



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
SUELOS



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE

EVALUACIÓN NUTRIMENTAL DEL *Eucalyptus spp.* PRODUCIDO EN
SUELOS ÁCIDOS CON MANEJO SILVOPASTORIL

T E S I S

Requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Presenta:

KELLYS NALLITH SALCEDO HURTADO

CHAPINGO, EDO. DE MÉXICO

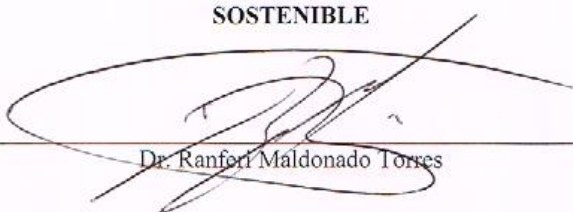
MAYO, 2013

**EVALUACIÓN NUTRIMENTAL DEL *Eucalyptus* spp. PRODUCIDO EN
SUELOS ÁCIDOS CON MANEJO SILVOPASTORIL**

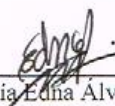
Tesis realizada por: **KELLYS NALLITH SALCEDO HURTADO** bajo la supervisión
del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial
para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

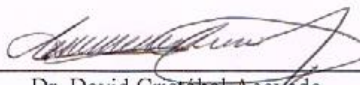
Director:


Dr. Ranfor Maldonado Torres

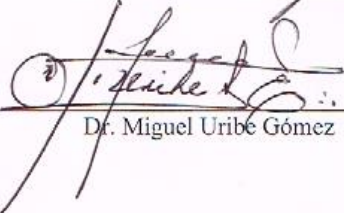
Codirectora:


Dra. María Edna Álvarez Sánchez

Asesor:


Dr. David Cristóbal Acevedo

Asesor:


Dr. Miguel Uribe Gómez

DEDICATORIA

Cada vez que doy un paso hacia adelante y volteo de vez en cuando hacia atrás puedo recordar que el camino recorrido ha sido largo y que no es posible haber llegado hasta donde estoy si no hubiese contado con tantas personas a mi lado con las cuales compartí buenos y malos momentos, ya sea porque me apreciaron o simplemente porque nunca pude caerles ni les caeré porque así es la vida....

Chapingo me enseñó tanto y cambio mi vida de forma inimaginable, jamás olvidaré mi paso por esta estación, porque cada persona conocida, cada conocimiento adquirido, cada lagrima derramada, cada risa y cada sensación experimentada hace parte de mi anuario de vida, el cual me va haciendo fuerte y me acerca un poco más a la gran meta que me he trazado.

A mis hijos, mi familia, amigos, maestros y compañeros, estudiantes que siempre estuvieron en mi vida y estarán muchas gracias porque no solamente necesito de los buenos deseos, también requiero de las dificultades y de malos pensamientos para levantarme y ser mejor en todos los aspectos. A mis difuntos que me acompañan desde el cielo y a los cuales no vi partir en esta travesía gracias, porque desde donde Dios lo tenga estarán cuidándome y mandándome la mejor energía....

Gracias, gracias Chapingo por estos dos años y Gracias México por todo lo que me diste en casi 5 años, no alcance todo lo que me propuse al llegar pero sí me llevo lo más importante vivencias, conocimiento, amigos y mucho más.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) por darme la oportunidad de cursar mis estudios de Maestría en su honorable casa de estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios de Maestría.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres y a la Dra. María Edna Álvarez Sánchez excelentes investigadores; por ser mis mentores, quienes me dieron la gran oportunidad de desarrollarme profesionalmente y brindarme incondicionalmente sus amplios conocimientos y confianza durante todo el proceso de investigación y elaboración de este documento.

Al Dr. David Cristóbal Acevedo y al Dr. Miguel Uribe Gómez por los aportes, revisión y comentarios al manuscrito.

Al Dr. Raúl Pérez Agámez por toda la asesoría, explicación, ayuda y aportes recibidos en todos los temas estadísticos.

Al Dr. Hugo Ramírez Maldonado por todo el apoyo técnico, ayuda y observaciones con el documento.

A cada uno de mis profesores de la maestría por darme la oportunidad de crecer en el ámbito agroforestal, del cual aunque llegué no sabiendo nada, hoy puedo decir que me inicié en un camino nuevo que me traerá otro horizonte para recorrer en mi vida profesional.

A la bióloga Angélica Marín Campos del laboratorio de Química de Suelos por la amistad, ayuda, asesoría y paciencia en el trabajo del análisis de muestras de suelo y tejido vegetal.

Al Ingeniero Forestal Ramón Hernández por su colaboración en el diseño de los puntos de ubicación de las áreas de muestreo.

A mi amiga y compañera irremplazable Gissela Fajardo quien me acompañó, apoyó y ayudó en cada una de las etapas de esta maestría.

DATOS BIOGRÁFICOS

Kellys Nallith Salcedo Hurtado nació el 9 de febrero, en el municipio de Bosconia departamento del Cesar. Estudio su bachillerato en la Normal de Señoritas de envigado en el año de 1997. Ingeniera Ambiental de la Universidad de Medellín, Colombia en el 2007. Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sustentable en la Universidad Autónoma Chapingo en el año 2013.

Laboró como auxiliar de investigación en la Universidad de Medellín en el año 2005 en el proyecto Régimen de la Responsabilidad Jurídica en la Gestión de los Residuos Peligrosos en Colombia, Facultad de Ingeniería Ambiental y facultad de Derecho Universidad de Medellín. En el 2006 participó en el proyecto Evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular en la ciudad de Medellín a cargo de la Universidad de Medellín y la Universidad de Antioquia. Realizó su práctica profesional en el sector de residuos sólidos en la empresa Materiales y Recuperación de Excedentes Industriales MAREXI Ltda. donde más tarde se desempeñó como coordinadora ambiental entre el 2006 y 2007. Del 2007 al 2008 se vinculó como Coordinadora Ambiental para la empresa Residuos Ecoeficiencia S.A.

En el 2011 colaboró como auxiliar de investigación con el Dr. Dante Arturo Trejos en la recolección de información de especies forestales de origen mexicano.

EVALUACIÓN NUTRIMENTAL DEL *Eucalyptus* spp. PRODUCIDO EN SUELOS ÁCIDOS

NUTRITIONAL EVALUATION OF EUCALYPTUS SP. PRODUCED IN ACID SOILS

Kellys Salcedo-Hurtado ¹; Ranferi Maldonado-Torres ²; María Edna Alvarez ³

RESUMEN

En México existen 25,000 hectáreas de plantaciones comerciales de eucalipto y su número se incrementa cada año. Las Choapas, Veracruz es una zona con amplia vocación forestal, debido a su alta precipitación, facilidad de comunicación y transporte para la extracción de madera de eucalipto. Sin embargo, es escasa la información sobre el manejo nutrimental, de los factores que regulan el crecimiento y las condiciones edáficas en las que desarrolla dicha especie, lo que dificulta la transferencia de tecnología para lograr el máximo rendimiento. En la presente investigación se evaluó el estado nutrimental del suelo y de la planta en plantaciones de eucalipto de diferente edad establecidas en suelos ácidos de Veracruz para proponer prácticas de manejo y nutrición más eficientes. El estado nutrimental del suelo se valoró a partir de los estándares propuestos en la norma mexicana NOM 021/00 y Ankerman, el diagnóstico foliar mediante la estimación de los índices de balance DRIS y Kenworthy. Los resultados mostraron que los suelos son fuertemente ácidos ($\text{pH} < 5.7$), con alto contenido de materia orgánica ($>7.8\%$). El 100 % de los sitios presentó deficiencias nutrimentales, en un nivel de categoría muy bajo, en P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu. En consecuencia, se precisa mejorar las condiciones de crecimiento de las plantaciones mediante la adición de fertilizantes.

Los resultados del diagnóstico nutrimental con base en el análisis foliar y conforme a los índices de balance Kenworthy, señalaron que dependiendo del sitio y de la edad de la plantación, el 100 % de éstas, muestran niveles de insuficiencia en K, y Fe; y, en más de 60% de los sitios en Mn, N y P. Estos resultados de concentración foliar fueron congruentes con la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para N, P, K y Mn. La aplicación de los índices de balance DRIS, señaló que el 100% de las plantaciones están deficientes en N, K y Fe; más del 70% en P y, 50% o más en Mn y B.

Si bien la aplicación de ambas metodologías arroja diferencias en el orden de requerimiento nutricional, el uso de ambos índices proporciona una evaluación más sensible del estado nutricional de las plantaciones de eucalipto. Se recomienda la adopción de prácticas silviculturales, la fertilización acorde a lo que estipula las cartas de balance.

ABSTRACT

In Mexico there are 25,000 hectares of commercial plantations of eucalyptus and their number is increasing every year. Las Choapas, Veracruz is an area apt for forestry because of its high rainfall and transport and communication facilities for extraction of eucalyptus wood. However, there is little information on the nutritional management of the factors that regulate growth or on soil conditions in which the species develops, which makes the transfer of technology difficult in achieving maximum performance. In the present study we evaluated the soil and plant nutrient status in eucalyptus plantations of different ages established in Veracruz in acid soils to propose more efficient management and nutrition practices. The soil nutrient status was assessed with the standards proposed in the standard NOM 021/00 and by Ankerman; foliar diagnosis was estimated with DRIS and Kenworthy balance indices. The results showed that the soil has a strongly acidic pH (value) with high content of organic matter of cation exchange capacity and low to very low mean density. Nutrient levels are in the following order of deficiency: $\text{K} > \text{P} > \text{N} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{B} > \text{Fe}$ Concentrations determined in plant tissue were below normal to deficient K, P, N, Mn and Fe. The elements B, Mg and S were absorbed by the trees at a normal level, while Zn, Cu and Ca were found at normal to high levels. There was general agreement on the levels of nutrient deficiency in soil values with those determined in the tissue of the eucalyptus trees. The differences were observed in the order of requirement but not the characteristic of the nutrient. We recommend the adoption of silvicultural practices, fertilization according to the stipulations of balance charts and finally liming to correct pH range to improve the efficiency and availability of nutrients in the soil

Palabras claves: *Acidez del suelo, diagnóstico nutrimental, Agroforestería.*

¹ Tesista; ² Director; ³ Codirector

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	12
2	REVISIÓN DE LA LITERATURA	14
2.1	El género <i>Eucalyptus</i> spp.....	14
2.2	Propiedades del suelo y su relación con el crecimiento del eucalipto	15
2.3	Demanda nutrimental de la especie.....	18
2.4	Medición del estado nutricional.....	23
2.4.1	Métodos de diagnóstico foliar	24
2.5	Problemática de los suelos ácidos	28
3	OBJETIVOS	33
3.1	Objetivo general	33
3.2	Objetivos específicos	33
4	MATERIALES Y MÉTODOS	33
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1	Diagnóstico de la fertilidad de los suelos	37
5.2	Diagnostico nutrimental foliar con índices de balance Kenworthy y el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)	42

5.3	Análisis comparativo mediante índice de balance DRIS e índice de balance Kenworthy.....	49
5.4	Discusión estadística de las correlaciones entre las concentraciones y algunas variables químicas del suelo	51
6	CONCLUSIONES.....	58
7	LITERATURA CITADA.....	58
8	ANEXOS	76
8.1	Anexo 1. Resultado análisis tejido vegetal de árboles de eucalipto en diferentes edades.....	76
8.2	Anexo 2. Estándares Kenworthy establecidos para plantaciones jóvenes de eucalipto	77
8.3	Anexo 3. Estándares DRIS	78

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS FOLIARES DE EUCALIPTO DE ACUERDO A DIFERENTES AUTORES.	28
CUADRO 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SITIOS DE MUESTREO.	34
CUADRO 3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS DE LOS PREDIOS MUESTREADOS.	37
CONTINUACIÓN... ..	37
CUADRO 4. PORCENTAJE DE SITIOS CLASIFICADOS POR CATEGORÍAS DE ACUERDO AL NIVEL DE FERTILIDAD.....	39
CUADRO 5. CARTA BALANCE NUTRIMENTAL MEDIANTE ÍNDICES KENWORTHY PARA EL <i>EUCALYPTUS SPP.</i>	42
CUADRO 6. PORCENTAJES DE NUTRIENTES ACORDE AL ORDEN DE REQUERIMIENTO EN TEJIDO VEGETAL.....	43
CUADRO 7. CARTA BALANCE NUTRIMENTAL MEDIANTE ÍNDICES DRIS PARA EL <i>EUCALYPTUS SPP.</i>	45
CUADRO 8. ORDEN DE REQUERIMIENTO NUTRIMENTAL PORCENTUAL DEL TEJIDO VEGETAL DRIS.....	46
CUADRO 9. CORRELACIONES DE LAS VARIABLES EN TEJIDO VEGETAL EN EL EUCALIPTO.....	52

**CUADRO 10. CORRELACIONES ENTRE CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN EL
SUELO Y ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.....55**

**CUADRO 11. CORRELACIONES ENTRE NUTRIENTES DEL TEJIDO VEGETAL Y LOS
DEL SUELO..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

1 INTRODUCCIÓN

En México, se estima que existen 34 mil ha de plantaciones comerciales y alrededor de 590,000 ha no comerciales, de las cuales el 39% es eucalipto (Sosa y Fierros, 2001; SEMARNAP, 2003).

