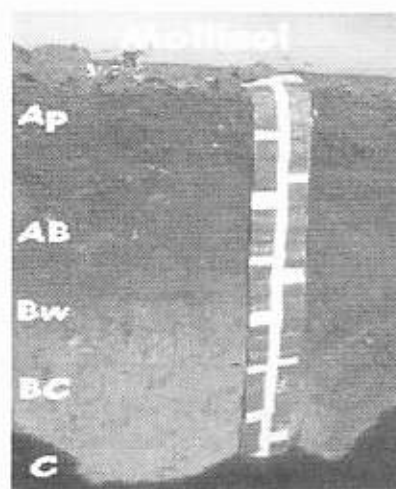
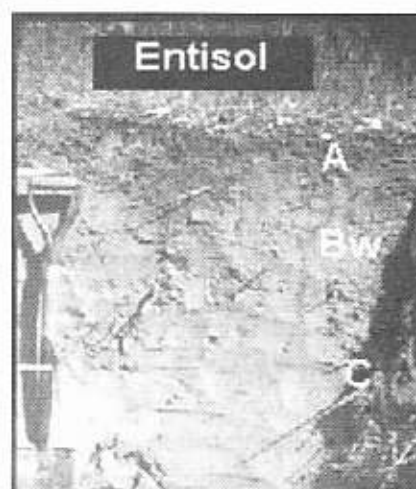


Figura 1. A: Entisol,



B: Molisol.



Textura

La composición granulométrica de un suelo, formada por su mineralogía, es de importancia fundamental con respecto a la adsorción y disponibilidad de nutrientes (Donahue et al., 1981). Suelos de texturas gruesas (arenosos), constituyen un sistema relativamente abierto con significativa pérdida vertical de nutrientes y cuando son ricos en arenas finas son particularmente erodables, en este caso, las pérdidas por erosión tienden a ser mucho más pronunciadas. Los suelos finos (arcillosos) pueden presentar a su vez, comportamientos diferentes dependiendo principalmente de sus reservas de hierro y aluminio, por ejemplo, los Oxisoles (suelos altamente intemperizados), por acción de sesquióxidos, principalmente aluminio, forman pequeños gránulos, y de esta manera a pesar de arcillosos presentan excelentes condiciones de agregación (estructura granular), por lo que son bastante permeables, caso contrario cuando son arcillosos pero pobres en hierro y sesquióxidos de aluminio (Meurer, 2004).

Afloramientos Rocosos

La presencia de rocas en la superficie, dentro de la masa de suelo, la colocación, forma y principalmente la constitución de esas rocas permitirán una evaluación preliminar a nivel de campo de la fertilidad potencial del suelo. El Cuadro 3, resume la relación entre afloramiento rocoso y fertilidad del suelo.

Horizonte C

La profundidad y textura del horizonte C, son indicadores del intemperismo y consecuentemente del nivel de fertilidad del suelo, principalmente cuando se considera el potencial de fertilidad o la capacidad de reposición de nu-

trientes a partir de la presencia de minerales primarios (Meurer, 2004). Mientras más intemperizado es el suelo (mayor índice de meteorización) menor es su potencial de fertilidad química, sin embargo, se observa un incremento de su potencial físico. Así suelos jóvenes podrán ser fértiles pero con limitaciones físicas y suelos viejos podrán ser poco fértiles pero con buena agregación e infiltración de agua (USDA, 1999). Siendo el manejo de los suelos en términos de labranza mínima, mecanización extensiva o intensiva lo que determinará el éxito de la productividad sostenible (Ramos, 2001).

Cuadro 3. Condiciones de ocurrencia de afloramientos de roca y sus relaciones con la fertilidad natural del suelo.

Condición	Interpretación
<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de afloramientos y terrenos más accidentados 	<ul style="list-style-type: none"> Horizonte C muy profundo, con intensos procesos de intemperización. Son suelos distróficos independientemente de la roca de origen.
<ul style="list-style-type: none"> Afloramientos que forman placas (ardosias y sitios bien intemperizados) 	<ul style="list-style-type: none"> Altos contenidos de Al, K y Mn. Baja permeabilidad. Suelos ricos en illita y vermiculita con interstratificación de hidróxidos de aluminio.
<ul style="list-style-type: none"> Afloramientos en bloques graníticos de masa de color amarillo y rosa blanquecina 	<ul style="list-style-type: none"> Bajos contenidos de Fe, caoliníticos, generalmente distróficos
<ul style="list-style-type: none"> Bloques de roca máfica 	<ul style="list-style-type: none"> Suelos eutróficos, en áreas de bosques sub-caducifolios o en masas más secas y temperaturas más elevadas. Altos contenidos de Fe.
<ul style="list-style-type: none"> Bloques de roca calcárea 	<ul style="list-style-type: none"> Caoliníticos, pueden ser eutróficos (son más comunes) o bien distróficos (algunos Oxisoles)

La figura 2, muestra la evolución cronológica del suelo, según la clasificación taxonómica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Americanos y el Cuadro 4, la relación entre las propiedades físico químicas del horizonte C y el potencial de la fertilidad del suelo.

Deficiencia de agua

El conocer el régimen hídrico de una región no es suficiente para evaluar la disponibilidad real de agua en el suelo, considerando que los árboles dependen también de las condiciones físico-hídricas, de la oxigenación y la temperatura del suelo, condiciones que de no ser previstas, por medio de análisis de series climáticas, pueden comprometer el crecimiento de las plantaciones forestales (Fisher & Binkley, 2000).

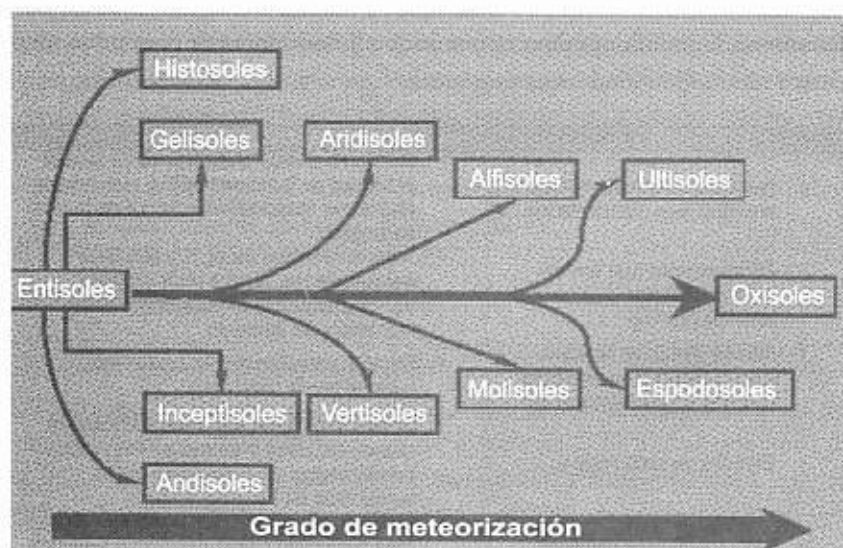


Figura 2. Evolución cronológica del suelo, según sistema de clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Americanos.

Cuadro 4. Aspectos del horizonte C de los suelos y su interpretación con vistas a la evaluación de la fertilidad natural del suelo.

Condición	Interpretación
<ul style="list-style-type: none"> • Profundo (decenas de metros). 	<ul style="list-style-type: none"> • Intemperismo acentuado, suelos pobres y con baja tasa de reposición de nutrientes.
<ul style="list-style-type: none"> • Profundo y blanquecinos en zonas pobres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos pobres en hierro, fósforo total y elementos trazas. Distróficos, cuando son poco profundos.
<ul style="list-style-type: none"> • Poco profundos, son suelos de color rojo, con partes blanquecinas, con evidente proceso de desferrificación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contienen hematina que les da un color rojizo heredado de la roca madre. Tienden a ser eutróficos o distróficos.
<ul style="list-style-type: none"> • Poco profundos, grisáceos (roca descompuesta) y en la parte baja rojizos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generalmente eutróficos, con contenidos elevados de Mg, Ca y K.
<ul style="list-style-type: none"> • Arenosos profundos y sin estratificación (áreas cuarzosas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pobres en nutrientes.

Fuente: (Resende et al., 2002).

Pedo-clima

Se refiere a la influencia de los factores climáticos como ejes formadores de suelo, su concepción sobrepasa el conocimiento agronómico y puede considerarse como un término biológico de implicaciones sociales siendo un indicador de la clasificación de zonas bio-geográficas y distinción de ambientes (Resende et al., 2002). Los principales componentes del pedo-clima son: las pedo-formas, la profundidad del suelo, la presencia de oxígeno y la susceptibilidad al proceso de erosión.

a) Pedo-forma

El suelo, como cuerpo tridimensional presenta una forma externa, llamada comúnmente de topografía o pedo-forma, de fácil identificación visual y que mantiene una estrecha relación con otros factores ambientales, principalmente asociados a las clases de suelo, vegetación natural y cuerpos de agua lo que definen en conjunto su potencial de uso (USDA, 1961). La formación de las pedo-formas es un proceso dinámico, no perceptible, es espacios geológicos relativamente cortos (Resende et al., 2002).

b) Profundidad del suelo

El crecimiento de las especies forestales en suelos poco profundos puede ser drásticamente limitado aun en regiones con pluviometría satisfactoria. El suelo, por su posición de interfase entre la atmósfera y la litosfera, esta sujeto a grandes variaciones presentado generalmente, elevada anisotropía vertical con relación a la temperatura y el agua (Ritzema, 1994). A partir de la capa superficial de suelo se inicia un proceso de secamiento porque en esta capa, se presentan la mayor parte de las raíces, a demás de ser un ambiente cambiante, muchas veces extremo principalmente en regiones con déficit hídrico acentuado. La identificación de ambientes con mayores limitaciones hídricas presenta un alto significado práctico, ya que permite adecuar los métodos y prácticas de manejo de suelos en función de la condición local. En suelos poco profundos, las raíces se fijan confinadas en una capa relativamente estrecha, a su vez presentan una tasa de secamiento muy rápida. Esos suelos, están frecuentemente asociados a un relieve más accidentado con mayor escurrimiento y superficie de evaporación (Salassier, 2002).

c) Deficiencia de oxígeno

El exceso de agua implica un sistema de reducción de oxígeno, tornando el ambiente poco adecuado para el desarrollo y crecimiento del sistema radicular de los árboles. A pesar de que algunas especies presentan tolerancia a la deficiencia de este elemento, observaciones de campo han evidenciado un crecimiento insatisfactorio de la mayoría de especies plantadas, cuando sólo se encharca, en determinados periodos del año (Barros, 2000). Es preciso considerar otros aspectos que de algún modo, afectan ambientes con drenaje deficiente, como por ejemplo la presencia de hierro y manganeso en forma reducida y que consecuentemente pueden causar toxicidad de hierro (Ritzema, 1994). Generalmente los suelos con drenajes deficientes se sitúan en áreas de depresión sujetas durante el año a inundaciones periódicas. Un ambiente reductor se refleja básicamente en dos aspectos, el color del suelo y las reservas de materia orgánica (Resende, et al., 2002). El exceso de agua en un sistema conlleva a un ambiente con bajo potencial de oxidorreducción, que implica un proceso de conversión de Fe^{3+} , responsable de la coloración rojiza y amarillenta (al pasar a Fe^{2+}) del suelo. La presencia de Fe^{2+} da un color grisáceo a los suelos, en ausencia total de Fe, se identifica una coloración blanquesina. Generalmente, los suelos gleizados (grisáceos) están asociados a reservas más elevadas de materia orgánica en el horizonte más superficial (la falta de oxígeno limita la descomposición) en casos extremos forman turbas. Estos suelos (gleisoles) son frecuentes en ambientes con deficiencias de drenaje, presentan formas moteadas (machas de colores diversos) y concreciones ferro-manganesas en capas profundas, como consecuencia del ambiente reductor (USDA, 1999).

d) Susceptibilidad a la erosión

Dentro de los procesos de degradación del suelo, la erosión, principalmente la hídrica (causado por el agua), tanto por el impacto directo de las gotas de lluvia en suelos descubiertos como por el escurrimiento superficial es la responsable por la pérdida de la fertilidad potencial de los suelos. Esto se debe a lavados continuos de bases del perfil agronómico del suelo, tanto a niveles de percolación profunda como de escurrimiento superficial, comprometiendo la estabilidad de soporte y suplemento nutricional al sistema forestal (Ritzema, 1994).