El eucalipto por ser una especie de rápido crecimiento causa traslados importantes de nutrientes del suelo a la biomasa, los cuales desaparecen del sistema con la madera extraída durante la cosecha (Aparicio, 2001). En rotaciones cortas la remoción de elementos nutritivos puede superar los aportes que recibe del suelo, y sin la adición de fertilizantes se disminuye el estatus nutricional del sitio y por consiguiente la producción rentable y sostenible de la madera. La extracción de nutrientes es un problema en términos productivos y de calidad de sitio, que tiene implicaciones directas en el número de extracciones por rotación. La eficiencia de un nutriente es consecuencia de la relación entre la materia seca, el contenido del nutriente en el árbol y la evolución de la especie frente a ambientes distintos (Arruda y Malavolta, 2001).

Los factores ambientales, las características del suelo o del clima y el material genético tienen gran importancia en el crecimiento del árbol, el volumen anual de la corteza y con la disponibilidad o adquisición de los nutrientes por parte del eucalipto (Arruda y Malavolta, 2001; Khouri y Canga, 2008; De Oliveira, 2008). Las deficiencias más comunes en esta especie son N, P y K (Wadt *et al.*, 1999; De Oliveira, 2008) y la media en el orden de requerimiento de nutrientes para plantaciones jóvenes de eucalipto usando DRIS y Kenworthy es N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn y B (De Oliveira, 2008)

El objetivo de esta investigación fue evaluar la extracción nutrimental de plantaciones de eucalipto establecidas en suelos ácidos en el Estado de Tabasco y Veracruz, diagnosticar la fertilidad del suelo mediante análisis químicos y el estado nutrimental de la planta con el objeto de establecer los requerimientos del cultivo.

El desarrollo de esta investigación permitirá incorporar tecnologías dirigidas a incrementar la producción de las plantaciones forestales, mejorar las condiciones del suelo y satisfacer las demandas nutrimentales de la especie en plantaciones de diferente edad de crecimiento.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 El género *Eucalyptus* spp.

Los Eucaliptos junto con los chopos, son actualmente, las especies más productivas en cantidad de madera, que se utilizan en los cultivos forestales en México. Dentro de los eucaliptos hay más de 25 especies diferentes plantadas en todo el país, de las cuales, sólo algunas son para uso industrial (Pérez – Vera *et al.*, 2005). Son árboles perennifolios de la familia de las Mirtáceas y están divididos en secciones, series, subseries, superespecies y subespecies. Las características fenotípicas más importantes son: presentan hojas que pueden ser penivenadas y oblicuas cuya venación forma un ángulo de 45°, la corteza de la mayoría de los miembros del género es decidua, el tallo presenta yemas epicómicas que son las responsables de los rebrotes, en un corte transversal pueden apreciarse los anillos de crecimiento y el duramen y presentan inflorescencias en racimos que junto con los estambres sirven de bases para establecer criterios taxonómicos, la mayoría de estas especies toleran bajas altitudes (FAO, 1981).

Las plantaciones de regiones tropicales se desarrollan mejor en áreas con rangos de precipitación media anual entre 1300 y 2500 mm y una estación seca de 1 a 5 meses en la época más fría del año. Estas pueden llegar a tener un desarrollo regular con precipitaciones medias anuales de hasta 700 mm y un máximo de 4000 mm. La temperatura media óptima anual varía de 24 a 35°C, mientras que la temperatura media óptima del mes más frío es de 10°C, sin bajar de los 5°C y las temperaturas del mes más caliente varían entre 32 a 35°C (FAO, 1956; FAO, 1981; FAO, 2000). Su mejor crecimiento, se da en suelos húmedos y bien drenados con profundidad mayor a un metro, pero puede crecer bien en suelos profundos de 50 a 100 cm. La textura óptima

para el buen desarrollo de las plantaciones es media fina, aunque también puede desarrollarse en texturas más gruesas con crecimientos menores. El pH óptimo debe estar entre 5.5 y 6.5 y no debe ser menor de 5 ni mayor de 7.5 (FAO, 1981; FAO, 2000). Entre los principales factores que pueden determinar el fracaso del eucalipto se mencionan la escasa profundidad del suelo, el exceso de carbonatos o cloruros, la competencia con la vegetación, las heladas y la aridez estacional (FAO, 1956).

En general, el *Eucalyptus spp.* responde bien a diversos tratamientos silviculturales, y son particularmente sensibles en la fase de establecimiento, oportunidad en que se realizan labores de preparación del suelo, control de malezas y fertilización. Estos factores, junto a la calidad de las plantas, son los que más inciden en el establecimiento y la productividad (Cancino *et al.*, 1999). Este género concentra las especies forestales de mayor interés, citando entre las características favorables de las mismas las siguientes: posibilidad de producir un volumen grande de madera en un ciclo corto; capacidad de recuperación ante la acción negativa del fuego, sequía y ramoneo; colonización de suelos pobres, deteriorados por erosión o agricultura irracional y poder de transformación de formaciones vegetales, de escaso valor económico o selvas subtropicales degradadas, en montes productivos de fácil manejo (Golfari, 1985).

2.2 Propiedades del suelo y su relación con el crecimiento del eucalipto

El *Eucalyptus spp.* es una especie que consume importantes cantidades de agua, debido a su alta tasa de evapotranspiración, la cual va a diferir entre especie fluctuando aproximadamente entre 20 a 40 litros $\text{agua}^{-1}\text{dia}^{-1}$ (Gayoso y Iroume; 1995).

Simultáneamente, realiza una captura selectiva de nutrientes desde el suelo, en las concentraciones exigidas por el árbol. La calidad del suelo es un factor importante en la toma de decisiones para su manejo forestal. Éste, determina la especie que crecerá y producirá un mayor volumen de madera, el tiempo de cosecha y la inversión que debe hacer el propietario para obtener un rendimiento económico aceptable del manejo forestal (Hamilton, 1995).

El éxito de éstas plantaciones forestales radican, principalmente, en un eficiente reciclado de nutrientes, determinado en mayor parte por las características de la materia orgánica, su dinámica de mineralización, el pH, la textura y la profundidad efectiva del suelo (Hamilton, 1995; González-Prieto *et al.*, 1996; Morris *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 1998). Las plantaciones de eucalipto se encuentran, normalmente, en zonas de elevada precipitación, sobre suelos de fuerte carácter ácido donde el pH óptimo esta entre 5.5 y 6.5 y no debe ser menor de 5 ni mayor de 7.5 (FAO, 1981; FAO, 2000) y de baja fertilidad, por lo que es frecuente encontrar en ellas deficiencias nutricionales que reducen sus producciones.

El análisis granulométrico representa el dato más valioso para interpretar la génesis y las propiedades de los suelos de una plantación. La textura en el establecimiento de cultivos forestales determina la facilidad de abastecimiento de nutrientes, agua y aire que son fundamentales para el árbol (Schoenholtz *et al.*, 2000). El grado de fertilidad y la estructura del suelo establecen una relación entre la superficie específica y tamaño de partículas. La textura más común de los suelos donde se establecen los eucaliptos es la arenosa.

El pH del suelo en las plantaciones forestales tiene efectos importantes, debido a que está ligado a la productividad (Russell, 1973; Brady, 1984; Rhoades y Binkley, 1996). Un valor bajo en el pH se asocia con una deficiencia de nutrientes o condiciones tóxicas del suelo (Rhoades y Binkley, 1996). El valor de este parámetro disminuye con la edad en las plantaciones de *Eucalyptus tetericornis* en un suelo sódico, por la descomposición de hojarasca en el suelo, los exudados de la raíz y al aumento de la actividad biológica en la capa superficial (Gill y Abrol, 1986; Mishra *et al.*, 2003). Rhoades y Binkley (1996), analizaron la relación del porcentaje de saturación de bases y pH en eucalipto en Hawaiian, y hallaron que la variabilidad total de estos dos parámetros era del 70%. La conexión entre la saturación de bases y el pH se deriva del hecho de que la saturación de base el primero es un índice parcial de la disociación del ácido (Brady, 1984). Por regla general, el pH y el nivel de fertilidad de un suelo determinado aumentan en la misma medida que aumenta el grado de saturación de bases. Esto es consecuencia no solamente del aumento cuantitativo en las bases del suelo, sino también de la facilidad con que las bases son liberadas por el suelo y absorbidas por las plantas (Pritchett, 1991).

La capacidad de intercambio de cationes en los suelos forestales depende en gran medida de las cargas en la materia orgánica las cuales son dependientes del pH. Esto ocurre especialmente en muchos suelos forestales cuya fracción coloidal se compone sobre todo de material orgánico y minerales arcillosos en una proporción 1:1 como consecuencia, la capacidad real de intercambio catiónico de aquellos suelos puede ser mucho menor que la que se mide en el acetato de amonio ajustado a pH neutro (Pritchett, 1991).

Los suelos cultivados con plantaciones de eucalipto, evidencian cambios en sus características físicas y químicas que se asocian a la acción de las raíces, procesos de incorporación de materia orgánica y la interacción órgano-mineral, lo que incrementa el contenido de nitrógeno, fósforo y azufre en el suelo (Vogt *et al.*, 1986; Mishra *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2006). La porosidad, la retención de agua y la capacidad de campo del suelo aumentan con la edad de la plantación, es decir, con el tiempo de la interacción. La densidad aparente, disminuye conforme aumenta la edad de las plantaciones, lo que se explica por el incremento de microorganismos del suelo en la fracción orgánica y la actividad biológica que dan lugar a un mejor balance entre macro y microporos del suelo (Mishra *et al.*, 2003).

La característica que hace que los suelos tropicales sean diferentes de los templados, son los procesos intensos de lavado que conducen a una pérdida intensa de cationes en la zona de intercambio. Además el mayor intemperismo químico en el trópico conduce a la formación de suelos con baja CIC, la cual es usualmente empleada como un índice de fertilidad del suelo (Uehara y Gavin, 1981).

2.3 Demanda nutrimental de la especie

La demanda nutricional de los cultivos perennes, en particular las especies forestales, difiere de la observada en cultivos anuales. En general, las especies forestales exploran un volumen más grande de suelo y la duración de cada fase de crecimiento es más larga. Estos hechos conducen a un menor contenido de nutrientes en el suelo para el crecimiento, aunque la cantidad total al final del ciclo de crecimiento no es tan diferente que la de los cultivos anuales (Pritchett, 1979).

El crecimiento de un bosque, en general, se da en tres fases, las cuales se pueden distinguir (Ford, 1984; Goncalves *et al.*, 1997), y están estrechamente relacionadas con la demanda de nutrientes (Miller, 1995). Al principio, el crecimiento es relativamente lento, y se caracteriza por la formación del aparato fotosintético para la captura de la radiación y por la formación de sistema de raíces, para absorber el agua y los nutrientes. En esta fase, la demanda nutricional es pequeña. Por lo tanto, el contenido de nutrientes en el suelo, excepto en los que tienen más baja la movilidad, tales como fósforo, pueden ser bajo. La segunda fase se caracteriza por un rápido crecimiento, cuando la captura de los recursos por parte de la planta se maximiza. Es en esta etapa cuando la disponibilidad de los nutrientes del suelo, especialmente aquellos con mayor movilidad, debe estar elevado de modo que el rendimiento máximo sea alcanzado. La tercera etapa, es donde el crecimiento tiende a estabilizarse, con una demanda baja en nutrientes. La duración de cada una de estas tres fases depende de la tasa de crecimiento de los árboles. Especies de crecimiento más lento imponen menor presión de la demanda sobre los nutrientes del suelo que las especies de crecimiento rápido.

Según Goncalves *et al.* (1997), la primera etapa de crecimiento del eucalipto en Brasil ocurrió hasta aproximadamente tres meses después de la plantación y el segundo, después de tres a cuatro años. Así, cuando el suelo tiene una fertilidad muy baja, el suministro de nutrientes debe llevarse a cabo durante las dos primeras fases, el momento y la cantidad de fertilizante es variable, porque dependerá de la dinámica de nutrientes en el suelo (Barros *et al.*, 2004). En la tercera fase, las copas de los árboles se desarrollan completamente y el reciclaje de nutrientes, que comenzó en la segunda fase de establecimiento empieza a suministrar lo que el árbol necesita, por lo que es poco

probable que no se evidencie una respuesta a la fertilización. La acumulación de residuos en Camada alcanza el máximo y la demanda de nutrientes de los árboles es, en gran parte, servida por los nutrientes proporcionados por la mineralización de la materia orgánica y la removilización interna de nutrientes (ciclo bioquímico) (Goncalves *et al.*, 1997). El manejo nutricional debe continuar durante toda la rotación. En este contexto, las bases de la silvicultura exige la integración de materiales mejorados con técnicas de establecimiento (podas, raleos y uso de residuos), que permitan conservar o mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo (Herbert y Robertson, 1991; Aparicio, 2001).

El mayor aporte del ciclo bioquímico del *Eucalyptus spp.* es la transferencia de elementos nutritivos durante la transformación de la corteza, y de la albura en duramen (Silva *et al.*, 1998). En estos procesos, a diferencia de lo que ocurre en las hojas, se produce un movimiento radial de elementos nutritivos poco móviles, como el calcio, hacia los tejidos de crecimiento. Asimismo, durante la formación de duramen los *Eucalyptus spp.* son especialmente eficientes en la transferencia de fósforo (Grove *et al.*, 1996) y en la corteza se concentra más calcio que en otras especies. Estas variaciones evidencian la necesidad de cuantificar la proporción albura-duramen en las evaluaciones.

Las altas tasas de crecimiento de los eucaliptos se observan generalmente en las regiones donde los regímenes de temperatura y precipitación favorecen el crecimiento, desarrollo del dosel y captura de gran cantidad de energía solar. Bajo estas condiciones, la demanda de nutrientes es alta y la relación entre la biomasa y la cantidad de nutrientes contenidos es estrecha, en promedio el eucalipto tiene una tasa de crecimiento anual de 1.4m hasta los 6 años (Santana, 2000; Stape, 2002).

Stape (2002) informó que la producción de eucalipto en la costa norte de Bahía en Brasil, osciló entre 9 y 39 t ha⁻¹ año de acuerdo a la precipitación. Para la región de Aracruz, Neves (2000) encontró que la acumulación promedio fue de 320 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 25 de fósforo, 182 de potasio, 863 de calcio, 78 magnesio, 21 azufre, 634 g ha⁻¹ de boro, 9843 hierro, 1645 zinc, 2810 magnesio, 229 de cobre y 75 kg ha⁻¹ sodio, con un rendimiento medio de 372 m³ ha⁻¹ para árboles de ocho años. Para las principales regiones de Brasil donde se cultiva eucalipto, los datos de Santana (2000) indicaron que la demanda de nutrientes está en un intervalo de 288 a 642 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 23 a 49 de fósforo, 146-403 de potasio, 185-1076 de calcio y 39 a 154 de magnesio, para una gama de producción de 98-290 t ha⁻¹, para los cultivos con 8.5 años.

En una experiencia realizada por Frederick *et al.* (1986) en Nueva Zelandia, se estimó la acumulación de los principales elementos nutritivos en los componentes de la biomasa de *E. nitens* de 5 años de edad, con un ritmo de crecimiento de 30 t ha⁻¹. Durante los diez meses analizados la plantación acumuló casi 200 kg de calcio, 60 kg de nitrógeno y de potasio, 12 kg de magnesio y 7,5 kg de fósforo. Un tercio del nitrógeno se almacenó en el follaje (productor de fotosíntesis) y un 20% en la madera; un 60% del potasio se almacenó en la madera y un 20% en la corteza; a su vez el calcio se acumuló principalmente en la corteza y las ramas con el 36% y el 33% respectivamente, por su parte el magnesio y el fósforo se distribuyeron en forma más uniforme entre los componentes de la biomasa. La madera acumuló cantidades importantes de nitrógeno y principalmente de potasio. Contrariamente, la cantidad de calcio almacenada fue mínima. Sin embargo, la acumulación de elementos nutritivos en las hojas, ramas y corteza, señala que gran parte vuelve al suelo a través de la hojarasca.

En cuanto a la producción estacional de hojarasca durante el año. En el verano se produjo la máxima caída de hojas (90% del total de la hojarasca) con una disminución gradual hasta ser mínima al final del invierno. A su vez, las hojas caídas representaron el 77% del peso medio del follaje de la plantación, indicando un promedio de vida de las hojas entre 1 y 2 años (Frederick *et al.*, 1986). Por otra parte, el desprendimiento de ramas fue similar en todas las estaciones del año, excepto a fines de la primavera que concentró un cuarto de la caída total de ramas, no obstante la mayoría de las ramas secas permanecieron adheridas a los árboles sin formar parte de la hojarasca. En general la cantidad de elementos nutritivos acumulados en el mantillo fue dos a cuatro veces superiores al aporte anual de la hojarasca. A excepción del potasio, donde las pérdidas por lixiviación hacen que la cantidad acumulada en el mantillo se asimile al aporte anual de la hojarasca (Frederick *et al.*, 1986)

Por otro lado, al comparar la cantidad de elementos nutritivos absorbidos por la biomasa durante la estación de crecimiento con la cantidad de bioelementos del mantillo, se detectó que el nitrógeno acumulado en el mantillo duplicó la cantidad de nitrógeno anual almacenada por la biomasa de la plantación, a su vez las cantidades de fósforo, calcio y magnesio fueron similares entre biomasa y mantillo, con contenidos levemente inferiores de calcio y magnesio en el mantillo. Sin embargo, la acumulación de potasio en la biomasa durante la estación de crecimiento fue cinco veces superior al potasio presente en el mantillo, caracterizando a *E. nitens* como una especie con aparentes demandas importantes de potasio para su crecimiento. No obstante, los resultados sólo marcan una tendencia, considerando que corresponden a un solo sitio y al período de una sola estación de crecimiento.

Respecto a la concentración foliar de elementos nutritivos, evaluaciones realizadas por Judd *et al.* (1996) en 26 plantaciones de *E. nitens* establecidos en diferentes de sitios del norte de Tasmania y del este de Victoria permitieron determinar que la tasa nitrógeno: fósforo que mejor se relacionó con el crecimiento en diámetro se situó próxima a 15. Así mismo, Turnbull *et al.*, (1994) determinaron en Tasmania importantes deformaciones en el fuste y en las ramas de plantas de *E. nitens* de 21 meses de edad, cuando la concentración foliar de cobre fue inferior a $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$. El grado de malformación de las plantas se incrementó significativamente cuando aumentaron los niveles de fertilización de nitrógeno y de fósforo. Las deformaciones redujeron seriamente el valor comercial de la madera, inclusive para destino de las industrias de triturado.

2.4 Medición del estado nutricional

Para verificar que el estado nutrimental de un cultivo sea el ideal en cada momento de su ciclo de desarrollo, se cuenta con herramientas químico analíticas que sirven para medir concentraciones nutrimentales en los tejidos vegetales y del suelo. Las herramientas de diagnóstico que requieren de laboratorio se refieren a lo análisis químicos del suelo, solución de suelo, tejido vegetal, savia y agua de riego (Reuter y Robinson, 1986; Westerman, 1990).

El análisis del suelo proporciona información sobre las características fisicoquímicas que inciden en la disponibilidad de nutrientes asimilables por la planta y el comportamiento de los fertilizantes. Las condiciones físicas del suelo, especialmente la textura, aportan información importante sobre aspectos relacionados con la movilidad del agua y la dinámica de los elementos fertilizantes. El análisis químico indica la

riqueza en nutrientes del suelo y ofrece una aproximación sobre aquellos elementos que se encuentran en forma asimilable por la planta. En su conjunto, el análisis de suelo orienta sobre aquellas características que son desfavorables o limitantes para el cultivo y que es necesario corregir. En conjunto los análisis de suelo con los análisis foliares permiten el diagnóstico del estado nutricional de un cultivo en un momento determinado.

2.4.1 Métodos de diagnóstico foliar

Ulrich (1948) define el análisis foliar como una herramienta importante para detectar problemas nutricionales en la planta. El tejido vegetal complementario al análisis de suelos, refleja el flujo de nutrientes en el sistema y ayuda a definir las acciones correctivas que tiendan a elevar y el mantener la productividad forestal. El diagnóstico foliar debe seguir procedimientos normalizados para que pueda ser utilizado. Debe existir una relación directa entre el suministro de nutrientes y el crecimiento de la producción. Un suelo fertilizado debe permitir un mayor crecimiento, dado que existe un aumento en el suministro de nutrientes, por lo que el contenido en hoja debe aumentar y, en consecuencia, la producción (Malavolta *et al.*, 1997). Aunque otros órganos pueden ser utilizados para el análisis, se hace uso preferiblemente, de las hojas, ya que se consideran el centro de la actividad fisiológica de la planta, haciéndolas más adecuados para el diagnóstico de deficiencia o exceso de nutrientes en el suelo (Evenhuis y Waard, 1980; Bhargava y Chadha, 1988; Malavolta, 2006).

Varios procedimientos han sido empleados para interpretar los resultados de los análisis de las hojas, ellos son: niveles críticos principales, porcentaje de desviación estúpida

(DPO), Kenworthy e índices sistema equilibrado e integrado de diagnóstico y Recomendación (DRIS) (Cantarutti *et al.*, 2007).

Aunque el nivel crítico de un nutriente de uso común, se ve influido no solamente por la disponibilidad del nutrientes en el suelo sino también por factores tales como el genotipo, el clima, las prácticas culturales, control de plagas y enfermedades, el tiempo de muestreo y la disponibilidad de otros nutrientes (Bates, 1971; Malavolta *et al.*, 1997), Baldock y Schulte (1996) cuestionan la forma como se define cuál es el nutriente más limitante cuando se tiene más de un nutriente pobre, y si el diagnóstico es agudo o no. Otra cuestión planteada por Jarrel y Beverly (1981) es la capacidad de los nutrientes para estar sujeto a los efectos de dilución o concentración, causada por variaciones más o menos proporcionales a la cantidad de materia seca producida en respuesta a la oferta de estos nutrientes.

El índices Kenworthy equilibrado, propuesto por Kenworthy (1961), evalúa el estado nutricional mediante el porcentaje de desviación a partir del contenido dado contra el del nutrientes en la norma. La obtención de estos índices se considera variabilidades expresadas por los valores de los coeficientes de variación para cada uno de los nutrientes en la población de la que se obtuvo la norma. Puesto que el contenido de un determinado nutriente en la muestra es más pequeño que su contenido en la norma, la influencia de la variabilidad se añade, cuando éste contenido es superior al nivel de la norma, la influencia se resta, la obtención, es balanceada (Kenworthy, 1961).

El DRIS se ha utilizado de forma alternativa y adicional al nivel crítico para evaluar los nutrientes de las plantas y se basa en la relación entre dos nutrientes, lo que es, un mejor

indicador del equilibrio nutricional de los nutrimentos (Beaufils, 1973; Jones, 1981). El uso de las relaciones entre nutrientes minimiza el efecto de la concentración y de la dilución, y aumenta la consistencia de Interpretación del análisis del tejido con un enfoque univariado (el nivel crítico) (Holland, 1966).