Evaluación de la calidad del sitio forestal

La capacidad productiva de un sitio forestal es importante tanto para la elaboración de planes de manejo forestal como para fundamentar las decisiones consecuentes de manejo edáfico (Barros, 2000). El estudio holístico del sitio se hace necesario para interpretar correctamente la identificación y zonificación de los diversos pedo-climas y su relación con el crecimiento forestal. Los sitios forestales pueden ser clasificados de manera cualitativa y cuantitativa. Siempre que sea posible es preferible una clasificación cuantitativa para evitar subjetividades, en el contexto de la producción de madera, la calidad de sitio se usa para definir el potencial para producir madera dada una especie o un tipo de plantación forestal. El sitio debe ser mapeado para el manejo de las plantaciones, constituyéndose en la base referencial para la regulación e implementación de planes de manejo silvícola en las plantaciones forestales. Las formas más tradicionales de evaluar la calidad de sitio son a través de la cuantificación del crecimiento del rodal o a través de su respuesta a la variabilidad ambiental (Barros, 2000). En el primer caso se evalúa el sitio en términos de los factores causales en sí mismos y

en el segundo caso el efecto del ambiente sobre la masa forestal. Considerando la fragilidad de la mayor parte de los sistemas forestales, la utilización de métodos directos basados únicamente en el crecimiento de las plantas, sin considerar los parámetros edáficos y ambientales, ofrecen poca sensibilidad en cuanto a su capacidad predictiva, principalmente cuando se considera la productividad a largo plazo. De este modo, son abordados a continuación aquellos métodos que conllevan una evaluación holística del sitio, a fin de considerar las variables edáfico-ambientales como las causas del crecimiento de los árboles y calidad de su madera:

Levantamiento pedológico

De los numerosos factores ambientales que afectan el crecimiento de los árboles, aparentemente el más importante es el suelo. Sin embargo, los factores limitantes del crecimiento forestal no son de cuantificación universal, la humedad, textura, profundidad, cantidad de arcilla en el horizonte A y B, nivel de nutrientes y temperatura tienen diferentes efectos sobre la masa forestal dependiendo de la clase de suelo y especie forestal. Una evaluación del sitio a partir de las características del suelo tiene las siguientes ventajas (Barros et al., 2000): Se puede realizar independientemente de la presencia o ausencia de la plantación forestal y es comparativamente estable. Los levantamientos pedológicos se traducen en una extraordinaria herramienta para fines de zonificación ecológica (bio-geográfica), ya que indica límites físicos, sintetizando características pedo-ambientales (Resende et al., 2002).

La clasificación taxonómica de un suelo va mucho más allá de una simple ordenación para fines de categorización. Los criterios taxonómicos utilizados por los servicios nacionales de agricultura en los Estados Unidos ame-



ricanos se apoyan en variables ambientales de elevado poder de síntesis y capacidad predictiva. De ese modo, una clasificación taxonómica del suelo, tal como se hace en los levantamientos específicos, permite extraer una serie de información a partir de características, tales como la coloración, índice saturación de bases, de saturación de aluminio, capacidad de intercambio catiónico, textura, relieve y cobertura vegetal (USDA, 1999).

Una vez determinadas las limitaciones y potencialidades del ambiente, se debe evaluar la interacción entre los parámetros ambientales y el crecimiento de las especies forestales. Esta fase del proceso reviste de mayor complejidad, tanto por la diferencia entre especies plantadas como por la diversidad del manejo silvicultural (Barros, 2000). Por tanto, los levantamientos pedológicos son importantes como indicadores de estratos ambientales que por medio del mapeo permiten: orientar a los usuarios en la adquisición de tierras para reforestar, visualizar de manera preliminar las principales limitaciones en fertilidad, agua, oxígeno, erosión y mecanización, orientar a los técnicos en la elaboración de mapas de rodalización, servir de referencia de las clases productivas forestales, permitir mayor confiabilidad en los procesos de extrapolación de información técnica, entre ambientes considerados ecológicamente afines.

Método del índice de sitio

Se caracteriza por la interrelación entre el crecimiento de los árboles y su edad en función de un determinado sitio. A partir de esto se establecen relaciones matemáticas para modelar las diferentes tendencias del crecimiento, la variable más utilizada es la altura, por ser bastante sensible a las diferencias del sitio, por estar fuertemente relacionado con el crecimiento volumétrico y escasamente con la densidad de la plantación o bosque (Gui-

maras, 1992). Se debe de considerar por tanto, que este método es válido para sistemas forestales, en áreas cuyas deficiencias edáficas provocan un crecimiento diferencial en las especies de interés, por tanto, este método se torna más eficiente cuando es utilizado en regiones con características pedogenéticas homogéneas (Vanegas & Mendez, 2006). Desafortunadamente, a través de las relaciones matemáticas establecidas entre edad y altura de los árboles, es difícil establecer con exactitud que características de la ecoregión afectan el crecimiento forestal, por esta razón, el uso de este método "per se" tiene limitaciones como herramienta indicadora de la productividad forestal. La Figura 3, muestra una curva característica del crecimiento de *Pinus sp* en el nor-este de los Estados Unidos Americanos.

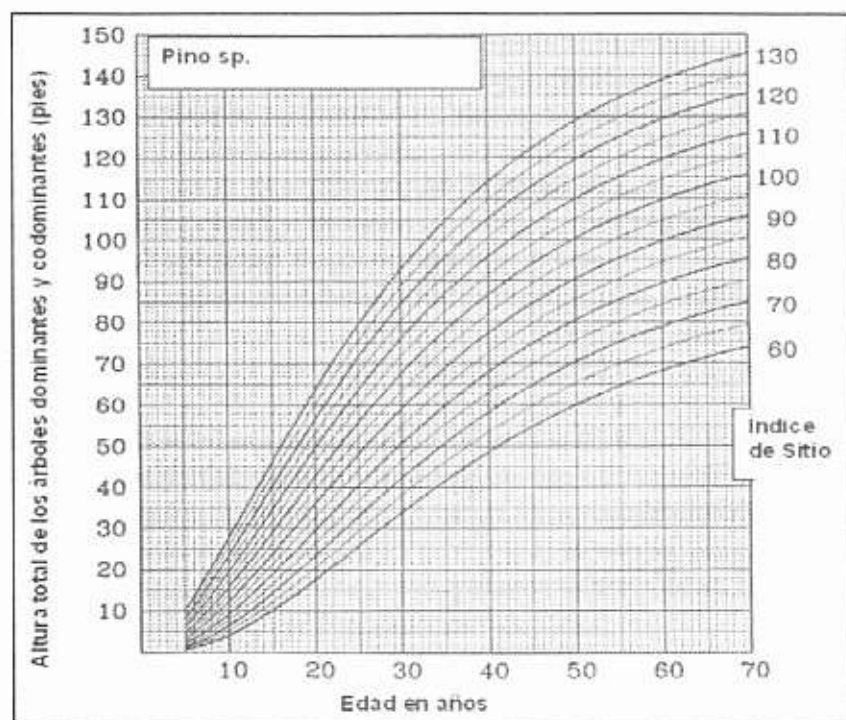
Medición a través de las características de la vegetación

Las características de la vegetación que se pueden medir, en relación a la calidad del sitio son: La cantidad de biomasa producida y especies indicadoras, así como algunas medidas dendométricas.

Cantidad de biomasa producida

Dado que el concepto de sitio se refiere a la productividad, su medida directa es la cantidad de biomasa que crece por unidad de área y tiempo. La capacidad del sitio para producir biomasa depende de fluctuaciones estacionales y continuas en el complejo de factores atmosféricos y de suelo que constituyen en sitio. Sin embargo, la evaluación del sitio de esta manera es de limitado valor práctico, ya que es costoso, complejo y no está exento de errores de medición o de estimación. Además depende de la especie forestal, la densidad y las prácticas silvícolas anteriores (Smith, 1997).

Figura 3. Curva de índice de sitio para plantaciones de *Pinus sp.* en el nor-este de los Estados Unidos Americanos.



Especies indicadoras

Este sistema está fundamentado en premisas que señalan que ciertas especies llamadas “plantas indicadoras” reflejan la calidad del sitio para una determinada especie o tipo forestal, lo cual es razonable ya que la composición de especies refleja la fertilidad del suelo y es a menudo un buen

indicador de la disponibilidad de humedad de suelo en los horizontes superiores (Corvalan & Hernandez, 2006). Los sistemas de clasificación de sitio basados en este concepto han resultado exitosos en rodales relativamente poco alterados (bosques extensos de simple composición). Las principales limitaciones de la aplicabilidad de este método son: Requiere de conocimiento ecológico y botánico, está restringido a bosques de composición simple (ej: bosques boreales y australes), la vegetación menor está afectada por la composición del dosel superior, la densidad y las prácticas silvícolas anteriores.

Estado nutricional de las plantaciones forestales

Entendido de que un sistema de clasificación de suelos para uso forestal debe considerar además de las características edáficas, aquellas relacionadas con la dinámica nutricional y el crecimiento de los árboles, se debe buscar determinado nivel de eficiencia de los procesos productivos, a través de coeficientes de utilización de nutrientes para determinadas especies. Este último aspecto reviste de importancia si se considera la pobreza natural de la gran parte de los ecosistemas forestales, esto agravado por la elevada tasa de agotamiento de nutrientes después de los periodos de cosecha. Entonces no basta con poseer una metodología que permita la clasificación nutricional y el establecimiento de coeficientes de productividad de un sitio, más bien es preciso desarrollar mecanismos capaces de estimar la curva de productividad de los ciclos forestales y así poder contar con tecnología para mantener o recuperar la fertilidad de los sitios forestales (Gonçalves & Benedetti, 2000). En los suelos altamente intemperizados de las regiones tropicales, la curva de agotamiento de nutrientes es muchos más rápida, concentrando mayores tasas nutricionales en la masa forestal y no en el suelo, por lo que es mucho más importantes considerar en la



evaluación de la productividad el levantamiento del estatus inicial de nutrientes y condiciones físico-hídricas de cada sitio, por medio de un inventario histórico de uso de áreas que serán reforestadas y evaluar el contenido nutricional inmovilizado en los diferentes componentes arbóreos en función de las diferentes etapas del crecimiento de la plantación forestal, conllevando a un mejor entendimiento de la relación suelo- árbol - atmósfera conducente a una producción sostenible (Vanegas & Mendez, 2006). La figura 4, muestra los resultados del análisis de regresión lineal múltiple en el contenido de Mg y K en relación a la altura. Concluyendo que para este local los contenidos de las bases (Mg y K) están directamente relacionadas con el crecimiento de una plantación de *Pinus taeda* en el sur de Brasil (Gonçalves & Benedetti, 2000).