Los índices DRIS se calculan para expresar el equilibrio relativo de un nutriente en la planta, a partir de una comparación de las relaciones duales (N / P , P / K y K / Ca , etc) en la muestra con valores predeterminados o provenientes de normas. Estos estándares son el promedio de valores aritméticos de las relaciones duales y sus respectivas desviaciones estándares, obtenidas a partir de una población de plantas idealmente en condiciones apropiadas o deseables, llamada población de referencia (Álvarez y Leche, 1999). Jones (1981) sugiere que la selección de la plantas, para componer la población referencia, de toda la base de datos disponibles, se debe seleccionar de aquellas plantas que preserven los atributos deseables, por ejemplo, mejor productividad. El uso de DRIS depende inicialmente del establecimiento de valores estándares calculados para todas las proporciones de nutrientes, utilizando, para ello una población de referencia de alta productividad. El índice DRIS informa el orden de limitación de nutrientes, no sólo deficiencias (índice negativo), sino también excesos (Índices positivos). Cuanto más cerca de la relación acero, mejor es la nutrición de la Planta. La constancia relativa de las relaciones duales entre nutrientes, en comparación con su contenido sólo, es la premisa para la aplicación de DRIS (Beaufils, 1973). La premisa ha sido destacada por la proposición que las normas DRIS se pueden obtener y emplearse con independencia del área o cultivar (Sumner, 1979; Payne *et al.*, 1990). Sin embargo, se han encontrado diferencias entre las normas generadas a partir de poblaciones de diferentes lugares y

requisitos definidos a partir de una base de datos grandes, integrados por diferentes regiones, condiciones meteorológicas y la edad de la planta. Por lo tanto, para obtener una mayor precisión del diagnóstico se debe utilizar estándares nutricionales específicos, obtenidos a partir de la particularización de la población de referencia en relación con el uso de normas (Bataglia y Santos, 1990; Jones, 1993; Costa, 1999; Silva, 2001; Reis 2002; Reis y Monnerat, 2002; Kurihara, 2004, Silva *et al.*, 2005; Silva, 2006).

Bataglia y Santos (1990), evaluaron el efecto de la población de referencia en los Índices DRIS, donde concluyeron que la obtención de los índices adecuados para la interpretación DRIS depende de la elección de una población de referencia de alta productividad. Los datos obtenidos por estos autores, cuando evaluaron una población de caucho en crecimiento y en producción (edad adulta), mostraron gran influencia en los valores de los índices, lo que lleva a recomendar la individualización de la población referencia y no usar normas universales.

Kurihara (2004), evaluó cultivos de soya en los estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul y Goiás, encontrando que el diagnóstico del estado nutricional de N, P y S en suelos arcillosos cuando se usa DRIS está influenciado por la adopción de normas específicas de diferente textura o el factor de capacidad de amortiguamiento de la parcela muestreada. Wadt (1996), para evaluar las plantaciones de eucaliptos usando DRIS, menciona la posibilidad de identificar las diferencias en el estado nutricional de los árboles que crecen en condiciones diferentes, que provienen de diferentes materiales genéticos o se encuentran en bosques en diferentes etapas de crecimiento, a través de normas DRIS. Silva (2006) hizo hincapié en la importancia de la utilización del diagnóstico nutricional de eucaliptos jóvenes para evaluar la eficacia de los fertilizantes

ya realizados y guiar la necesidad de usar fertilizantes complementarios. De acuerdo con los resultados encontrados por Silva *et al.*, (2005), la edad y la ubicación influyen en los valores y normas de diagnóstico del estado nutricional en las plantaciones de eucalipto.

En el Cuadro 1. Se indican algunos valores de referencia de análisis foliares provenientes de diferentes autores, los cuales señalan que la edad, el material genético y otros factores influyen en los rangos de concentración de los elementos nutritivos, tal como fue planteado en párrafos anteriores.

Cuadro 1. Interpretación de análisis foliares de Eucalipto de acuerdo a diferentes autores.

Elemento	Boardman <i>et al.</i> , 1985 ^(†)	Dell 1996 ^(†)	Goncalves 1995 ^(¶)	Silveira <i>et al.</i> , 1999 ₍₁₎	Malavolta 1987 ^(¶)	Boardman <i>et al.</i> , 1985 _(¶)	Silveira <i>et al.</i> , 1999 ^(¶)
	----- Rangos adecuados-----			--- Rangos Deficientes ----			
	-----g kg ⁻¹ -----						
N	16 - 29	18 - 34	13.5 - 18	22 - 57	8 - 13	< 15	< 1.6
P	1 - 3	1 - 2.2	0.9 - 1.3	1.7 - 2.2	0.4 - 6.8	< 0.7	< 1.1
K	6 - 18	9 - 18	9 - 13	8.5 - 9	6 - 8	< 5	< 7
Ca	2 - 4	3 - 6	6 - 10	7.1 - 11	2 - 4	< 1	< 5.5
Mg	1 - 3	1.1 - 2.1	3.5 - 5	2.5 - 2.8	1.5 - 2	< 0.6	< 2.1
S	1.5 - 2	1.5 - 2.3	1.5 - 2	1.8 - 2.1	0.8 - 1.2	< 1	< 1.3
	-----mg kg ⁻¹ -----						
B	15 - 100	15 - 27	30 - 50	30 - 50	34 - 44	< 8	< 21
Cu	4 - 12	2 - 7.4	7 - 10	7 - 10	6 - 7	< 2	< 4
Fe	50 -156	63 - 128	150 -200	150 -200	65 - 125		
Mn	190 - 700	193 - 547	400 - 600	400 - 600	200 -840		
Zn	15 - 46	17 - 42	35 -50	35 -50	15 - 20	< 7	< 7

(†): *E. grandis* estado adulto (¶): *Eucalypto* sp.

2.5 Problemática de los suelos ácidos

La reacción del suelo está muy relacionada con la disponibilidad de los elementos nutritivos y constituye una de las características químicas más, importantes para conocer

y entender la condición de fertilidad del mismo. La reacción ácida influye negativamente en el desarrollo de los cultivos, puesto que trae consigo una serie de efectos entre los que se encuentran: toxicidad por aluminio; deficiencia de magnesio, calcio y molibdeno; toxicidad de ciertos microelementos y disminución de la actividad de los microorganismos del suelo (CIA, 1969).

La acidificación de los suelos se presenta en áreas donde las condiciones favorecen el lavado de los mismos, produciendo remoción de bases, agravado por el uso de fertilizantes como el sulfato de amonio y otros amoniacales que generan un efecto residual ácido y por la actividad vegetal (Kamprath, 1970).

El aluminio es el principal componente de la acidez intercambiable que afecta el desarrollo de las plantas. En los suelos minerales ácidos, existe muy poco hidrógeno intercambiable y solamente en suelos ácidos con un alto contenido de materia orgánica se encuentra algo de él (Estrada, 2004). Los problemas de la acidez del suelo están asociados con niveles de pH menores de 5,5 y la presencia de aluminio intercambiable (Castillo, 1999).

Altos niveles de aluminio intercambiable en el suelo afectan la absorción y removilización de calcio en la planta, causa mal desarrollo de las raíces, reduce la absorción de agua y nutrientes, disminuye el crecimiento de la parte aérea (Clark and Nichol, 1966); reduce el aprovechamiento del fósforo tanto del suelo como de los fertilizantes añadidos, debido a que las altas concentraciones de aluminio en la raíz precipitan el P en la superficie o dentro de ella. El exceso de aluminio induce también deficiencia de hierro, inhibición en la absorción de otros nutrimentos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} ,

NH_4^+ , NO_3^- y PO_4^{3-} a través de las puntas de las raíces. Con raíces más pequeñas, la superficie de contacto con el suelo y la solución del mismo conduce a baja adquisición de nutrientes (Alcántar y Téllez, 2009).

La fitotoxicidad por aluminio en los suelos ácidos puede ser controlada a través del encalado, aunque ello no es factible en algunas regiones tropicales por el costo que representa, por algunos efectos de degradación de corto término y la aparición de deficiencias en microelementos (Wong *et al.*, 1995; Castillo, 1999).

Algunas especies de eucalipto son tolerantes a la contaminación por aluminio, lo que permite que puedan beneficiarse ante la presencia de este elemento (Vale *et al.*, 1984). La capacidad de hacer frente a la alta concentración de aluminio, permite a los eucaliptos prosperar en los suelos ácidos con poca o ninguna respuesta al encalado (Vale *et al.*, 1984; Barros y Nováis, 1996; Silva *et al.*, 2004). Pese a los esfuerzos por aclarar los posibles mecanismos de tolerancia de toxicidad al aluminio de los eucaliptos, su base fisiológica sigue siendo difícil de entender. La alta tolerancia no se encuentra relacionada con la capacidad de intercambio catiónico de las raíces (Vale *et al.*, 1984; Silva *et al.*, 2004) ni tampoco las raíces pueden provocar cambios en la solución del suelo del pH, que hiciera disminuir la toxicidad del aluminio (Neves *et al.*, 1982; Vale *et al.*, 1984., Silva *et al.*, 2004). Silva *et al.* (2004), encontraron que en los clones de eucaliptos resultaron tolerantes al aluminio, y en función de respuesta de crecimiento de raíces, el *E. grandis* y *E. cloeziana*, fueron más sensibles a la toxicidad de aluminio y *E. globulus* y *E. urophylla* menos sensibles. Por otra parte, la explotación y rotaciones cortas de eucaliptos, conlleva a una reducción de calcio intercambiable (Ca) y magnesio

(Mg), incrementando el aluminio intercambiable en el suelo (Leite, 2001; Silva *et al.*, 2004).

El pH influye en el suelo o sustrato en varios aspectos, sin embargo uno de los más importantes es la capacidad de permitir extraer por las raíces nutrientes en mayor o menor cantidad (fósforo, potasio, hierro, cobre, boro... hasta 13) que hay en un suelo. El pH influye en la solubilidad del fósforo y molibdeno. Cuando se tienen valores extremos de pH puede provocar síntomas de deficiencia o reducir la floración, el rendimiento y desarrollo del cultivo.

Conclusiones de la revisión de literatura

Al estudiar la fertilidad y la extracción de los nutrientes a través de los árboles de *Eucalyptus sp.* se puede evidenciar el papel tan importante que juegan las propiedades físicas y químicas de los suelos con la interacción árbol – suelo – agua.

La textura de un suelo afecta en gran medida a su productividad. La permeabilidad del suelo al agua, aire y a la penetración de las raíces dependen de la estructura. La Fertilidad es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de los árboles, estas características no actúan independientemente, si no en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo. Igualmente, la fertilidad no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos.

Queda claro que por estar el eucalipto en suelos ácidos se espera encontrar los siguientes problemas:

Disminución de la disponibilidad de nutrientes (P, Mg, Ca)

Riesgo de encontrar niveles tóxicos de aluminio (Al), manganeso (Mn) y otros metales que en condiciones ácidas pueden llegar a ser muy móviles. El aluminio puede producir un descenso en el crecimiento en longitud de los árboles y lo va a hacer actuando a dos niveles: inhibiendo el crecimiento celular e inhibiendo la división celular. Por su parte, niveles tóxicos de manganeso van a provocar daños en las partes aéreas de las plantas: manchas necróticas en los tallos y manchas rodeadas de un halo de necrosis en las hojas, que además van a aparecer arrugadas.

Agotamiento de la capacidad de amortiguamiento del suelo. Se observará una disminución progresiva de la capacidad de neutralizar ácidos a medida que el pH disminuye.

Disminución del crecimiento de plantas y de los procesos microbiológicos que ocurren en el suelo, especialmente si el pH se encuentra debajo de 4. De esta forma se va a perder aporte de materia orgánica al haber menos biomasa y los procesos de nitrificación que realizan las bacterias estarán desfavorecidos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el estado nutrimental del suelo y de la planta en plantaciones de eucalipto de diferente edad establecidas en suelos ácidos de Veracruz para proponer prácticas de manejo y nutrición más eficientes.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la fertilidad de los suelos cultivados con *Eucalyptus spp.* mediante la determinación de características químicas y físicas para definir los correspondientes procedimientos de corrección.
- Diagnosticar el estado nutricional de plantaciones de eucalipto de diferente edad con base en el análisis foliar y mediante la estimación de los índices de balance Kenworthy y DRIS

4 MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en la empresa “**Plantaciones Forestales S.A. de C.V.**”, ubicada en el municipio de Las Choapas, Veracruz, la cual cuenta con 10 mil hectáreas de plantaciones comerciales de eucalipto. En el mes de junio del 2012, fueron seleccionados y geo-referenciados con GPS (Global Positioning System, marca GARMIN modelo 12 XCL), 10 predios con plantaciones de eucalipto de diferentes edades, que abarcaron desde 1.5 hasta 13.9 años de crecimiento (Cuadro 2), de los que se colectaron para colectar muestras de suelo y de tejido vegetal.