Consideraciones generales

Guatemala presenta un cuadro ecológico de nítidos y variados contrastes fisiográficos, formando un extenso mosaico de sitios (ambientes) en que los diversos estratos naturales pueden identificarse por medio de las diferencias de clima, suelo, vegetación y uso forestal. La identificación y la evaluación de la calidad del sitio, esto es, del potencial productivo y de las principales limitaciones en la productividad forestal se toman esencial cuando se tiene por objetivo el uso de una determinada área con fines de producción de madera. La actividad de reforestación está íntimamente relacionada con los componentes del llamado tetraedro ecológico: la interacción del clima, suelo y el accionar antrópico, cuyo centro está constituido por las relaciones socioeconómicas. La evaluación del sitio forestal no puede fundamentarse en características aisladas, más, en una síntesis de calidades del sistema donde la decodificación de indicadores edáfico - climáticos en estratos homogéneos de suelo permite la generación de modelos con capa-

alidad de predicción de la productividad forestal en ambientes diferentes. Esto permite la zonificación de las tierras en clases de manejo de suelos para orientar a los usuarios en la definición de prácticas más adecuadas para cada sitio (ambiente), con el objetivo de no apenas definir cuales son los mejores sitios, más

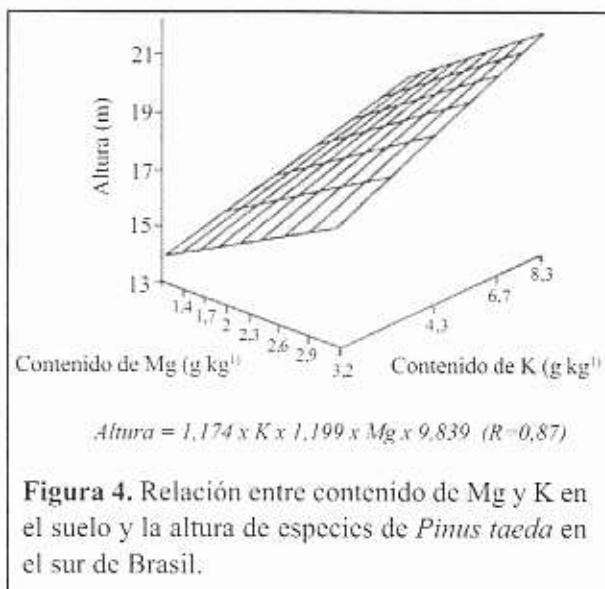


Figura 4. Relación entre contenido de Mg y K en el suelo y la altura de especies de *Pinus taeda* en el sur de Brasil.

bien, de establecer las limitaciones de los sitios menos favorecidos para establecer su recuperación. Entonces, la calidad de sitio comprende:

- 1) La identificación y delimitación de los sitios forestales (ambientes).
- 2) La determinación de las limitaciones de cada sitio, a través de indicadores edáficos, climáticos, de manejo y calidad de la madera.
- 3) La Evaluación de la interacción sitio-especie por medio de la elaboración de modelos de predicción de la productividad de la especie forestal en diferentes ambientes.

- 4) El ordenamiento de los sitios, en cuanto a las clases de manejo de suelos y capacidad de respuesta a la fertilización mineral.
- 5) La viabilidad de reducción de las limitaciones al crecimiento forestal, mediante la implementación de planes de recuperación de los sitios menos favorecidos.

BIBLIOGRAFÍA

Barros, N.F.; Neves, J.C.; Novais, R.F. Relação Solo-Eucalipto. Folha de Vicosá. Brasil. 2000. 430 p.

Corvalán V. P., Hernández P. J. El Sitio forestal. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile. 2006. 9 p.

Donahue, R. L.; Millar, R.W., Shickluna, J.C. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Prentice/Hall Internacional, Cali Colombia, 1981. p. 321-348.

Fisher, R.F. & Binkley, D. Ecology and management of forest soils. New York: John Wiley & Sons. 2000. 489 p.:il.

Gonçalves, J.L. & Benedetti, V. Nutrição e Fertilização Florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. 427 p.

Gonçalves, J.L. Principais solos usados para plantações florestais. In: Gonçalves, J.L. & Stape, J.L. (Eds). Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. IPEF, Piracicaba, SP. 2002. p.1-47.

Gonçalves, J.L.; Barros, N.F.; Nambiar, E.K. & Novais. 1997. Soil and stand management for short rotation plantations. In: Nambiar, E.K. & Brown, A.G. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest. Canberra. ACIAR. Australia. p. 379-417.

Guatemala. 2000. MAGA/Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA). Mapa de clasificación taxonómica de los suelos de Guatemala, según sistema USDA, Escala 1: 250,000. Guatemala.

- Guimaraes, C.A. Fundamentos de biometria florestal. Universidade de Santa Maria: Rio Grande do Sul, 1992. 265 p.
- McFee, W.W. & Kelly, J.M. Forest soils research and changing societal needs and values. *Forest Ecology and Management*. 2005. p. 326-330.
- Meurer, E.J. Fundamentos de química del suelo. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290 p.
- Ramos, E.B. Mecanização de atividades silvícolas. Belo Horizonte: CENIBRA. 2001. 114 p.
- Resende, M.; Curi N., Batista, S.; Fernandes, G. Pedologia: Base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.
- Ritzema, H.P. Drainage Principles and Applications. 2nd Edition. ILRI. Wageningen, The Netherlands. 1994. 1065 p.
- Salassier, B. Manual de irrigação. Viçosa. Universidad Federal de Vicosa, UFV. 2002. 656 p.
- Smith, D., Larson, B., Kelty, M., Ashton, M. The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology. Ninth Edition. John Wiley & Sons Inc. 1997. 537 p.
- USDA. 1961. Land capability classification. Agriculture Handbook No 210. Soil conservation service, Washington D.C. 450 p.
- USDA. 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agricultural Handbook No. 436. Wasington, D.C. 870 p.
- Vanegas, Ch. E.A. & Mendez, B. Suelos Forestales. Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Rev. Tikalia. Vol. XXIV. No.1. 2006. p 93-98.
- Vanegas, Ch. E.A.; Mendez, P. B. & Sacbajá, A. Fertilización de plantaciones forestales. Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Rev. Tikalia. Vol. XXIV. No.1. 2006. p 85-92.
- Young, A. Agroforestry for soil management. New York: CAB International., 1997. 269p.

**Componentes del ciclo biogeoquímico en
plantaciones de palo blanco (*roseodendron
donnell-smith*) en Finca San Julián, Patulul,
Suchitepéquez, Guatemala**

D.Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón¹

¹Doctor, Profesor Titular de FAUSAC.



RESUMEN

El ciclo biogeoquímico comprende la circulación de nutrientes entre el suelo y la biomasa, a través de la deposición, mineralización y posterior reabsorción de nutrientes por el árbol. Son las hojas, el mayor potencial de aporte de nutrientes vía hojarasca. El presente estudio caracterizó el potencial nutricional orgánico de los diferentes componentes de los árboles (tronco y hojas), así como de la hojarasca en seis diferentes sitios plantados con Palo Blanco en Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez. Se caracterizó la distribución de nutrientes en el tronco de los árboles (corteza, albumen y duramen), hojas y hojarasca. Mediante correlaciones de Pearson y análisis de componentes principales se determinaron asociaciones entre los contenidos nutricionales de las hojas y hojarasca, clasificando los diferentes sitios en grupos similares de aporte nutricional. Se concluye que: la distribución del contenido nutricional en los troncos de los árboles es mayor en la corteza, no hay diferencia entre albumen y duramen. Existe correlación directa entre el contenido de P, Zn y Mn foliar y de la hojarasca. También se observó correlación directa tanto del Ca y del Mg de las hojas en relación al Cu, Zn y Mn de la hojarasca e inversa del K de las hojas en relación al N, Ca y Mg de la hojarasca. El N se encuentra en mayor cantidad en las hojas, el P en la madera, el K en las hojas, el Ca en la madera, y el Mg en las hojas. El K y Mg son los elementos con mayor potencialidad de circulación biogeoquímica. Los sitios identificados con los números 16, 17 y 23 (G1) presentan dinámicas similares en cuanto a la potencialidad de fertilización orgánica de la hojarasca, los sitios 28 (G2) y 32 (G3) se clasifican como grupos diferentes.

Palabras clave: hojarasca, ciclo biogeoquímico, plantaciones forestales, fertilización orgánica, Palo Blanco.

ABSTRACT

The biogeochemical cycle includes the circulation of nutrients between the soil and forest biomass, due to deposition, mineralization and later nutrient re-absorption by the tree. The leaves are the main supplier of nutrients as litter. This research characterized the organic nutrient potential of the different tree components (shaft and leaves) and litter as well, in five different sites planted with Palo Blanco in San Julian farm, Patulul, Suchitepéquez. The nutrient distribution in the shaft was characterized (bark, albumen and heartwood), leaves and litter. Using Pearson correlations and principal components analysis it was established association between nutrient content of leaves and litter. It is concluded that the nutrient concentration of shaft is higher in barks, with not differences, between albumen and heartwood. There are a direct correlation among P, Zn and Mn in leaves and litter. There were direct correlation among Ca and Mg of leaves and Cu, Zn y Mn of litter, and inverse correlation among K of leaves and N, Ca and Mg of litter. The mayor nutrient distribution in the tree is as follow: nitrogen in leaves, P in the shaft, K in leaves, Ca in shaft and Mg in leaves. The K and Mg are the nutrients with mayor potential circulation in the biogeochemical cycle. The forest site identified with the numbers 16, 17 and 23 (G1) present a similar litter organic nutrient dynamic, the sites 28 (G2) and 32 (G3) are classified as different groups.

Key words: Litter, biogeochemical cycle, forest plantation, organic fertilization, Palo Blanco.

INTRODUCCIÓN

La comprensión de los ciclos de los nutrientes es fundamental para la definición de tecnologías de manejo forestal, particularmente para la definición de dosis, método y época de aplicación de fertilizantes. Golcalves, et al., (2000) indican que los principales ciclos de nutrientes en los ecosistemas forestales son los geoquímicos (entradas y salidas de nutrientes en el ecosistema por medio de precipitación, aplicación de fertilizantes, erosión, lixiviación y volatilización), y los biológicos (flujo de nutrientes en el sistema suelo-árbol). Los ciclos biológicos pueden dividirse en ciclos bioquímicos (movimiento de nutrientes en los tejidos del propio árbol) y biogeoquímicos (circulación de nutrientes entre el suelo y la biomasa, a través de la deposición, mineralización y reabsorción de nutrientes por el árbol). La caída de hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas hacia el suelo en corto plazo (Vitousek *et al.* 1994) y el conocimiento del aporte en elementos nutritivos de la hojarasca es útil para orientar el manejo nutritivo de las plantaciones forestales. La hojarasca que cae al suelo forma un estrato orgánico conocido como mantillo (Schlatter *et al.* 2003), que cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y de humedad, retornando elementos nutritivos en cantidades importantes por descomposición y mineralización de las sustancias orgánicas. Swift et al., (1979) señalan que las tasas de descomposición del mantillo están reguladas por factores climáticos (humedad y temperatura), la composición bioquímica del mantillo y el tipo y cantidad de organismos del suelo, siendo estos últimos los que controlan las tasas de descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes (Blair *et al.* 1990). El presente trabajo tiene por objetivo cuantificar el potencial nutricional orgánico de los diferentes componentes de los árboles (tronco y hojas) y de la hojarasca en seis diferentes sitios plantados con Palo Blanco en Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez, para evaluar su potencial como fuente de nutrientes.

METODOLOGÍA

En seis sitios diferentes, con plantaciones tipo rodal de Palo Blanco identificados con los números 16, 17, 23, 28 y 32, según el mapa de rodales de áreas de Finca San Julián, jurisdicción de Patulul, departamento de Suchitépéquez, Guatemala, figura 1. Ubicada en latitud norte 14O 26' y longitud oeste 91O 11' a una altitud de 420 msnm y zona de vida bosque húmedo subtropical (De la Cruz, 1983). Se cuantificó para cada sitio el contenido de nutrientes en el tronco y hojas de los árboles dominantes, la hojarasca (hojas del propio Palo Blanco en diferentes estados de descomposición) fue colectada en parcelas aleatorias de 3x3m en cada sitio, para estimar el reservorio nutricional orgánico de cada sitio. Se determinó nitrógeno total por el método de Kjeldahl, Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica; K por espectrometría de emisión de llama, P por colorimetría (Murphy & Riley, 1982) y micronutrientes por espectrometría de emisión de plasma. Se utilizó el programa XLSTAT para realizar pruebas de correlación de Pearson entre los componentes nutricionales foliares del árbol y los contenidos nutricionales de la hojarasca, por medio de análisis de componentes principales se juzga la similitud de la calidad nutricional en los diferentes sitios y su aporte potencial a la circulación de nutrientes.

Presentación y Discusión de Resultados

Los nutrientes contenidos en el tronco de los árboles de Palo Blanco, indican que la mayor concentración de los macro y micronutrientes evaluados se encuentra en la corteza, sin diferencias entre los contenidos en el alburno y el duramen, Cuadro I. Así mismo se observa que los nutrientes almacenados en mayor cantidad son el Ca, N, y K.

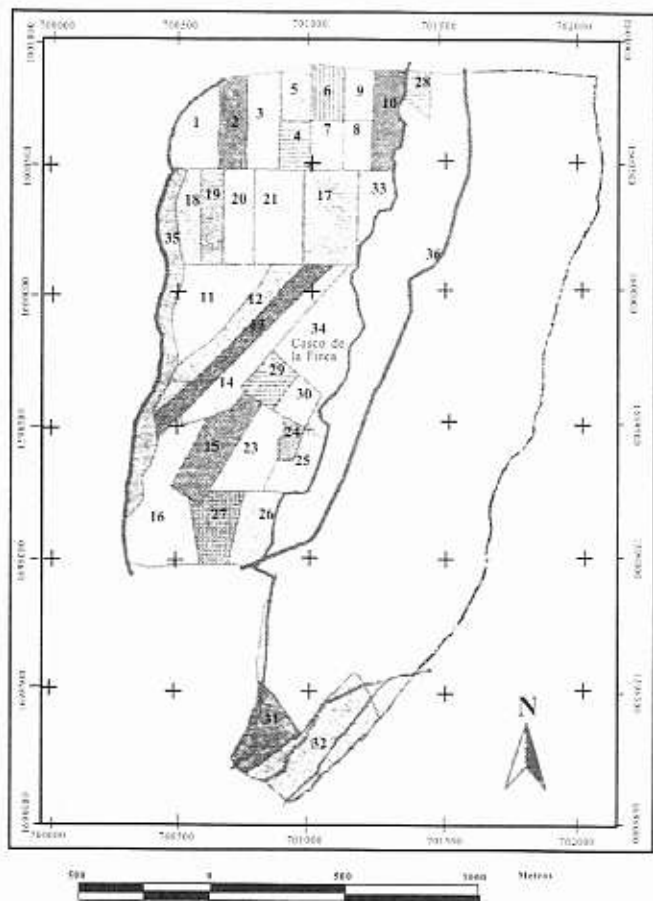


Figura 1. Mapa de rodas, Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez.

Parte del tronco	%					ppm		
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Corteza	1.50	0.12	2.25	2.25	0.08	1	5	10
Albumen	0.44	0.029	0.25	0.25	0.03	1	1	1
Duramen	0.43	0.029	0.25	0.31	0.01	1	1	1
Total	2.27	0.178	1.56	2.81	0.12	3	7	12

Cuadro 1. Concentración de nutrientes en las diferentes partes del tronco en especies de Palo Blanco, Finca San Julián. Sitio 17.

La caracterización nutricional foliar y de la hojarasca de los seis sitios evaluados se presenta en los Cuadros 2 y 3 respectivamente.

Mediante análisis de correlación de Pearson se determinó que existe correlación entre el contenido de P foliar y de la hojarasca, $R^2=0.92$, entre el contenido de Zn foliar y de la hojarasca, $R^2= 0.44$, y entre el contenido de Mn foliar y de la hojarasca, $R^2= 0.51$. También se observó correlación directa tanto del Ca y del Mg de las hojas en relación al Cu, Zn y Mn de la hojarasca y correlación inversa del K de las hojas con el N, Ca y Mg de la hojarasca.

Esto indica que los aporte orgánicos de la hojarasca pueden contribuir al aporte de P, el que rápidamente después de mineralizado podrá ser fijado al suelo, por las relaciones de equilibrio P-suelo. El contenido nutricional de Ca y Mg en las hojas presentan interacciones directas con el potencial orgánico de Cu, Zn y Mn de la hojarasca.

SITIO	%					ppm		
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
16	1.79	0.15	2.88	1.15	0.24	7.5	15	57.5
17	2.68	0.16	2.94	1.75	0.20	10	25	30
23	2.05	0.18	2.75	1.53	0.29	7.5	20	90
28	2.49	0.14	2.19	1.00	0.20	10	25	20
32	2.25	0.16	2.34	0.94	0.19	10	17.5	25

Cuadro 2. Concentración de nutrientes en las hojas de los árboles en diferentes sitios en Finca San Julián.

SITIO	%					ppm		
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
16	1.61	0.10	1.81	1.28	0.19	10	22.5	57.5
17	1.34	0.10	1.20	1.20	0.15	9	24	70
23	1.51	0.15	1.66	1.75	0.18	12.5	25	82.5
28	1.83	0.08	1.31	2.25	0.21	5	25	70
32	2.11	0.14	2.37	1.25	0.18	12.5	20	30

Cuadro 3. Concentración de nutrientes en la hojarasca en diferentes sitios en Finca San Julián.

La distribución de los macronutrientes por componente arbóreo (madera, hojas y hojarasca), para el árbol dominante del sitio 17, se presenta en la Figura 1. El N se encuentra en mayor cantidad en las hojas y la madera, el P en la madera y las hojas, el K en las hojas y hojarasca, el

Ca en la madera y las hojas y el Mg en las hojas y hojarasca. Siendo el K y el Mg los elementos con mayor capacidad de circulación vía hojas y hojarasca, ya que no existe correlación entre el contenido de nitrógeno de las hojas y la hojarasca, esto sugiere pérdidas de N en la vía hojas, hojarasca y su posterior incorporación vía mineralización de la materia orgánica.

El análisis de componentes principales explica la variabilidad de las funciones a través de tres componentes. El primero (F1) explica 56% de la variabilidad y está influenciado por el aporte orgánico de K, Ca, Cu y Mn, el segundo (F2) explica el 27% de la variabilidad y está influenciado por el N y Mg, y el tercero (F3) explica el 17% de la variabilidad y está influenciado por el P. Mediante el análisis gráfico de los componentes F1 y F2, Figura 2, se determinó que los sitios 16, 17 y 23 presentan dinámicas similares en cuanto al contenido nutricional de la hojarasca, permitiendo su agrupación como sitios similares (G1), ya los sitios 28 (G2) y 32 (G3), constituyen grupos diferentes.

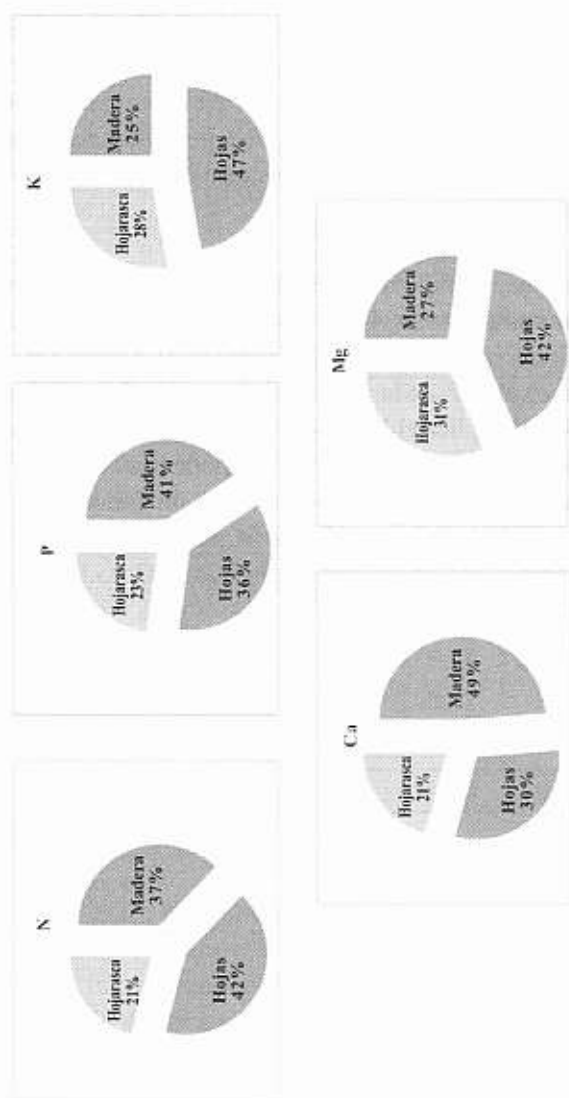


Figura 1. Distribución de macronutrientes por componente arbóreo (madera y hojas), así como hojarasca, sitio 17, Finca San Julián.

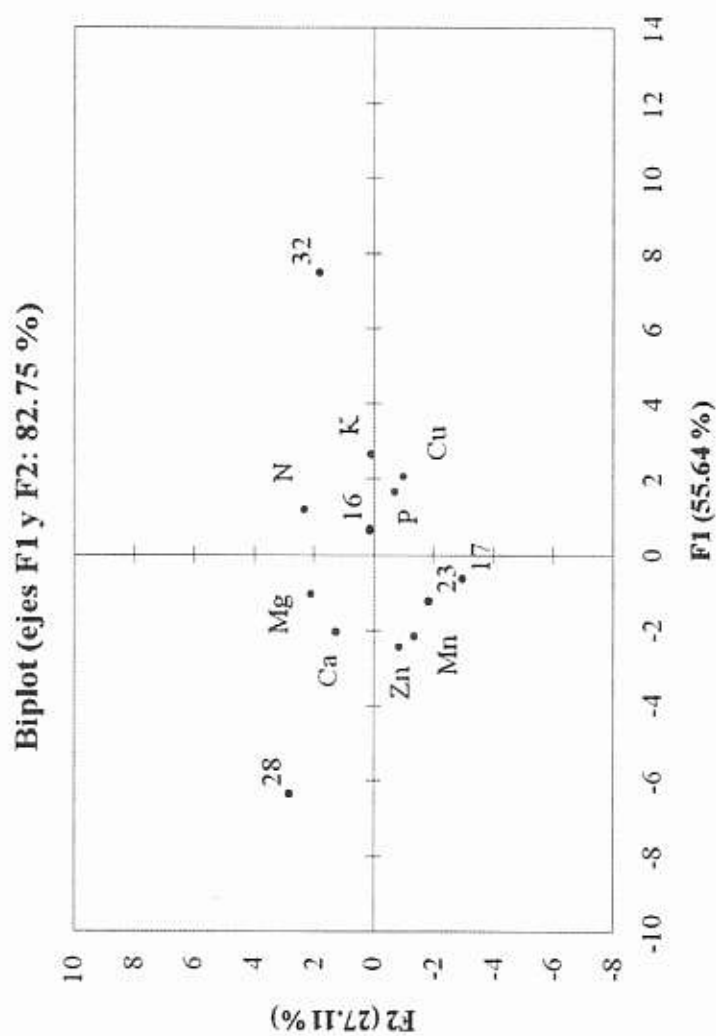


Figura 2. Componente F2 vs Componente F1



CONCLUSIONES

- 1) La distribución del contenido nutricional en los troncos de los árboles es mayor en la corteza, no existiendo diferencia entre los contenidos nutricionales en el albumen y duramen.
- 2) Existe correlación directa entre el contenido de P, Zn y Mn foliar y de la hojarasca. También se observó correlación directa tanto del Ca y del Mg de las hojas en relación al Cu, Zn y Mn de la hojarasca e inversa del K de las hojas en relación al N, Ca y Mg de la hojarasca.
- 3) El N se encuentra en mayor cantidad en las hojas y la madera, el P en la madera y las hojas, el K en las hojas y hojarasca, el Ca en la madera y las hojas y el Mg en las hojas y hojarasca.
- 4) El K y Mg son los elementos con mayor potencialidad de circulación biogeoquímica.
- 5) Se potencializa el aporte orgánico de P vía hojarasca en el ciclo biogeoquímico.
- 6) Los sitios identificados con los grupos 16, 17 y 23 (G1) presentan dinámicas similares en cuanto a la potencialidad de fertilización orgánica de la hojarasca y los sitios 28 (G2) y 32 (G3) son grupos diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

Blair J.M, RW Parmelee, MH Beare. 1990. Decay rates, nitrogen fluxes and decomposer communities of single and mixed species foliar litter. *Ecology* 71:1976-1985.

De La Cruz, J.R. 1983. Mapa de zonas de vida de la República de Guatemala a nivel de reconocimiento. Escala 1: 1000 000. Sistema Holdridge. Instituto Nacional Forestal. 1 hoja.