Cuadro 2. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

Número de sitio	Identificación del Sitio	Coordenadas		Edad Plantación (años)
1	ID 10003 Carlos Mario Ramos.	N 17° 49' 48.1''	W093° 37' 04.0''	1.0
2	ID 96029 Hermanos Morales Ruiz	N 17° 47' 19.2''	W093° 37' 58.8''	1.5
3	ID 09004 Saúl Aragón Félix	N 17° 50' 07.8''	W093° 55' 0.77''	3.0
4	ID 08005 Loida Orama R	N 17° 46' 07.9''	W093° 48' 05.4''	3.5
5	ID 02003 Manuel Pérez	N 17° 46' 38.3''	W093° 48' 54.1''	3.5
6	ID 980017 Tomás Padrón	N 17° 48' 04.9''	W093° 52' 31.8''	4.0
7	ID 06024 Tomás Candeleró	N 17° 46' 41.3''	W093° 49' 29.7''	5.0
8	ID 96035 Alberto Márquez	N 17° 43' 46.8''	W093° 39' 37.3''	6.6
9	ID 98003 Aristeo Embuiz Santander	N 17° 47' 22.2''	W093° 50' 47.6''	7.0
10	ID 98005 Santiago Wilson	N 17° 44' 23.0''	W093° 45' 54.1''	13.9

En la región de Las Choapas, estado de Veracruz, el clima es cálido-regular con una temperatura promedio de 27° C y una lámina de lluvia promedio de 2900 mm (Silvestre y Torres, 2003; Medina, 2003). Los suelos predominantes, son gleysols y acrisols, donde el primero se caracteriza por tener mal drenaje y por ello se encuentra saturado de humedad en forma casi permanente (INAFED, 2005b), mientras que el segundo es de tipo ácido, rico en aluminio activo y materia orgánica, deficiente en P, Ca, Mg, Zn, B y Mo (Aguirre, 2001; INAFED, 2005a;).

En cada sitio se colectaron 25 submuestras de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm, las cuales se mezclaron para formar una muestra compuesta.

En el laboratorio de Nutrición Vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo, el suelo fue secado, molido y tamizado con un tamiz de acero inoxidable malla 200 micras. Una vez preparado, se le determinó el pH en agua (relación 1:2), materia orgánica (Walkley y Black), nitrógeno inorgánico ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, extraído con KCl 2N), fósforo disponible (Bray-1) y determinado en espectrofotómetro de luz, capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables (con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N pH=7), Fe, Mn, Cu y Zn (extraídos con DTPA); B (extraído con CaCl_2); textura (hidrómetro de Bouyoucos), densidad aparente (probeta) y conductividad eléctrica (pasta de saturación y determinado con puente de conductividad) mediante los procedimientos descritos en la NOM-021-2000 para el análisis de fertilidad de suelos (SEMARNAT, 2002). Los resultados de fertilidad de suelos se agruparon en cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, de acuerdo a los valores límite presentados por autores como Ankerman y Large (1977) y SEMARNAT (2002).

La colecta del tejido vegetal se realizó en cada plantación (Cuadro 2.), para lo cual se seleccionaron hojas recientemente desarrolladas, bien soleadas, fotosintéticamente activas, de la parte media de la planta, de los cuatro puntos cardinales de al menos 20 árboles, sanos y de porte similar. El proceso de limpieza previo al análisis de la muestra consistió en: lavado de las hojas con agua y detergente, Teepol, agua destilada y agua deionizada, secadas con papel absorbente y llevadas a la estufa para su secado una temperatura de 70°C durante 72 horas. Posteriormente, se molieron en un molino de acero inoxidable provisto de una malla 40. Los nutrimentos analizados fueron digeridos

vía húmeda, con una mezcla de ácido sulfúrico, ácido perclórico y peróxido de hidrógeno, concentrados. El nitrógeno total foliar se determinó por el método semimicro-Kjeldahl, el fósforo (complejo amarillo de vanadomolibdato), el potasio por (flamometría). Los micronutrientes así como calcio y magnesio se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica y boro con Azometina-H y por fotolorimetría).

La interpretación de los resultados de los análisis foliares de eucalipto se realizó por la técnica Kenworthy (1961) con los estándares generados para región Sur Bahía Brasil (Anexo 2.) recopilados por De oliveira (2008) y el método DRIS (Beaufils, 1973) con los estándares recopilados por Wadt y Novais (1999) para clones provenientes de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (Anexo 3.) que son los que se encuentran en el área de estudio. Es importante destacar que ambos estándares fueron seleccionados por que la base de trabajo de cada uno de los métodos combino un mosaico de variables que relacionaban tipo de suelo, nivel de fertilidad, los distintos grados de limitación de agua y el material genético con grandes diferencias en el nivel de productividad.

El análisis estadístico de las variables se realizó con el software estadístico R. Se calcularon tres matrices de correlación y se ajustó con modelos de regresión lineal simple, que permitieran analizar la relación lineal entre la concentración de los nutrientes tanto en el suelo como en el tejido vegetal contra variables como la CIC, el pH, la edad de la plantación, la Materia orgánica y el contenido de arcillas. Adicional también se llevaron a cabo pruebas de comparación de medias y análisis de varianza tanto para muestras de suelo como para tejido vegetal.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Diagnóstico de la fertilidad de los suelos

En el Cuadro 3. Se muestran los resultados de pH, materia orgánica, N-inorgánico, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, CIC, Da y textura, realizados a los suelos donde desarrollaron las plantaciones de eucalipto de acuerdo con la edad de desarrollo.

Cuadro 3. Análisis químico de los suelos de los predios muestreados.

Sitio	Edad	pH	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	Años		%	-----mg kg ⁻¹ -----								
1	1.0	5.3	7.8	8.8	2.1	66.2	706.1	158.7	27.7	0.2	0.3	0.9
2	1.5	5.7	8.2	15.8	1.1	35.7	353.3	169.9	28.8	0.2	0.1	1.2
3	3.0	4.8	12.2	15.8	2.2	51.9	77.6	48.0	56.3	0.2	0.3	0.8
4	3.5	4.9	8.7	15.8	1.3	24.1	50.9	17.5	36.7	0.2	0.0	0.5
5	3.5	5.1	8.7	15.8	2.8	40.1	134.2	55.0	53.4	0.4	0.1	2.3
6	4.0	4.8	8.3	19.3	3.1	16.2	50.9	10.1	28.2	0.2	0.1	0.4
7	5.0	5.1	9.9	29.8	1.3	61.3	106.0	48.0	45.4	0.3	0.2	0.9
8	6.6	5.2	12.2	12.3	3.1	21.1	98.8	43.0	20.4	0.3	0.0	0.5
9	7.0	5.0	9.6	19.3	0.7	30.0	51.4	23.0	38.8	0.2	0.0	0.5
10	13.9	5.2	12.2	15.8	0.9	59.3	117.0	42.0	32.1	0.3	0.2	1.6

N=NH₄⁺+NO₃⁻

Continuación...

Sitio	Edad	CE	Da	CIC	Textura		Clasificación	
	(años)	(μS)	(g/cm ³)	me/100 g suelo	Arena %	Limo%	Arcilla %	
1	1	53.30	1.47	8.70	59.48	12.72	27.80	Franco-areno-arcilloso
2	1.5	134.10	1.43	7.95	61.48	24.72	13.80	Franco-areno-arcilloso
3	3	61.10	1.28	10.10	69.48	18.00	12.52	Franco-arenoso
4	3.5	47.20	1.35	7.45	59.48	18.72	21.80	Franco-arenoso
5	3.5	72.10	1.25	12.45	45.48	34.72	19.80	Franco-areno-arcilloso
6	4	38.60	1.43	5.45	71.48	16.72	11.80	Franco-arenoso
7	5	65.80	1.39	9.10	61.48	19.72	18.80	Franco-arenoso
8	6.6	54.70	1.32	6.45	67.48	16.72	15.80	Franco-arenoso
9	7	53.30	1.43	6.70	71.48	14.72	13.80	Franco-arenoso
10	13.9	57.80	1.35	8.80	61.48	24.72	13.80	Franco-arenoso

M.O.= materia orgánica. Da: Densidad aparente

En el Cuadro 4. Se muestran los análisis de suelos interpretados de acuerdo con los intervalos de concentración propuestos por Ankerman (1980), que corresponden a cada categoría de clasificación. Los resultados obtenidos demuestran que el 100% de los sitios muestreados presentaron un valor de pH fuertemente ácido (entre 4.6 y 5.4), propiedad que influye de manera importante en la disponibilidad de algunos nutrientes, especialmente, permite mantener altos niveles de Al activo y bajos niveles de P, K, Ca, Mg y en una incipiente actividad microbiana. Los altos niveles de Al activo, restringen el desarrollo radical, originando escasa exploración y absorción de nutrientes. A nivel celular, afecta la estructura de la membrana celular, síntesis de DNA, mitosis y el metabolismo general de los árboles (Azcón-Bieto y Talon, 2008).

Aunque el eucalipto tolera suelos muy ácidos, niveles de materia orgánica con relaciones C/N elevadas (mineralización lenta) y concentraciones de nutrientes muy bajas, su desarrollo puede verse negativamente afectado (Lugo, 1986). En cuanto a la materia orgánica se encontró en un nivel muy alto en el 100% de los predios, influyendo positivamente en la estructura del suelo, haciéndolo suelto, poroso y con buen drenaje. A pesar de que la materia orgánica contiene importantes cantidades de nutrientes, entre los que sobresale el aporte de N y P, ambos necesitan mineralizarse para ser liberado e incorporado a procesos biológicos de los árboles de eucalipto. Sin embargo, en el estudio el 80% de los predios las concentraciones de N fueron bajas y en 10% muy bajas, mientras que el P, resultó muy bajo en el 100% de los predios, lo que puede afectar negativamente el desarrollo de las plantaciones. Del total mineralizado, se ha determinado que solo se absorben de 30-55 kg de N ha⁻¹año, quedando el 20% en la madera y retornando al suelo el 80% de esta cantidad por la caída de las hojas. Aunque

se ha determinado que los árboles pueden absorber de 4-12 kg/ha/año de P y retornar el 80% de este elemento al suelo, con la caída de las hojas de eucalipto, su deficiencia puede causar un bajo porte de la planta, reducido y lento crecimiento de raíces (Lugo, 1986). Un bajo nivel de P se asocia de manera directa con la acidez del suelo, lo que representa un indicador de baja fertilidad y productividad (McLaughlin, 1996).

Cuadro 4. Porcentaje de sitios clasificados por categorías de acuerdo al nivel de fertilidad.

Variable	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
pH	90	10	0	0	0
MO	0	0	0	0	100
N	10	80	10	0	0
P	100	0	0	0	0
K	100	0	0	0	0
Ca	90	10	0	0	0
Mg	80	20	0	0	0
Fe	0	0	40	40	20
Mn	100	0	0	0	0
Zn	100	0	0	0	0
Cu	100	0	0	0	0
CIC	50	50	0	0	0
Da	0	20	80	0	0

Por su parte, la concentración de K, Ca, Mg, resultaron bajas en el 100, 90 y 80 % de los predios, respectivamente. Estos nutrientes son de gran importancia en el desarrollo de plantaciones de eucalipto. Los árboles pueden absorber entre 6 y 30 kg/ha/año de K, retornando un 50% con las hojas caídas. Mientras que de Ca, el eucalipto puede absorber entre 30 y 100 kg/ha por año, reincorporándose hasta el 75% al caer las hojas (Lugo, 1986). La deficiencia de K tiene efectos negativos en la síntesis de azúcares y resistencia de las plantas contra enfermedades, mientras que el Ca es importante en la estructura de la pared celular e impacta en la resistencia de la madera (Azcón-Bieto y Talon, 2008). Es de observar que se presentaron pequeñas diferencias en plantaciones de 1.0 a 1.5 años debido al proceso de fertilización que se realiza en el vivero antes de llevar la planta al

terreno. Un efecto directo a causa del muy bajo contenido de potasio en el suelo es el ataque de plagas y enfermedades que se evidenció en el campo, el potasio en los cultivos de eucalipto favorecen la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos los cuales actúan como inhibidores de insectos y hongos (Arruda y Malavolta, 2001). El K a la profundidad muestreada de 0-30 cm no se encontró en la concentración suficiente para satisfacer la demanda de la especie de eucalipto durante el ciclo de producción. Las plantaciones jóvenes requieren menor cantidad de K que las de mayor edad y esto es porque este requerimiento está relacionado con la acumulación de biomasa en el árbol a través de la activación de 50 enzimas (sintetasas, oxireductasas, deshidrogenasas, transferasas, quinasas y aldolasas), está involucrado en la síntesis de proteínas, el control osmótico de las células que confiere a la planta resistencia a sequía y heladas (Arruda y Malavolta, 2001).