Golcalves, et al., 2000. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutricao das arvores. In: Nutricao e fertilizacao florestal. Golcalves & Benedetti. IPEF. Piracicaba, Brasil. p 1-58.

Murphy, J. & Riley, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemical Acta*, Amsterdam, v.27, n.1, p 31-36, january. 1962.

Schlatter J, R Grez, V Gerding. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 114 p.

Swift M J, OW Heal, JM Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. *In Studies in Ecology* N° 5, University of California Press, Berkeley, U.S.A.

Vitousek PM, DR Turner, WJ Parton, RL Sanford. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms, and models. *Ecology* 72:418-429.

**Evaluación del Comportamiento y los
Efectos de las Quemadas Prescritas en dos
Rodales de Bosque Natural de *pinus oocarpa*
schiede en la Finca Lagunilla, Jalapa**

Gabriela A. Ortiz de la Cruz¹, Boris Méndez Paiz², Pedro Peláez³

¹Tesista. ²Ing. Agr. asesor principal de la tesis. ³Ing. Agr. asesor de la tesis.



RESUMEN

Las quemas prescritas en ecosistemas forestales son fuegos planificados aplicados a dichos ecosistemas y que persiguen uno o varios objetivos, permitiendo mantener la salud del bosque y evitar incendios forestales devastadores. En esta investigación, se evaluaron los efectos positivos o negativos en los fustes, copas, biomasa, suelo y regeneración natural en las parcelas experimentales. Los objetivos del plan de quema prescrita se lograron, ya que se perseguía una disminución del material combustible y la quema de las partes de los árboles con enfermedades y plagas del bosque. Económicamente hablando, se evitaron gastos innecesarios en plantación de árboles, ya que la regeneración fue un efecto positivo de las quemas prescritas, tanto para Pino (*Pinus oocarpa Schiede*) como para Encino (*Quercus* sp.) Para las condiciones prevalecientes en la finca Lagunilla, la quema prescrita resulta ser una herramienta silvicultural eficaz. Los efectos en su mayoría fueron positivos, y otros como el impacto en el suelo, se deben estudiar más a fondo para tener datos más exactos.

PALABRAS CLAVE: Fuego, quema prescrita, bosque natural, *Pinus oocarpa Schiede*, *Quercus* sp.

ABSTRACT

The prescribed burnings in forest ecosystems are planned fires applied to achieve one or more purposes: allowing to support the health of the forest and to avoid forest devastating fires. In this research, there were evaluated the positive or negative effects in the shafts, biomass, soil and natural regeneration in the experimental plots. The aims of prescribed burnings were achieved, since there was a decrease of the combustible material and the burning of the parts of the trees by diseases and plagues of the forest. Economically speaking, unnecessary expenses were avoided in plantation of trees, since the regeneration was a positive effect of the prescribed burning, both for *Pinus oocarpa* Schiede, and for *Quercus* sp. for the prevailing conditions in Lagunilla. The prescribed burning turns out to be an effective tool. Most of the effects were positive, while others such as the impact in the soil must be studied more thoroughly to have better information.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el fuego es un elemento ampliamente utilizado en la agricultura, la ganadería y pastoreo en todo el país. Nuestro país carece de experiencia desarrollada a través de proyectos o iniciativas de conservación y desarrollo sostenible en relación al manejo del fuego. Esto se debe a varias condiciones, una de ellas es que los objetivos de la política en Guatemala con respecto al fuego, en su mayoría se basan en la exclusión del fuego de las áreas forestales, teniendo como prioridad el evitar cualquier tipo de quema en los bosques, en lugar del control o manejo de éste para disminuir los incendios forestales, y la otra es que los usuarios del fuego son vistos, en general, como una amenaza para la conservación de los ecosistemas. Las quemas prescritas en los bosques tienen comúnmente como objetivo disminuir el material combustible y ayudan en la regeneración natural, pero son escasos los estudios que presenten, con resultados cuantitativos, los beneficios de éstos y de cómo puede ser una herramienta de bajo costo, en el manejo del bosque. Esta investigación se vuelve una necesidad real, en la generación de información que fortalezca el manejo del fuego a través de la documentación en la aplicación y efectos sobre rodal de quemas controladas bajo las dos condiciones predominantes de bosque de esta zona, información que podrá ser de utilidad para promover el uso del fuego como herramienta silvicultural.

MATERIAL Y MÉTODOS

Etapas I: Planificación de la quema prescrita

Fase de gabinete

Selección del área de estudio: Se seleccionó la finca forestal Lagunilla ubicada en el departamento de Jalapa, departamento que tiene mayor incidencia de incendios forestales según el Sistema Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales –SIPECIF–.

Elaboración de mapas temáticos: En base a la información recopilada y la del SIG MAGA con el programa ArcView GIS 3.2, se elaboraron los mapas temáticos de Ubicación, Curvas a Nivel, Hidrografía, Profundidad de suelos, Uso Actual de la tierra, Infraestructura y del área de la quema prescrita.

Fase de campo

Verificación cartográfica: Se corroboró la información generada en los mapas, por medio de observaciones y toma de datos.

Identificación y definición de áreas experimentales: El área en donde se realizó la quema, se describe como un rodal de Bosque Natural con predominancia de las especies del género Pinus oocarpa y Quercus sp. con una pendiente de 26 -36% sin estratificación, con heterogeneidad de densidad. Siendo un área para la finca, con prioridad debido a su abundante material combustible y la cercanía de esta área con fincas vecinas dedicadas a cultivos agrícolas.

Establecimiento de las parcelas: La quema prescrita se realizó en un área de 6.32 hectáreas, en donde se encuentran dos rodales. Se muestreó el 1%, dado de la siguiente ecuación:

$$\frac{I = n (a)}{A}$$

Donde:

I: Intensidad de muestreo

n: Número de parcelas

a: Área de las parcelas

A: Área total de bosque

En cada uno de los rodales se establecieron tres parcelas experimentales de 100 m² cada una, dentro de las cuales se hicieron subparcelas de muestreo de 1 m² para la toma de datos de biomasa. Además se delimitó dos parcelas de 500 m², en las cuales se tomaron los datos dasométricos de la cobertura forestal.

Medición de las variables a evaluar: En las parcelas experimentales de 100 m² se colectaron muestras de biomasa aleatoriamente en subparcelas de 1 m² para ser pesadas en campo con ayuda de una balanza, en la Figura 1 se muestra un diagrama de las parcelas. La biomasa incluye toda la hojarasca dentro de la subparcela hasta llegar al suelo desnudo. En gabinete se procedió a calcular la biomasa en ton/ha.

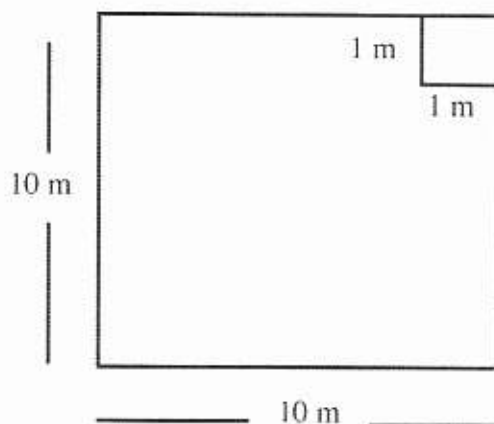


Figura 1. Diagrama de las parcelas de muestreo de biomasa.

Además se tomaron muestras de suelo de la siguiente forma: Una muestra de suelo está formada por 15 pequeñas submuestras que se tomaron haciendo un recorrido en zig-zag a través del rodal, como se muestra en la Figura 2. Se colectó una submuestra cada cierto número de pasos, fijados de acuerdo con la extensión del rodal y el número de submuestras a tomar, a una profundidad de 30 cm con ayuda de la ahoyadora. Las 15 submuestras se colocaron en una cubeta limpia, en donde se mezcló para obtener una muestra de un kilogramo homogenizada, después se colocó en una bolsa plástica limpia identificada con el punto de muestreo y fecha. Finalmente se entregó al Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía para su posterior análisis nutricional.

- Punto de toma de muestras de suelo.

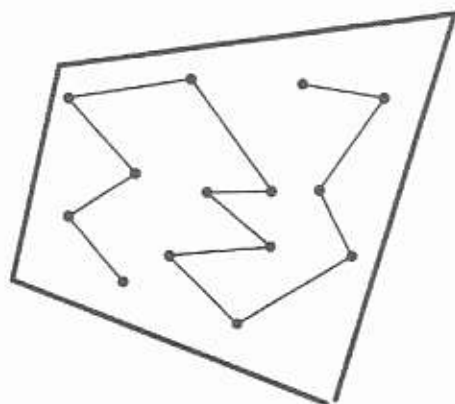


Figura 2. Diagrama de la toma de muestras de suelo

Estas mediciones se realizaron antes de aplicar la quema, un día después y por último, dos meses después de la quema prescrita; los puntos de muestreo no fueron los mismos en cada toma de datos.

Elaboración del plan para quemas prescritas: Ya identificada el área de quema y conociendo los objetivos que perseguía la finca con las quemas prescritas; se elaboró el plan para Quemias prescritas basado en J. Hudson y M. Salazar; en donde se describen las condiciones biofísicas del lugar (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento y la pendiente), así como las operaciones de aplicación del fuego, las medidas de seguridad, las operaciones para la liquidación del fuego y el manejo del humo.

Etapa II: Ejecución de la quema prescrita

Presentación del plan para quemadas prescritas: Se realizó una breve presentación de dicho plan ante el administrador y gerente de la finca y se le comunicó al SIPECIF e INAB de Jalapa.

Selección de brigada y equipo: La finca cuenta con equipo contra incendios que es el mismo que se utilizó en la quema prescrita, dicho equipo es el siguiente: Hacha de doble filo, batefuegos, rastrillo segador, rastrillo Mc leod, Quemador de Goteo, Bombas de mochila, machetes y un sistema; además de contar con el personal de la finca como brigada.

Preparación de las áreas a quemar: Se limpiaron los caminos y se realizó una brecha cortafuego de 3 metros de ancho en el límite con los rodales. También se eliminaron los combustibles pesados (troncos o ramas grandes) en forma de leña y se realizaron plateos de 1 metro de radio a la regeneración existente.

Ejecución de la quema prescrita: Previo a la quema prescrita, se monitoreó las condiciones climáticas del lugar al igual que el día de la quema con la ayuda del equipo meteorológico portátil facilitado por SIPECIF. Los datos que se tomaron fueron: temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, con el objetivo de conocer si las condiciones eran apropiadas para realizar la quema.

Al momento de realizarse la quema, se tomaron los siguientes datos con respecto al comportamiento del fuego: comportamiento del fuego:

- Tiempo de duración de la quema: Se tomó el tiempo desde el inicio de la ignición hasta que se sofocó la última llama.

- **Altura de las llamas:** Se hizo un estimado de la altura.
- **Velocidad de avance:** Se colocaron marcas que definían una distancia para luego tomar el tiempo en el que se tardó el fuego en recorrerlas.
- **Severidad del fuego:** Es una medida del efecto de la intensidad del fuego, se determinó por el porcentaje de combustible consumido, altura y profundidad del chamuscado en la corteza y chamuscado en la copa.

Evaluación de la quema prescrita: Al finalizar la quema se evaluaron los logros de la quema en base a los objetivos de la finca. Así también se tomaron los siguientes datos con respecto a los daños causados a los árboles:

- **Daño fustal:** Tomando en cuenta la porción del fuste que esté afectada por la huella del fuego.
 1. De 1 a 25 % del tronco afectado
 2. De 26 a 50% del tronco afectado
 3. De 51 a 75% del tronco afectado
 4. De 76 a 100% del tronco afectado
- **Daño de Copas:** El color de las hojas del árbol afectado
 1. Normal
 2. Gris
 3. Café o rojo
 4. Negro
- **Regeneración Natural:** Se realizarán observaciones las cuales se plasmarán por medio de fotografías, además de un conteo pre y post quema, mostrando el comportamiento de la regeneración natural.