En suelos ácidos la solubilidad del aluminio aumenta velozmente y puede sustituir al Ca, Mg o K, debilitando las funciones fisiológicas de éstos (Macedo *et al.*, 1996). Este efecto negativo puede ser corregido aplicando carbonato de calcio, el cual disminuye la posible toxicidad producida por la actividad de Al^{3+} , Fe^{3+} y Mn; neutralizando la acidez del suelo y ayudando a incrementar los niveles de P, K, Ca y Mg. A pesar que los suelos ácidos presentan una mayor cantidad de Al, el eucalipto tiene una tolerancia mayor frente a otras especies y una mayor capacidad para captar N y P (Barros y Nováis, 1996).

En cuanto a Mn, Zn y Cu, en el 100% de los predios se encontraron en concentraciones muy bajas, lo que puede impactar la síntesis de proteínas, enzimas, hormonas,

reduciendo el transporte de electrones, lignificación de la madera, resistencia a plagas y enfermedades, y en especial la fotosíntesis (Azcon-Bieto, 2008).

La capacidad de intercambio catiónico resultó muy baja a baja concentración en el 50 y 50%, respectivamente. Esta propiedad se asocia con el contenido de arcillas y materia orgánica, que determinan cantidad de cationes que pueden ser absorbidos o retenidos por un suelo, el nivel de fertilidad y definir la productividad potencial de los suelos (Tisdale y Nelsón, 1991). Esto indicaría que las prácticas de fertilización deberán realizarse con mayor frecuencia, con especial atención a los nutrientes deficientes y a los que pueden perderse por lavado. Durante las épocas lluviosas el proceso de lixiviación toma un carácter importante ya que disminuye la concentración de nitrógeno en las zonas de máximo desarrollo radicular del eucalipto, mientras que el potasio es regulado por el bajo contenido de arcillas como la illita donde el potasio queda fijado en posición interlaminar (Khoury y Canga, 2008).

La evaluación de la fertilidad de los suelos cultivados con *Eucalyptus spp.*, muestra que, con excepción del Fe, el 100 % de los sitios presenta deficiencias nutrimentales, en un nivel de categoría muy bajo. En consecuencia, se precisa mejorar las condiciones de crecimiento de las plantaciones mediante la adición de fertilizantes, lo que posibilitaría el incremento en rendimiento, disminuir los tiempos de corte y contrarrestar los efectos negativos en el suelo a causa de la extracción.

Los resultados encontrados en el nivel de fertilidad de los suelos concuerdan con lo reportado por otros autores como Khoury y Canga (2008) y Arruda y Malavolta (2001) para suelos ácidos cultivados con eucalipto.

5.2 Diagnostico nutrimental foliar con índices de balance

Kenworthy y el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)

El diagnostico foliar mediante los índices de balance Kenworthy se muestra en el Cuadro 5. En el que se indica la concentración, el índice de balance y el orden de requerimiento nutrimental (ORN) para cada edad de las plantaciones de eucalipto.

Cuadro 5. Carta balance nutrimental mediante índices Kenworthy para el *Eucalyptus spp.*

Sitio	Edad (años)		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
1	1	C	1.96	0.13	0.87	0.77	0.33	50.3	194.7	10.4	50.1	53.5
		IB	86	92	83	97	82	58	101	112	109	116
		ORN	Fe > Mg > K > N > P > Ca > Mn > Cu > Zn > B									
2	1.5	C	1.91	0.12	0.66	0.79	0.36	59.7	96.33	13.75	79.5	37.9
		IB	84	88	68	99	87	61	92	160	124	98
		ORN	N > Mg > P > Mn > B > Ca > Zn > Cu									
3	3	C	1.62	0.06	0.52	0.78	0.34	55.5	317.6	13.3	46.45	43.1
		IB	74	59	58	98	84	59	112	106	122	104
		ORN	K > P > Fe > N > Mg > Ca > B > Zn > Mn > Cu									
4	3.5	C	1.47	0.03	0.87	0.44	0.35	27.2	352.8	14.45	51.6	29.3
		IB	69	45	83	66	86	50	115	115	127	87
		ORN	K > Fe > Ca > N > K > Mg > B > Mn > Zn > Cu									
5	3.5	C	0.91	0.03	0.73	0.8	0.29	32.3	400.9	9.6	7.45	37.9
		IB	49	45	73	100	74	51	120	43	105	98
		ORN	Zn > P > N > Fe > K > Mg > B > Ca > Cu > Mn									
6	4	C	1.2	0.19	0.56	0.53	0.46	25.6	295.7	12.95	5.7	39.7
		IB	59	121	61	75	107	49	110	40	120	100
		ORN	Zn > Fe > N > K > Ca > B > Mg > Mn > Cu > P									
7	5	C	1.5	0.05	0.64	0.64	0.39	44.3	203.6	13.25	125.1	46.6
		IB	70	54	67	85	93	56	102	234	121	108
		ORN	P > Fe > K > N < Ca < Mg > Mn < B > Cu									
8	6.6	C	1.14	0.1	0.49	0.61	0.36	39.2	149	10.65	28.8	39.7
		IB	57	78	56	82	87	54	97	78	110	100
		ORN	Fe > K > N > P > Zn > Ca > Mg > Mn > B > Cu									
9	7	C	1.77	0.08	0.66	0.7	0.23	31.4	165	9.7	366.8	44.8
		IB	79	69	68	91	62	51	98	139	105	106
		ORN	Fe > Mg > K > P > N > Ca > Mn > Cu > B > Zn									

10	13.9	C	1.45	0.08	0.81	0.79	0.34	42.4	286	14.05	38.5	36.2
		IB	68	69	79	99	84	55	109	94	125	95
		ORN	Fe > N > P > K > Mg > Zn > B > Ca > Mn > Cu									

C: Concentración (en % para N, P, K, Ca, Mg; en mg kg⁻¹ para Fe, Mn, Cu, Zn y B); IB: Índice de balance; ORN: Orden de Requerimiento Nutricional (de mayor a menor requerimiento).

Los resultados permiten observar que dependiendo del sitio y de la edad de la plantación, el 100 % de éstas, presentan niveles de insuficiencia en K, y Fe (Cuadro 6.), y, en más de 60% de los sitios en Mn, N y P. Los resultados de concentración foliar fueron congruentes con la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para N, P, K y Mn es decir se encontraron entre los más deficitarios tanto en el suelo como en las plantaciones de eucalipto. Estos resultados indican que el eucalipto genera mecanismos para acceder a nutrimentos que se encuentran en niveles deficientes en el suelo. Los nutrientes que se encontraron en un nivel medio o de suficiencia en un 50 % de las plantaciones fueron Ca, Mg, Zn y B; en el caso del Cu y Zn, en 50% y 20 % de las plantaciones, las concentraciones foliares, respectivamente, se encuentran por arriba del intervalo normal.

Cuadro 6. Porcentajes de nutrientes acorde al orden de requerimiento en tejido vegetal según el índice de balance Kenworthy.

	Deficiente	Abajo del Normal	Normal	Arriba del Normal	Exceso
N	10	70	20	0	0
P	20	50	20	10	0
K	80	20	0	0	0
Ca	0	30	70	0	0
Mg	0	30	70	0	0
Fe	10	90	0	0	0
Mn	0	90	10	0	0
Zn	20	10	50	10	10
Cu	0	0	50	50	0
B	0	0	100	0	0

Cuando las plantas tienen bajas concentraciones de N, K y P muestran mayor actividad de las enzimas amilasa, sacarosa, glucosa y proteasa y como consecuencia acumulación

de azúcares solubles, aminoácidos y N soluble, en detrimento de proteína, amida y celulosa, haciendo a la célula susceptible al ataque de plagas y enfermedades. Razón por la cual las hojas en las plantaciones de todas las edades, presentaban daños causados por insectos y diversas enfermedades. En el caso de Ca, Mg y B, que fueron encontrados en niveles adecuados se favorece la formación de la pared celular y síntesis de pectinas (Andrade *et al.*, 1995; HU *et al.*, 1996; Sgarbi y Silveira, 1999).

El diagnostico foliar mediante los índices de balance DRIS se muestra en el Cuadro 7. Indicando la concentración, el índice de balance y el orden de requerimiento nutrimental (ORN) para cada edad de las plantaciones de eucalipto. La aplicación de esta metodología indicó que en todos los predios muestreados, el orden de requerimiento nutrimental de mayor a menor déficit fueron el Fe, P, N y K, los de suficiencia debajo de lo normal fueron el B y Mn mientras que los menos deficitarios fueron Mg, Zn, Cu y Ca. Los valores obtenidos en las concentraciones foliares de N, K y P fueron congruentes con la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, es decir, el déficit de nutrimentos en el suelo coincide con las reflejadas en las plantaciones de eucalipto.

Cuadro 7. Carta balance nutrimental mediante índices DRIS para el *Eucalyptus spp.*

Sitio	Edad (años)		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
1	1	C	1.96	0.13	0.87	0.77	0.33	0.19	50.28	194.68	10.4	50.1	53.45
		IB	-15.38	-12.41	-29.33	34.95	-7.40	14.69	-46.23	-17.63	30.51	54.81	-9.57
		ORN	Fe > K > Mn > N > P > B > Mg > S > Cu > Ca > Zn										
2	1.5	C	1.91	0.12	0.66	0.79	0.36	0.06	59.73	96.33	13.75	79.5	37.93
		IB	-19.18	-20.78	-42.92	34.95	-2.42	-23.34	-34.00	-54.40	58.19	130.48	-24.18
		ORN	Mn > K > Fe > B > S > P > N > Mg > Ca > Cu > Zn										
3	3	C	1.62	0.06	0.52	0.78	0.34	0.2	55.48	317.55	13.3	46.45	43.1
		IB	-21.97	-59.80	-50.70	34.95	0.30	20.73	-38.57	0.17	86.03	67.81	-17.35
		ORN	P > K > Fe > N > B > Mn > Mg > S > Ca > Zn > Cu										
4	3.5	C	1.47	0.03	0.87	0.44	0.35	0.15	27.23	352.75	14.45	51.6	29.31
		IB	-18.96	-143.28	-21.81	34.95	19.14	22.27	-92.93	13.64	190.00	127.13	-30.37
		ORN	P > Fe > B > K > N > Mn > Mg > S > Ca > Zn > Cu										
5	3.5	C	0.91	0.03	0.73	0.8	0.29	0.11	32.28	400.85	9.6	7.45	37.93
		IB	-32.29	-85.06	-15.16	34.95	17.87	13.96	-47.93	25.77	124.61	-28.34	-0.94
		ORN	P > Fe > N > Zn > K > B > S > Mg > Mn > Ca > Cu										
6	4	C	1.2	0.19	0.56	0.53	0.46	0.13	25.63	295.65	12.95	5.7	39.66
		IB	-25.41	32.02	-29.97	34.95	33.79	16.56	-75.04	6.87	56.99	-69.33	-8.12
		ORN	Fe > Zn > K > N > B > Mn > S > P > Mg > Ca > Cu										
7	5	C	1.5	0.05	0.64	0.64	0.39	0.16	44.28	203.58	13.25	125.1	46.55
		IB	-48.95	-125.38	-44.26	34.95	1.21	11.31	-74.00	-23.22	99.61	257.86	-21.19
		ORN	P > Fe > N > K > Mn > B > Mg > S > Ca > Cu > Zn										
8	6.6	C	1.14	0.1	0.49	0.61	0.36	0.1	39.18	148.98	10.65	28.8	39.66
		IB	-28.60	-9.03	-35.26	34.95	13.42	4.16	-40.44	-15.38	51.00	37.20	-8.27
		ORN	Fe > K > N > Mn > P > B > S > Mg > Ca > Zn										
9	7	C	1.77	0.08	0.66	0.7	0.23	0.1	31.43	164.98	9.7	366.8	44.83
		IB	-97.41	-160.36	-70.18	34.95	-92.32	-21.80	-206.94	-72.13	25.21	808.60	-56.98
		ORN	Fe > P > N > Mg > Mn > K > B > S > Cu > Ca > Zn										
10	13.9	C	1.45	0.08	0.81	0.79	0.34	0.16	42.43	285.95	14.05	38.5	36.21
		IB	-26.69	-33.40	-24.63	34.95	1.49	14.27	-52.06	-2.12	77.74	48.24	-23.18
		ORN	Fe > P > N > K > B > Mn > Mg > S > Ca > Zn > Cu										

C: Concentración (en % para N, P, K, Ca, Mg; en mg kg⁻¹ para Fe, Mn, Cu, Zn y B); IB: Índice de balance; ORN: Orden de Requerimiento Nutricional.