Así como se realizaron tres toma de muestras de biomasa y suelo (1 día antes, 1 día después y 2 meses después), así también se realizaron observaciones con el fin de comparar los efectos positivos o negativos de la quema prescrita en el área experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Daño Fustal

Cuadro 2. Resultados del Daño Fustal en los rodales experimentales.

Rodal	Daño Fustal				
	I	II	III	IV	Total
A	41%	34%	19%	6%	100 %
B	93%	0%	3%	3%	100%

Daño en porcentaje de la altura total del fuste: I: 1-25%, II: 26-50%, III: 51-75%, IV: 76-100%.

Especie	Daño Fustal	
	Rodal A	Rodal B
PINO	60.53 %	45.45 %
ENCINO	39.47 %	54.55 %
Total	100 %	100 %

Cuadro 3. Resultados del Daño Fustal por Especie

Según el Cuadro 2, los daños que se observaron fueron mayores en el rodal A, ya que el 6 por ciento de los árboles en el rodal A tuvieron fustes dañados hasta en un 100%, es decir, las cortezas presentaron un ennegrecimiento del 100% en altura del fuste. El 93 por ciento de los individuos del rodal B o la parte baja del área, presentaron daños por debajo del 25% de daño al fuste, solo encontrándose un 6 por ciento de individuos dañados en un 51 a 100% del fuste, debido a que eran individuos con alturas no mayores de los 2 m de alto. En base al Cuadro 3, la especie mayormente afectada en el rodal A fue el Pino con un 60.53% y en el rodal B fue el Encino con un 54.55%.



Figura 3 a. y b. Daño fustal de árbol de Encino (*Quercus* sp.).



Figura 4. Daño fustal superficial de árbol de Pino (*Pinus oocarpa*).

La severidad de la quema con respecto al fuste en ambos rodales, en general fue entre media y baja, ya que aunque se observaron fustes ennegrecidos, obsérvese las Figuras 3 a, b y 4, esto solo fue superficialmente, afectando la primera capa de corteza tanto de *Pinus oocarpa* como de *Quercus sp.*

B. Daño de Copas

Cuadro 4. Resultados del Daño de Copas en los rodales experimentales

Rodal	Daño Copas				
	Normal	Gris	Café a Rojo	Negro	Total
A	56%	16%	28%	0%	100 %
B	79%	14%	3%	3%	100 %



Las condiciones topográficas del área dieron lugar a que las llamas elevaran su altura hasta tocar algunas copas, pero la falta de contacto entre éstas, producto de los raleos previamente realizados, no permitió la propagación del fuego aéreo. Cabe mencionar, que en algunos individuos ocoteados las llamas lograron ascender, ya sea por contacto o por radiación, quemando parcialmente la copa. Según se indica en el Cuadro 4, el rodal A presentó un mayor daño en las copas, que se justifican con un 28 por ciento de los individuos del rodal con copas de color Café a Rojo. En comparación, el rodal B presentó algunos daños de copas con color Negro pero eran individuos que se vieron afectados por la poca altura que tenían, siendo no mayor de 2 metros.

En las Figuras 5, 6 y 7 se observa un proceso de poda natural provocada por el fuego y una gran mejoría en las copas dañadas, lo cual nos indica que los árboles tienden a recuperar más follaje, pues su prioridad después de los daños por el fuego, es la de recuperar el follaje que les permitirá producir fotosintatos, así como la de combatir los posibles ataques de enfermedades y plagas.



Figura 5 a. Daño de copas Pino y b. Daño de copas Encino, un día después de la quema



Figura 6 a. Daño de copas de Pino y b. Daño de copas de Encino, un mes después de la quema.



Figura 7 a. Daño de copas de Pino y b. Daño de copas de Encino, dos meses después de la quema

C. Regeneración Natural

Previo a iniciar la quema prescrita se realizaron observaciones y un conteo para determinar la presencia o ausencia de la especie en estudio, *Pinus oocarpa* Schiede. A continuación se presentan los datos obtenidos en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Promedio de Regeneración Natural (*P. oocarpa*), antes y después de la quema prescrita.

RODAL	ANTES	DESPUÉS (2 meses)
A	350 plantas/ha	600 plantas/ha
B	100 plantas/ha	250 plantas/ha

En base a estos datos, el rodal A presentó una regeneración natural de Pino (*P. oocarpa*) promedio de 350 plantas por hectárea, tomando en cuenta que algunos perecieron, se observó un aumento mayor del 100% entre regeneración y rebrotes. En el rodal B, se promediaron 100 plantas por hectárea y después de la quema prescrita se estimó unas 250 plantas por hectárea, dándose un aumento también mayor del 100% en regeneración y rebrotes. Cabe mencionar, que no pasó desapercibida la presencia de regeneración natural y rebrotes de Encino (*Quercus* sp.). En la Figura 8, se observa la regeneración que fue afectada por el fuego, y la recuperación de la regeneración natural y de los rebrotes tanto de pino como de encino.



Figura 8 a. y b. Regeneración Natural de Pino y Encino, dos meses después de la quema

Las quemas prescritas estimularon un aumento en la regeneración natural y rebrotes del Pino ocote (*Pinus oocarpa*) y en la de Encino (*Quercus* sp.); a futuro deben realizarse evaluaciones que aseguren el establecimiento de esta regeneración natural.

D. Suelo

A continuación se presentan los resultados en los Cuadros 6, 7 y 8, donde se puede observar los valores de cada uno de los elementos que posee el suelo antes de la quema, un día después de la quema y dos meses después de la quema.

Cuadro 6. Resultados nutricionales del suelo antes de la Quema Prescrita.

Rodal	pH	ppm		Meq/100 gr		Ppm				% MO
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	
Rango medio		12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15	
A	5.0	1.85	95	2.81	1.23	0.50	1.50	34.50	11.00	7.02
B	6.25	2.80	124	5.92	1.44	1.25	1.75	37.25	30.50	6.21

Fuente: Laboratorio de Suelo-Planta-Agua "Salvador Castillo Orellana", Facultad de Agronomía, USAC.

Cuadro 7. Resultados nutricionales del suelo un día después de la Quema Prescrita.

Rodal	pH	ppm		Meq/100 gr		Ppm				% MO
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	
Rango medio		12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15	
A	4.9	2.81	98	3.43	1.23	1.00	0.50	52.50	25.50	4.08
B	5.25	1.47	86	3.59	1.06	1.25	1.25	47.25	39.75	4.32

Fuente: Laboratorio de Suelo-Planta-Agua "Salvador Castillo Orellana", Facultad de Agronomía, USAC.

Cuadro 8. Resultados nutricionales del suelo dos meses después de la Quema Prescrita.

Rodal	pH	ppm		Meq/100 gr		Ppm				% MO
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	
Rango medio		12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15	
A	4.9	2.81	98	3.43	1.23	1.00	0.50	52.50	25.50	4.08
B	5.25	1.47	86	3.59	1.06	1.25	1.25	47.25	39.75	4.32

Fuente: Laboratorio de Suelo-Planta-Agua "Salvador Castillo Orellana", Facultad de Agronomía, USAC.

Según Ibarra, tanto los incendios, como las quemas prescritas, ocasionan una liberación rápida de nutrientes desde la materia orgánica. Sin embargo, este hecho no puede interpretarse como una contribución adicional de nutrientes; estos sólo cambian su forma, acelerando algunos procesos del ciclo y dando lugar a pérdidas de algunos de ellos. Así, el nitrógeno suele ser volatilizado durante los incendios, reduciéndose paralelamente con la pérdida de peso del combustible quemado. El calentamiento del suelo ocasiona liberaciones inmediatas de importantes cantidades de amonio (NH_4) a consecuencia de la oxidación de la materia orgánica. Los efectos de la quema prescrita en el suelo, no fueron de consideración; el daño de carbonización del horizonte orgánico, según la Figura 9, es superficial como se observa en las imágenes siguientes. Aunque se esperaba una mayor disponibilidad de nutrientes después de realizada la quema, posiblemente varió por la presencia de la erosión hídrica y cólica.



Figura 9. Daños superficiales al suelo.

E. Biomasa

La biomasa presente en los rodales experimentales era abundante debido a que anteriormente se sometió a podas y raleos por su alta densidad, además se observaba la presencia de gorgojo y roya en el pino (*Pinus oocarpa*).

Al inicio, la biomasa consistía en ramas, tocones y algunos troncos de pino y encino, formando lo que se conoce como combustible pesado, y que de gran manera se disminuyó en forma de leña. Para el caso del combustible liviano, había presencia de ascículas de pino, hojarasca de encino y plantas herbáceas; esto se puede observar en la Figura 10.



Figura 10 a. y b. Biomasa antes de la quema prescrita en los dos rodales.

Al finalizar la quema prescrita, se observó que el combustible en el rodal 44 disminuyó significativamente, como se puede observar en las Figuras 11. A diferencia del rodal 43, en donde sí se observó una disminución pero no tan marcada. Se obtuvo una combustión promedio del 58.01% de los combustibles superficiales en el área de quema.

El efecto del fuego en la vegetación varía de acuerdo a la duración e intensidad del fuego, así como del tipo de combustible. En este caso, el combustible liviano tenía un bajo contenido de humedad, por ello la eliminación fue buena a pesar de que la intensidad de quema fue baja.

Un mes después de realizada la quema prescrita se ve un aumento en la biomasa formada por ascúsculas de pino debido a la poda natural a consecuencia del fuego, como se muestra en la Figura 12.



Figura 11 a. y b. Biomasa un día después de la quema prescrita.



Figura 12. Biomasa un mes después de la quema prescrita.

En la Figura 13 se observa el aumento de biomasa verde, formada por regeneración natural de pino y encino, así como de la regeneración natural de las plantas herbáceas que cubren parcialmente el suelo.



Figura 13. Biomasa dos meses después de la quema prescrita

CONCLUSIONES

Los efectos de las quemas prescritas son positivos, según sea el o los objetivos que se persigan. En este caso, fueron positivos, ya que uno de éstos objetivos era el de disminuir la presencia de combustibles que provocaran incendios forestales en la época seca, dañando severamente el bosque; lo cual se logró en un 58.01%, gracias a un plan de quema prescrita bien definido y a una buena ejecución.

El comportamiento del fuego definió los posibles efectos en la dinámica del bosque, presentándose en ciertas áreas daños severos, pero que a los dos

meses se han recuperado. Si bien, en el caso del suelo no se lograron datos más relevantes, ya que se esperaba una mayor disponibilidad de nutrientes, pero que se vieron afectados por la erosión hídrica y eólica, éstos toman un segundo plano al observarse la excelente respuesta de la regeneración natural del *Pinus oocarpa* y de *Quercus* sp., y la mejoría que han tenido los individuos que se vieron afectados por el fuego en el fuste como en la copa.

Para las condiciones en que se encuentra la finca Lagunilla, propias del departamento de Jalapa, se concluye que las quemadas prescritas son una herramienta silvicultural eficaz para la disminución del material combustible y de esta forma evitar incendios que tengan como consecuencia pérdidas en la biodiversidad y pérdidas económicas; al mismo tiempo, es eficiente en el aumento de la regeneración natural de Pino (*Pinus oocarpa*) y de Encino (*Quercus* sp.) evitando costos innecesarios en una plantación.

LITERATURA CITADA

Girón, E. 2007. Monitoreo de efectos ecológicos del fuego y quemadas prescritas: vacíos en el manejo forestal y de áreas naturales protegidas en Guatemala, Centroamérica. Consultado 12/09/2007. Disponible en: http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/doc/SESIONES_TEMATICAS/ST3/Giron-Solorzano_GUATEMALA_monitoreo.pdf

FRAISORO, Laboratorio Agroambiental. España. Consultado 26/09/2007. Disponible en: <http://www.fraisoro.net/documentos/recomentomamuestrassuelos.pdf>

Pérez, R. 1993. Evaluación y Valoración de áreas afectadas por incendios forestales. Folleto Técnico No. 17. México. 17 p. IBARRA, M. Curso de ecofisiología forestal, Dinámica de nutrientes en ecosistemas forestales. Consultado 15/06/2008. Disponible en: <http://146.83.41.79/profesor/ecofor03/DinNut.doc>

**Evaluación nutricional de plantaciones
de palo blanco (*Roseodendron Donnell-
Smith*) en Finca San Julián, Patulul,
Suchitepéquez, Guatemala**

D.Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón

Doctor, Profesor Titular de FAUSAC



RESUMEN

En Guatemala existen plantaciones forestales de especies nativas con fines de aprovechamiento maderable, cuya relación suelo-árbol pocas veces es documentada, lo que se constituye en una limitante al entendimiento del crecimiento arbóreo como rodal en función de la distribución bioclimática en el país, principalmente cuando las plantaciones son ubicadas en áreas poco fértiles. Con base en esta premisa, se realiza la evaluación nutricional de plantaciones de Palo Blanco, ubicadas en cinco diferentes sitios en Finca San Julián, se aplica la metodología pedo-biológica para la determinación de valores críticos de nutrientes limitantes al crecimiento forestal y categorización de clases de sitio forestal. Se evaluaron los sitios identificados con los números 16, 17, 23, 28 y 32 según el mapa de rodales de Finca San Julián. Con base en correlaciones de Pearson y posterior análisis de regresión lineal múltiple, entre la altura de los árboles dominantes y los elementos foliares de relación directa con los elementos nutricionales edáficos, se determinó que: el nitrógeno, derivado de la mineralización de la materia orgánica del suelo no es limitante para el crecimiento arbóreo, pues es suministrado en cantidades adecuadas. El fósforo en el suelo es de vital importancia, aún cuando no se presentó correlación entre la concentración de fósforo foliar y altura de los árboles dominantes. Los elementos críticos que determinan el crecimiento arbóreo del Palo Blanco son el K y el Ca, puede incluirse la relación Ca/Mg. Se determinan como valores críticos de desarrollo los contenidos de K y Ca foliar de 2.75 y 1.65 % respectivamente, la relación ideal de Ca/Mg foliar es de 6. Se concluye que el sitio 17 es considerado como Clase I, el 16 y 23 como Clase II, el 28 como Clase III y el 32 como Clase IV. La calidad de los sitios no identificados como Clase I, potencialmente pueden presentar respuesta de crecimiento en función de la fertilización mineral compensatoria de K y Ca.;

Palabras Clave: Nutrición forestal, Palo Blanco, plantación forestal, valores críticos de nutrientes, fertilización mineral forestal.

ABSTRACT

In Guatemala there are native forest plantations with the main purpose of wood production, such soil-tree relations are not documented, this limits the understanding of the growth rate plantations as function of the bioclimatic condition, mainly when those plantations are located in rangelands. Therefore, this research present the nutritional evaluation of Palo Blanco plantations located in five different soil sites in San Julian form, using the pedobiology methodology to estimate nutritional critical values and soil classification of forest sites. The sites identified with the numbers 16, 17, 23, 28 and 32 according to San Julian farm map were evaluated. Using Pearson correlation and multiple linear regression between dominant high tree and foliar nutrients is estimated that: the nitrogen as an organic matter mineralization is not limiting for the growth tree because it is adequately supplied. The phosphorus in the soil is important, even with not correlation between foliar phosphorus and dominant high tree. The critical nutrients that determined the Palo Blanco growth rate are K and Ca, the relation Ca/Mg can also be included. The critical values of foliar K and Ca are 2.75 and 1.65 respectively with a Ca/Mg relation of 6. Concluding that the site identified with the number 17 is Class I, those with 16 and 24 are Class II, the one with 28 is Class III and the one with 32 is Class IV. The soil sites quality not identified as Class I, potentially can respond to the application of mineral fertilization of K and Ca.

Key words: Forest nutrition, Palo Blanco, forest plantation, nutritional critical values, forest mineral fertilization.



INTRODUCCIÓN

El Palo Blanco, también llamado Primavera es una especie nativa de México, Guatemala, El Salvador y parte central de Honduras entre las latitudes 13° y 21° Norte (FAO, 1955; Holdridge et al., 1950). Fuera de su área de distribución natural, esta especie forestal ha sido plantada en Costa Rica (Camacho 1,981), Puerto Rico y Hawaii (Marrero, 1965; Nelson & Schubert, 1976). Actualmente en Guatemala existen 4,200 hectáreas plantadas con Palo Blanco distribuidas a lo largo de la costa sur, atlántica y parte norte del país, siendo los departamentos de Alta Verapaz, Escuintla, San Marcos, Suchitepéquez y Retalhuleu los que cuentan con las mayores áreas plantadas (INAB, 2009). Las plantaciones forestales pueden causar disminuciones en la fertilidad del suelo por medio de la remoción excesiva de biomasa del sitio, especialmente si los nutrientes de la copa de los árboles, se pierden por la cosecha; predominancia de las latifoliadas, o en las labores de preparación del sitio para la plantación (Fölster y Khanna 1997, Wadsworth 1997). La cosecha representa un costo nutricional para el sitio (Wang et al. 1991), en función de la rotación y requerimiento nutricional de las especies. Esto puede ser un problema serio cuando las plantaciones son establecidas en suelos pobres, en especial cuando existe desconocimiento de la relación entre el estado nutricional del rodal, el crecimiento y la zona bioclimática de ocurrencia, tal el caso de las plantaciones de Palo Blanco en Guatemala. El estudio de la evaluación nutricional de plantaciones forestales es abordado con diferentes metodologías, en esta investigación, se presenta la evaluación pedo-biológica que determina el estado nutricional (relación suelo-árbol) y lo relaciona con el crecimiento del rodal, lo que consiste en la evaluación nutricional del suelo, su correlación con los nutrientes de las hojas y los tipos de regresión que existan entre los nutrientes de las hojas y el crecimiento de los árboles en el rodal, a fin de determinar valores críticos de los elementos limitantes.

Metodología

En seis sitios diferentes, con plantaciones tipo rodal de Palo Blanco identificados con la numeración 16, 17, 23, 28 y 32, según el mapa de rodales de Finca San Julián, figura 1, jurisdicción de Patulul, departamento de Suchitépéquez, Guatemala. Ubicada en latitud norte 14° 26' y longitud oeste 91° 11' a una altitud de 420 msnm y zona de vida bosque húmedo subtropical (De la Cruz, 1983). Para cada sitio se estableció la altura del árbol dominante como indicador del crecimiento del rodal ya que ésta es poco influenciada por la densidad poblacional (Jones Jr., 1977). También para cada sitio se colectaron muestras de suelo a 30 cm, profundidad recomendada para estudios de nutrición forestal (Barros et al, 1986;

Golcalves et al., 1990; Melo 1994), para determinar en laboratorio carbono total, por oxidación húmeda (Yeomans & Bremner, 1988) Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica; K por espectrometría de emisión de llama, P por colorimetría (Murphy & Riley, 1982) y micronutrientes por espectrometría de emisión de plasma. En época seca, hojas fueron colectadas en la parte del tercio medio de los árboles dominantes (Bellote & Da Silva, 2000) para determinar en laboratorio nitrógeno total por el método de Kjeldahl. Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica; K por espectrometría de emisión de llama, P por colorimetría (Murphy & Riley, 1982) y micronutrientes por espectrometría de emisión de plasma. Mediante el programa estadístico de computación XLSTAT, se realizaron correlaciones de Pearson entre las variables edáficas y de las hojas de los árboles correspondientes a los diferentes sitios, posteriormente se seleccionaron las variables con mayor correlación, para realizar regresiones múltiples entre la variable dependiente altura dominante y las variables independientes nutrientes en las hojas (Evenhuis & Waard, 1980). Esto con el objeto de establecer valores críticos de elementos limitantes al crecimiento, para la corrección de los sitios que no sean clasificados como clase I, mediante fertilización mineral compensatoria.

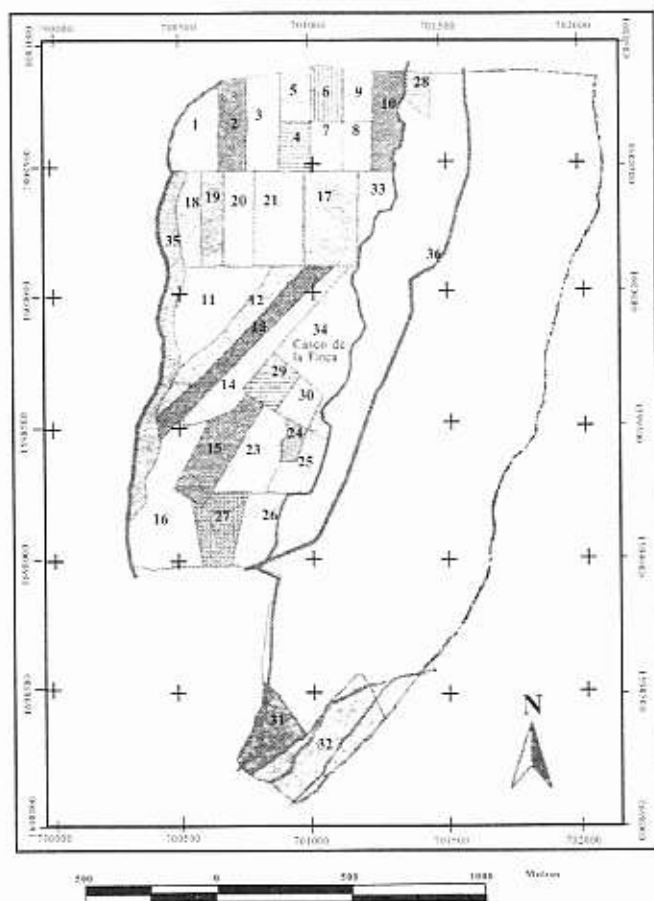


Figura 1. Mapa de rodas, Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez.

Presentación y discusión de resultados

La caracterización nutricional del suelo, Cuadro 1, permite establecer que se trata de suelos con contenidos adecuados de materia orgánica, debido al establecimiento de ciclos geo-bio-químicos, debido a que las plantaciones tienen 6 años de edad y los suelos presentan pH ligeramente ácidos, probablemente por las altas precipitaciones de la región y la naturaleza textural gruesa y mediana de los suelos de esta finca.

Cuadro 1. Caracterización nutricional edáfica de diferentes sitios plantados con Palo Blanco en Finca San Julián.

SITIO	Extensión Hectáreas	Edad Años	Altura Metros	%		ppm			Meq/100 gr		ppm		
				M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	
16	10	5	8.25	3.51	6.1	3.23	345	9.36	2.36	1.5	1.5	10	
17	7	6	9.25	4.6	6	3.1	215	8.73	1.75	0.5	1.5	5.5	
23	5	7	7.51	2.83	6	2.61	208	9.04	2.51	1	1.5	8	
28	2	7	6.76	4.6	6	1.86	28	5.61	1.33	0.5	2.5	6	
32	10	6	5.75	3.23	5.9	2.79	75	4.99	0.77	0.5	2.5	4.5	

La caracterización foliar, Cuadro 2, presenta elementos macro y micronutrientes, que de conformidad con lo establecido por Evenhuis & Waard (1980), ratifica la premisa de existencia de alta correlación entre la oferta edáfica de nutrientes y aquellos contenidos en las hojas de los árboles, Cuadro 3.

Cuadro 2. Caracterización nutricional foliar de diferentes sitios plantados con Palo Blanco en Finca San Julián.

	%					ppm		
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
16	1.79	0.15	2.88	1.155	0.24	7.5	15	57.5
17	2.68	0.16	2.94	1.75	0.2	10	25	30
23	2.05	0.18	2.75	1.535	0.295	7.5	20	90
28	2.49	0.14	2.19	1	0.2	10	25	20
32	2.25	0.345	2.345	0.94	0.19	10	17.5	25



Respecto a las correlaciones directas, se observa entre el contenido de materia orgánica del suelo y el contenido de nitrógeno de las hojas, sin embargo la mayor correlación entre variables es la del fósforo, potasio, calcio y magnesio del suelo con el potasio de las hojas, lo que indica que el potasio es elemento clave en el crecimiento arbóreo, también hay correlaciones entre el calcio del suelo con el calcio de las hojas, el zinc del suelo y el cobre de las hojas y el manganeso del suelo con el manganeso de las hojas. Se establecieron correlaciones inversas entre materia orgánica y contenido de fósforo, lo que se explica por el equilibrio químico del fósforo en el suelo (Novais & Smith, 1999), materia orgánica y magnesio, cobre y manganeso del suelo en relación al cobre y manganeso de las hojas, lo que se explica por procesos de complexación de estos elementos en el suelo, y entre el zinc y manganeso de las hojas.