En el Cuadro 8. Se muestra la clasificación de los resultados a partir del nivel de requerimiento del eucalipto en el tejido vegetal. En orden de importancia los elementos más demandados y deficientes fueron: el hierro, el fósforo, el nitrógeno y el potasio, en porcentajes que van desde el 100% a un 50%. El boro, el manganeso, el potasio, el azufre y el nitrógeno presentan contenido debajo de lo normal en un 70 y 20%, el

magnesio, el boro, el manganeso y el manganeso se encuentran normales en un porcentaje que va del 40 al 30%. El azufre y el magnesio están presentes en un intervalo de concentración que va de lo normal a arriba de lo normal en porcentajes de 70 y 40%. En exceso se encuentra en un 100% el calcio, el cobre en un 90%, el zinc en un 80%, y en un 10% el fósforo y el magnesio.

Cuadro 8. Orden de requerimiento nutrimental porcentual del tejido vegetal DRIS.

	Deficiente	Abajo del Normal	Normal	Arriba del Normal	Exceso
N	30	70	0	0	0
P	60	20	10	0	10
K	50	50	0	0	0
Ca	0	0	0	0	100
Mg	10	0	40	40	10
Fe	100	0	0	0	0
Mn	20	30	30	20	0
Zn	10	10	0	0	80
Cu	0	0	0	10	90
B	20	40	40	0	0
S	0	20	10	70	0

El hierro fue el elemento más deficiente y requerido en el eucalipto, por ser un elemento considerado como inmóvil y asociado con muchas reacciones celulares de oxidoreducción en la fotosíntesis y respiración, su limitación tiene efectos graves en el desarrollo del árbol (Dell *et al.*, 1995). La deficiencia de Fe puede ser causada por el desbalance de metales como el Mo, Cu o Mn y por los cambios en las propiedades del suelo, especialmente el pH, y las interacciones iónicas que se producen tanto en el suelo como en la planta, provocando déficit de hierro y manganeso (Patrick y Fontenot, 1976).

El potasio resultó deficiente para las plantaciones de edades de 1.5, 3.5, 6.6 y 7 años y en las edades de 1, 3.5, 4 y 13.9 se encuentra por debajo de lo normal, lo que afecta

funciones vitales de éste elemento en la planta como son: estabilización del pH, turgencia, osmoregulación, síntesis de proteínas, carbohidratos y lípidos. Al afectarse las enzimas activadoras del crecimiento y el control de la apertura estomática se minimiza la resistencia a heladas y sequías, se generan tejidos menos tupidos, como consecuencia del menor espesor de la cutícula y de la pared celular. La formación del tejido esclerenquimatoso es menor como la lignificación y suberización (Arruda y Malavolta, 2001).

Los árboles presentaron concentraciones de N por debajo de lo normal en las edades 1, 1.5, 3.5, 4, 6.6 y 13.9. En la plantación de 3 años de edad el comportamiento fue normal.. Los efectos de la deficiencia de N en el eucalipto disminuyen la biomasa aérea y radical, el crecimiento en diámetro de cuello, la altura de plantas (Materán *et al.*, 2004), la formación de clorofila y la actividad de las enzimas (Tisdale y Nelson, 1966; Dell *et al.*, 1995;). Los eucaliptos cuando completan el ciclo de crecimiento demandan menor cantidad de N para la formación de proteínas, por lo que cuando la competencia intraespecífica por factores no nutricionales (radiación sobre todo) se reduciría la tasa de crecimiento (Miller, 1984).

El fosforo fue deficiente en un 60% de los predios muestreados, a los 3, 3.5, 5, 7 y 13.9 años lo que comprende casi todos las edades de las plantaciones. Las plantaciones de un año y año y medio está por debajo de lo normal, mientras que la plantación de los 4 años se encuentra en exceso. El fósforo es un nutriente esencial relacionado con muchos procesos metabólicos, ya que es fundamental en la transferencia de energía a través de ésteres de fosfato y fosfatos ricos en energía. Es un constituyente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, fosfoproteínas, fosfoésteres, dinucleótidos y ADP, de ahí la

importancia de suplirlo adecuadamente. La deficiencia de éste elemento provoca defoliación de las plantaciones de eucalipto (Dell *et al.*, 1995).

El boro se presentó deficiente en las plantaciones de edades de: 3.5, y 7 años, debajo de lo normal en las de 1.5, 3, 5 y 13.9 años y concentraciones normales a los 1, 3.5, 4 y 6.6 años. La deficiencia de este elemento en el eucalipto provoca muerte apical en los árboles en las épocas más secas del año, reduce la permeabilidad de la membrana plasmática y el flujo de agua, afectando la absorción de nutrientes (Malave - Acuña y Carrero - Molina, 2007). El papel estructural del B en el árbol es la asociación del elemento con las funciones de alargamiento, división y diferenciación, donde la celda debe ser asociada con el cambio del potencial hidráulico de la planta (Dannel *et al.*, 1998). El nivel de atención y la sensibilidad está estrechamente relacionado con el contenido de la pectina de la pared celular. El eucalipto tiene un mayor requerimiento de B en comparación con las plantas herbáceas que poseen pared celular con un menor contenido de pectina (Barros *et al.*, 1990; Andrade *et al.*, 1995; HU *et al.*, 1996).

En cuanto al azufre, la tendencia fue de normal a arriba de lo normal en las edades de 1, 3, 3.5, 4, 5 y 13.9 en un 70%, el 20% se presentó debajo de lo normal en las edades de 1,5 y 7 años. A su vez, Mg y Mn presentaron una tendencia similar dado que en un 40 y 30% su contenido es normal con porcentajes variables que van de lo deficiente a arriba de lo normal en valores inferiores al normal. Una característica que marca este comportamiento es que aproximadamente 1/4 de Mg de las hojas se limita en las estructuras de la clorofila, y el resto se presenta en las vacuola (Wadt *et al.*, 1999).

El Ca presenta exceso en todas las edades, este elemento se incrementa por el proceso de reciclaje de la materia orgánica, por la alta tasa de transpiración dada las condiciones del lugar, las cuales permiten el suministro del elemento de forma continua mediante la relación suelo-xilema. Las cantidades suministradas son suficientes para satisfacer al árbol, y cuando éste completa su requerimiento acumula el elemento convirtiéndolo en excesivo dentro del tejido vegetal como se evidencia en el Cuadro 7.

El zinc y el cobre se presentan en exceso en las edades de 1, 1.5, 3, 3.5, 5, 6.6 y 13.9. El zinc sólo fue deficiente a los 4 años mientras que el cobre presentó concentraciones arriba de lo normal a los 7 años.

5.3 Análisis comparativo mediante índice de balance DRIS e índice de balance Kenworthy

Los índices de balance derivados de la aplicación de la metodología DRIS y Kenworthy (Cuadro 5 y 7.) muestran que no hay diferencias importantes en el resultado del diagnóstico nutrimental. Se ha determinado que la concentración de nutrientes se ven influenciados no sólo por la disponibilidad de éste en el suelo, sino también por factores como el genotipo, el clima, las prácticas silviculturales, el control de plagas y enfermedades, el tiempo de muestreo y la disponibilidad de otros nutrientes (Wadt, 1996; Goncalves *et al.*, 1997; Malavolta *et al.*, 1997; Barros *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2006). Entre los índices de balance se pueden diferenciar fuerzas dinámicas en el ciclo de los nutrientes, y por lo tanto el estado nutricional de los árboles. El material genético determina las demandas nutrimentales dependiendo de las condiciones del sitio y en consecuente establece los requerimientos del elemento en los periodos de crecimiento,

por lo que, puede presentar tendencias opuestas a la nutrición con nitrógeno, fósforo y potasio (Wadt *et al.*, 1999). Los requerimientos nutricionales en el *Eucalyptus spp.* varían entre especies (Barros *et al.*, 1990), dentro de una misma especie y entre procedencias (Nováis *et al.*, 1990).

En ambas metodologías los nutrientes más deficientes fueron el Fe, P y K. el N presentó concentraciones por debajo de lo normal. El Mn, Mg y B sus concentraciones fueron de normal a arriba de lo normal y finalmente el Ca, Zn, S y Cu presentaron tendencias que van desde arriba de lo normal a exceso.

Las diferencias en el orden de requerimiento nutricional encontrado por ambos métodos, refleja la menor sensibilidad del método Kenworthy para detectar situaciones de deficiencia nutricional, especialmente cuando el CV de los niveles óptimos de algunos nutrientes es mayor que 40% (Kurihara, 2004) y que DRIS equilibra el exceso de nutrientes al considerar la menor concentración de nutrientes como una limitación para detectar las concentraciones en cantidades mínimas y suplir adecuadamente los requerimientos del cultivo.

Con la utilización la metodología DRIS y Kenworthy se proporciona una evaluación equilibrada a nivel nutricional del eucalipto con lo que puede suplirse adecuadamente en el tiempo todos y cada uno de los elementos nutritivos que requiere para obtener mejores rendimientos.

5.4 Discusión estadística de las correlaciones entre las concentraciones y algunas variables químicas del suelo

En el Cuadro 9 se muestran las correlaciones establecidas entre el pH del suelo, CIC y concentraciones nutrimentales del tejido vegetal de eucalipto. Se puede observar una correlación moderada y positiva con un $p \geq 0.05$, del pH con respecto a N, Ca y Fe, es decir que a medida que se incrementó el pH del suelo fueron absorbidos en mayor concentración estos nutrimentos. Esto indica que el pH del suelo en el que se encuentran las raíces incide en las concentraciones de los elementos esenciales que absorbió la planta. Este resultado coincide con lo establecido por Kirkby y Mengel (2002) quienes indican que a medida que el pH se acerca a la neutralidad, se mejora la descomposición de la materia orgánica y se liberan nutrimentos como el N, Ca y Fe, se mejora su disponibilidad y en consecuencia su absorción. Sin embargo, el pH se relacionó negativamente con la concentración de S y Mn, al aumentar el pH en el rango de los suelos ácidos se disminuye la retención del SO_4^{2-} dificultando la adsorción de este elemento por el eucalipto. El azufre en el suelo está sujeto a oxidación microbológica, a través de la cual se transforma a sulfato en condiciones aeróbicas, el cual ya puede ser adsorbido por el eucalipto, más por el proceso de lavado estos elementos ya no están disponibles (Brady, 1990; Deng y Dick, 1990; Miyamoto, 1998).

Por su parte, la CIC se correlacionó positivamente con Ca y Mn, pero negativamente con la absorción de P. Es obvio que a mayor CIC se incrementan los sitios de retención de los cationes, mientras que se rechazan los aniones como los H_2PO_4^- , del complejo de intercambio catiónico, los cuales pueden ser lavados o retenidos por elementos como el Al (Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 2000; Larcher, 2003; Navarro y Navarro, 2003;

Soil Improvement Committee California Plant Health Association, 2004; Sadeghian, 2012). Con la edad de las plantas no se presentó algún grado de correlación con las variables nutrimentales determinadas en el tejido vegetal.

Un efecto importante que influye en la relación entre variables químicas en el suelo y la asimilación de nutrientes en la planta lo compone el hecho que los predios presentan tiempos de anegamiento dadas las altas precipitaciones de la zona lo cual provoca alta concentración de CO_2 en suelos anegados, contribuyendo así al descenso del pH y, consecuentemente, el aumento de Fe^{2+} y Mn^{2+} disponibles para una absorción pasiva por las plantas. Aunque, la falta de oxígeno en un suelo anegado hace disminuir la absorción activa de estos elementos (Pardos, 2004).

Cuadro 9. Correlaciones de las variables pH, CIC, edad y concentración de nutrientes en el tejido vegetal en el eucalipto.