Cuadro 3. Correlación de Pearson entre la altura (h), materia orgánica (M.O.), las variables edáficas (s) y foliares (h), en los seis diferentes sitios plantados con Palo Blanco en Finca San Julián.

	h	M.O.	Nh	Ph	Kh	Cah	Mgh	Cuh	Mnh	(Ca/Mg)h
h	1	0.45	0.20		0.86	0.81	0.20	0.25	0.23	0.71
M.O.	0.45	1	0.76				-0.65			
Ps	0.54				0.81					
Ks	0.71				0.91					
Cas	0.83				0.93	0.72				
Mgs	0.64				0.73		0.85			
Cus								0.91		
Zns	-0.84							0.66	-0.68	
Mns								0.91	0.70	

La evaluación nutricional regularmente se lleva a cabo durante el estado vegetativo de las especies forestales (en promedio hasta los ocho años) con el objeto de conocer cual nutriente (s) se encuentran en niveles deficientes y de esa forma corregirlo a través de fertilización mineral. Para este caso particular, la matriz de correlación del análisis de regresión mul-

tiple de la altura en función de los macro y micronutrientes de las hojas, permite determinar, que aún cuando existe una buena correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo y la concentración de nitrógeno en las hojas, el nitrógeno no es el principal elemento responsable por la diferencia de alturas dominantes en los diferentes sitios, esto porque guarda muy poca correlación con la altura, lo que indica que este elemento es proporcionado por el suelo en cantidades adecuadas, y de esa forma, no es limitante al crecimiento de los árboles de Palo Blanco en Finca San Julián. Siendo los compartimientos de K y Ca, los más indicados para determinar la influencia nutricional sobre el crecimiento de los árboles, puede acompañar la interpretación de la relación Ca/Mg, no así el Mg de forma individual. El crecimiento guarda relación con el fósforo en el suelo ($R^2 = 0.54$), no obstante, no exista relación entre la altura de los árboles y la concentración de fósforo en las hojas, lo que puede explicarse por la dinámica del fósforo en el suelo y difusión durante el proceso de absorción del mismo por el árbol. No existe correlación entre altura y micronutrientes. Después de depurar varios modelos de regresión múltiple, se concluye que el crecimiento de los árboles en función de la concentración de nutrientes en las hojas es influenciado en orden decreciente por las concentraciones de K, Ca, relación Ca/Mg, N y P. El Cuadro 4, resume los modelos estadísticos representativos y las figuras 1 y 2 muestran las superficies de respuesta de los modelos de regresión múltiple.

Cuadro 4. Modelos de regresión múltiple que explican el crecimiento de los árboles en función de la concentración de nutrientes en las hojas.

Modelo	R ²	Figura
$h = 2.71K + 0.28 (Ca/Mg) - 1.25$	0.84	Figura 1
$h = 2.38K + 1.33 (Ca - 0.45)$	0.79	Figura 2

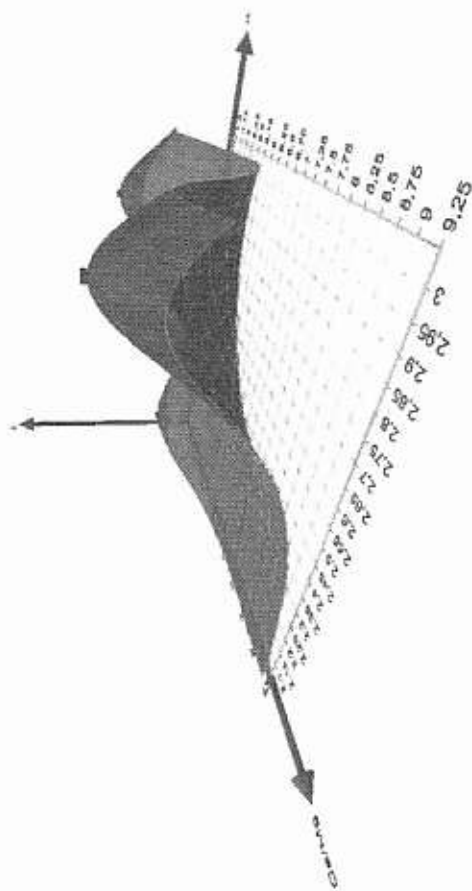


Figura 1. Altura (h), función de K y la relación (Ca/Mg). Se determina que los árboles están adecuadamente nutridos cuando presentan contenidos de K entre 2.75 y 2.95 %, con relación (Ca/Mg) entre 5.5 y 7.5.

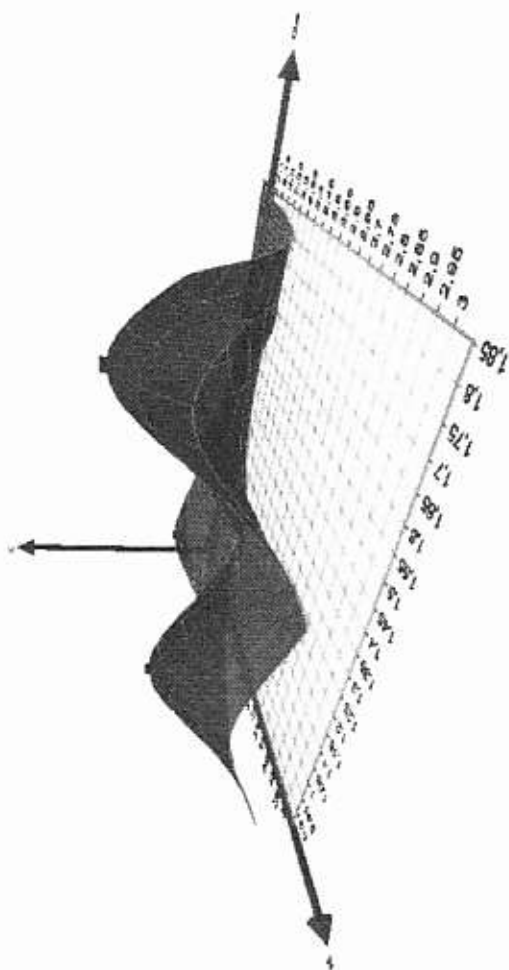


Figura 2. Altura (h), función de K y Ca. Se determina que los árboles están adecuadamente nutridos cuando presentan contenidos de K entre 2.45 y 2.75 %, y Ca entre 1.55 y 1.75%.

CONCLUSIONES

- 1) La calidad del sitio 17, se determina como Clase I, no existen diferencias significativas de crecimiento entre los árboles dominantes en los sitios 16 y 23 denominados clase II, el sitio 28 caracteriza la Clase III y el 32 la Clase IV.
- 2) El N, no es elemento limitante para el crecimiento de los árboles, pues es suministrado en concentraciones adecuadas por el suelo.
- 3) El P en el suelo, es limitante para el crecimiento arbóreo, sin embargo, no se determinó correlación entre el contenido de P foliar y la altura.
- 4) Los valores críticos de K y Ca foliar son de 2.75 y 1.65 % respectivamente.
- 5) La relación ideal de Ca/Mg foliar es de 6.
- 6) Se potencializa la respuesta de crecimiento en función de la fertilización mineral compensatoria de K y Ca.

BIBLIOGRAFÍA

Barros, N.F.; Novais, R.F.; Carmo, D.N.; & Neves, J.C. Classificação nutricional de sítios florestais- descrição de uma metodologia. *Rev. Arv.* 10:106-112, 1986.

Bellote, A. F. & Da Silva, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de Eucaliptus spp. In *Nutrição Florestal*. Gonçalves, J. & Benedetti, V. IPEF, Piracicaba, 2000. p 106-130.

Camacho M., Pablo. 1981. Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica. Cartago, Costa Rica; Instituto Tecnológico de Costa Rica, Departamento de Ingeniería Forestal. 256 p.

De La Cruz, J.R. 1983. Mapa de zonas de vida de la República de Guatemala a nivel de reconocimiento. Escala 1: 1000 000. Sistema Holdridge. Instituto Nacional Forestal. 1 hoja.

Evenhuis, B. & Waard, P. Principles and practices in plant analysis. In: FAO. Soils Bulletin. Roma, 38 (1): 152-163. 1980.

Fölster, H; Khanna, PK. 1997. Dynamics of nutrient supply in plantation soils. In: Nambiar EKS, Brown AG (eds). Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests. ACIAR/CSIRO CIFOR. ACIAR. Canberra, Australia, pp. 338-378.

Food and Agriculture Organization. 1955. Tree seed notes. Forestry Development Paper 5. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 354 p.

Goncalves, J.L.; Demate, J.L.; & Couto H.T. Relacao entre a produtividade de sitios florestais de E. Grandis e E. Saligna com as propriedades de alguns solos de textura arenosa emédia no Estado de Sao Paulo. Piracicaba, IPEF, 43/44: 24-39, 1990.

Holdridge, L.R.; Lamb, F. Bruce; Mason, Bertell M. 1950. The forest of Guatemala. Turrialba, Costa Rica; Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas e Instituto de Fomento de la Producción de Guatemala. 135 p.

INAB. 2008. Inventario de plantaciones forestales en Guatemala. Consultado en www.inab.gob.gt, en Octubre de 2009

Jones, Jr. E. P. Precommercial thinning of naturally seeded shalash pine increases volumen and monetary returns. USDA, For. Sci. Res. Se., 164:1-10, 1977.

Murrero, José. 1965. Survival and growth of bagged and barerooted Honduras pine, cadam, and primavera. Research Note ITF-3. Río Piedras, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 4 p.

Melo, V. F. Relacao entre a reserva mineral dos solos e a producao de nutrientes em povoamentos puros de E. Saligna no Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Viçosa. 1994, 195 p.

Murphy, J. & Riley, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Analytical Chemical Acta, Amsterdam, v.27, n.1, p 31-36, january. 1962.



Nelson, Robert E.; Schubert, Thomas H. 1976. Adaptability of selected tree species planted in Hawaii forests. Resour. Bull. PSW-14. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 22 p.

Wadsworth, FH. 1997. Forest production in tropical America. USDA Agricultural Handbook 710. Washington, D.C. 563 p.

Wang, D; Bormann, FH; Lugo, AE; Bowden, RE. 1991. Comparison of nutrient-use efficiency and biomass production in five tropical tree taxa. Forest Ecology and Management 46:1-21.

Yeomans J.C. & Bemner J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in soil science and plant analysis, Monticello, v.19, n13, p. 1467-1476, October. 1988.

Revista **litografía** se terminó de imprimir en el mes de noviembre del 2009, en los talleres de Litografías Modernas, con una tirada de 500 ejemplares en papel bond beige de 80 gramos.



tikalía



Aportes Científico-Tecnológicos en Sistemas de Producción
Agrícola y Recursos Naturales Renovables

CONTENIDO

7 Estimación de Biomasa y Contenido de Carbono en Plantaciones de *Eucalyptus Camaldulensis*, en el municipio de Sigüinalá, departamento de Escuintla, Guatemala

Marisa Montepeque, Eddi Alejandro Vanegas Chacón

19 Calidad del sitio forestal

Eddi Alejandro Vanegas Chacón, Boris Méndez Paiz

43 Componentes del ciclo biogeoquímico en plantaciones de palo blanco (*Roseodendron Donnell-Smith*) en Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala

Eddi Alejandro Vanegas Chacón

57 Evaluación del Comportamiento y los Efectos de las Quemas Prescritas en dos Rodales de Bosque Natural de *pinus oocarpa schiede* en la Finca Lagunita, Jalapa

Gabriela A. Ortiz de la Cruz, Boris Méndez Paiz, Pedro Peláez

81 Evaluación nutricional de plantaciones de palo blanco (*Roseodendron Donnell-Smith*) en Finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez, Guatemala

Eddi Alejandro Vanegas Chacón