	Edad	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
pH	-0.05	0.42	0.14	0.24	0.47	-0.11	-0.47	0.58	-0.66	-0.01	-0.02	0.13
CIC	-0.12	-0.17	-0.40	0.23	0.63	-0.36	0.27	0.30	0.49	-0.25	-0.16	0.08
Edad		-0.24	-0.31	0.05	0.08	-0.12	-0.01	-0.23	0.06	0.15	0.13	-0.26

En el Cuadro 10. Se muestran las correlaciones establecidas entre el pH del suelo, CIC, el contenido de arcillas, la materia orgánica y las concentraciones nutrimentales en el suelo. Se puede observar una correlación moderada y positiva con un $p \geq 0.05$, del contenido de arcillas con la materia orgánica y el Mg. Al estar cargadas las arcillas y la materia orgánica negativamente son capaces de adsorber cationes de la solución del suelo favoreciendo la fijación de cationes intercambiables como el Ca, Mg y K como también otros elementos en cantidades apreciables como el sodio, el amonio y el aluminio. En la medida que exista mayor cantidad de arcilla y MO en el suelo se favorecerá la concentración de nutrientes al mantener las partículas minerales unidas

frente a las fuerzas desestabilizadoras como el humedecimiento e impacto de gotas de lluvia. Las fracciones de arcilla y limo en este tipo de suelos son más libres, por lo tanto, la superficie específica disponible para retener MO es muy superior (Christensen, 1992; Matus, 1994).

El pH presenta una correlación alta y negativa con un $p \geq 0.05$, con la concentración de calcio y magnesio, y una correlación moderada y negativa con S y B. La explotación y rotaciones cortas de eucaliptos, conlleva a una reducción de calcio intercambiable y magnesio, incrementando el aluminio intercambiable en el suelo (Leite, 2001; Silva *et al.*, 2004). Entre los factores del suelo que en mayor grado determinan la disponibilidad de Ca^{2+} se encuentran: calcio total suplementado, pH, CIC, porcentaje de saturación de Ca^{2+} con respecto a la CIC, tipo de coloide del suelo y la relación de Ca^{2+} frente a otros cationes en la solución (Sadeghian, 2012). El Ca^{2+} se encuentra haciendo parte de la materia orgánica o en combinación con los ácidos húmicos y fosfóricos en los humatos y fosfolípidos cálcicos (Navarro y Navarro, 2003) razón por la cual aunque los predios no se fertilizan, este elemento es generado en parte por la materia orgánica producida por el mismo árbol y en la medida que el valor de pH esté más cercano a la neutralidad se incrementará el contenido. Finalmente el pH también presenta una correlación moderada y positiva con un $p \geq 0.05$, con el K, al bajar el pH del suelo disminuye la tendencia a la fijación de K por la presencia de polímeros de hidroxialuminio, porque se mantiene una abertura suficientemente grande entre los paquetes de arcilla. Si se trata de iones con características similares al K (por Ej. amonio e hidrógeno), hay competencia por los sitios aniónicos disponibles, pudiendo resultar el K desplazado y, por lo tanto, no fijado (Muson, 1985; Braddy and Weil, 1999). Entre los factores que determinan la

disponibilidad de K^+ en el suelo se encuentran: cantidad y tipo del mineral arcilloso que en la zona es escaso, CIC, contenido de K^+ intercambiable, capacidad del suelo para fijar el K^+ , la humedad, la temperatura, la aireación y el pH del suelo (Havlin *et al.*, 1999).

La materia orgánica presenta una correlación moderada positiva con un $p \geq 0.05$, con la edad, a mayor edad mayor cantidad de MO acumulada en el suelo, la cual proviene de las hojas y ramas que caen del árbol durante su ciclo de crecimiento. Mientras que la edad tiene una correlación moderada y positiva con el P, Ca y Mg. El calcio por su parte presenta una correlación alta con $p \geq 0.05$ con el magnesio, una moderadas y positivas con el S y B.

El exceso de aluminio que hay en los predios induce deficiencia de hierro, inhibición en la absorción de otros nutrimentos como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- y PO_4^{3-} a través de las puntas de las raíces. Con raíces más pequeñas, la superficie de contacto con el suelo y la solución del mismo conducen a la baja adquisición de nutrientes. La alta tolerancia del eucalipto al aluminio no se encuentra relacionada con la capacidad de intercambio catiónico de las raíces (Vale *et al.*, 1984; Silva *et al.*, 2004) ni tampoco las raíces pueden provocar cambios en la solución del suelo del pH, que hiciera disminuir la toxicidad del aluminio (Neves *et al.*, 1982);

El fósforo tiene una relación positiva con el potasio y el azufre, mientras que la relación del potasio es moderada y positiva con el Ca, Mg, Fe y Mn es positiva. El calcio tiene relación afirmativa con el magnesio y negativa con el azufre. La relación del azufre y el boro es positiva como la del cobre con el boro y son de orden moderado. Los nutrientes que más se correlacionan en el suelo son: Mg, B, S, K, Ca, P, Fe y Zn, mientras que las

propiedades como la MO, pH y CIC por el efecto de cargas que ejercen en el suelo influyen en la dinámica y disponibilidad de los nutrientes.

Cuadro 10. Correlaciones entre concentración de nutrientes en el suelo y algunas propiedades físicas y químicas del suelo.

	MO	pH	CIC	Edad	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
ARC	-0.47	0.20	0.29	-0.39	-0.30	0.27	-0.13	0.12	0.45	-0.15	-0.12	0.12	0.36	0.37	0.38
MO	1.00	-0.20	0.05	0.65	0.00	-0.12	0.18	-0.41	-0.39	0.21	0.16	-0.01	-0.03	0.02	-0.16
pH		1.00	0.06	-0.05	-0.23	-0.20	0.52	0.86	0.79	-0.57	-0.38	0.31	0.28	0.19	-0.45
CIC			1.00	-0.12	-0.01	0.07	0.52	0.07	0.21	0.18	0.76	0.83	0.52	0.44	0.59
Edad				1.00	0.15	-0.42	0.12	-0.42	-0.48	0.33	-0.10	0.16	0.27	-0.24	-0.08
N					1.00	-0.43	0.30	-0.28	-0.43	0.25	0.38	-0.10	0.05	-0.15	0.31
P						1.00	-0.51	-0.10	0.12	-0.47	-0.08	0.02	-0.03	0.19	-0.01
K							1.00	0.50	0.43	-0.02	0.41	0.49	0.10	0.51	-0.05
Ca								1.00	0.89	-0.56	-0.25	0.21	-0.07	0.31	-0.48
Mg									1.00	-0.67	-0.18	0.22	-0.04	0.61	-0.40
S										1.00	0.36	0.09	0.09	-0.33	0.65
Fe											1.00	0.46	0.15	0.29	0.55
Mn												1.00	0.68	0.19	0.39
Cu													1.00	-0.25	0.53
Zn														1.00	-0.12
B															1.00

ARC: Arcillas; MO: Materia Orgánica; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

En el Cuadro 11. Se muestran las correlaciones establecidas entre las concentraciones de los nutrientes en el tejido vegetal y las concentraciones de los nutrientes en el suelo.

Cuadro 11. Correlaciones entre concentraciones de nutrientes del tejido vegetal y las concentraciones de nutrientes del suelo.

	N _{TV}	P _{TV}	K _{TV}	Ca _{TV}	Mg _{TV}	S _{TV}	Fe _{TV}	Mn _{TV}	Cu _{TV}	Zn _{TV}	B _{TV}
N _S	-0.12	-0.22	-0.24	-0.23	0.23	-0.05	-0.17	0.00	0.24	0.28	0.02
P _S	-0.44	0.36	-0.27	-0.08	0.33	0.22	-0.11	0.22	-0.61	-0.42	0.26
K _S	0.38	-0.30	0.09	0.66	-0.05	0.05	0.75	-0.20	0.01	0.39	0.11
Ca _S	0.56	0.28	0.15	0.46	0.04	-0.40	0.69	-0.56	-0.10	0.11	0.14
Mg _S	0.62	0.24	0.28	0.55	-0.07	-0.05	0.74	-0.49	-0.13	-0.11	0.46
S _S	-0.24	-0.62	0.28	-0.30	-0.18	0.22	-0.43	0.69	0.08	0.42	-0.64
Fe _S	-0.15	-0.57	-0.17	0.44	-0.31	0.31	0.15	0.48	0.11	-0.11	0.16
Mn _S	-0.32	-0.37	0.31	0.67	-0.29	-0.08	0.15	0.40	-0.32	-0.16	-0.14
Cu _S	-0.48	-0.54	0.33	0.21	-0.45	-0.31	-0.26	0.21	-0.02	-0.42	-0.18
Zn _S	0.49	0.06	0.18	0.55	0.09	0.70	0.71	-0.05	-0.24	0.07	0.67
B _S	-0.47	-0.73	0.35	-0.20	-0.20	0.25	-0.45	0.78	-0.12	-0.02	-0.29

TV: Tejido vegetal; S: Suelo

Se observa los nutrientes en el suelo como K, P, Ca, Mg, Cu, S, Fe, Mn, Zn y B son los que se presentan mayores correlaciones con las concentraciones de nutrientes del tejido vegetal. La tendencia en general es alta y positiva con el Fe, el S, el P y el Mn, mientras que en el rango moderado las correlaciones varían de forma positiva y negativa. El boro en el suelo presenta una correlación alta y positiva con el P y el Mn, y una moderada y negativa con el N. los nutrientes con más correlacionados en el tejido vegetal son el Ca, N, Mn, Fe, Zn, P, B, S, Cu y Mg.

El contenido de los cationes intercambiables van a depender básicamente del contenido de arcilla, del material parental, de la materia orgánica que haya en el suelo y del valor de pH, por lo que cuando la mayoría de estos valores son bajos, en consecuencia también será baja la concentración de estos elementos en el suelo, en el tejido vegetal y se incrementará la toxicidad de otros disminuyendo el potencial de asimilación de un nutriente tal como lo reporta los índices de balance DRIS y Kenworthy. Como la zona presenta abundantes lluvias, esto produce pérdida de bases por lixiviación desde los horizontes superficiales del suelo, lo que dificulta la adsorción de nutrientes por parte de las raíces, ya que se accede a ellos cuando se encuentran en soluciones o están como cationes intercambiables.

Se observa una correlación moderada y negativa entre el P del suelo con las concentraciones de N, Cu y el Zn determinadas en el tejido vegetal. Por su parte, el K del suelo se asoció en forma negativa con los elementos Ca y Fe del tejido vegetal; mientras que el Ca del suelo con N, Fe y Mn en forma negativa. El Mg del suelo con el

N, Ca y Fe. El S con el P, Mn y negativa con el B; Zn, Ca, S, Fe y B, el B con el Mn y no mostró ninguna correlación con el Cu y el Fe a una $p \geq 0.05$.

En los predios con pH inferior a 5,5 gran proporción de los sitios de intercambio de las arcillas está ocupado por aluminio, en donde éste reemplaza otros cationes como Mg^{2+} y Ca^{2+} y simultáneamente son adsorbidos los fosfatos. El efecto de competencia del Al sobre la absorción de Ca y Mg justifica que las relaciones Ca/Al, Mg/Al o $(Ca^{+}Mg^{+}K^{+})/Al$ en el suelo o en las soluciones nutritivas sean los mejores parámetros para predecir el riesgo de deficiencia de bases inducidas por aluminio, con relación a la concentración de alguno de los elementos en forma individual (cita??). En horizontes del suelo donde hay mayor contenido de materia orgánica, la mayor parte de los iones de aluminio forman complejos no tóxicos con los compuestos húmicos. Además, algunos iones de aluminio se incorporan a las capas intermedias de los minerales expandidos de las arcillas transformando estos minerales (Casierra y Aguilar, 2007).

Se evidencian en estas correlaciones relaciones antagónicas como la del P con el Zn donde ambos reaccionan haciendo menos disponibles a estos elementos. El Ca y Cu con Mn por efecto de competencia por ser nutrientes con cargas similares. Por su parte, el Ca con N en forma de NH_4^{+} compiten por tener cargas positivas, y finalmente el Zn con Fe deben mantener una concentración armónica con el fin de evitar efectos antagónicos. Otras relaciones que se evidenciaron en las correlaciones es el sinergismo entre K con el Fe y S con Mn (Mengel y Kirkby, 2000).

6 CONCLUSIONES

La evaluación de la fertilidad de los suelos cultivados con *Eucalyptus spp.*, indicó que el 100 % de los sitios presentaron deficiencias nutrimentales, en un nivel de categoría muy bajo, en P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu. En consecuencia, se precisa mejorar las condiciones de crecimiento de las plantaciones mediante la adición de fertilizantes.

Los resultados del diagnóstico nutrimental con base en el análisis foliar y conforme a los índices de balance Kenworthy, señalaron que dependiendo del sitio y de la edad de la plantación, el 100 % de éstas, muestran niveles de insuficiencia en K, y Fe; y, en más de 60% de los sitios en Mn, N y P. Estos resultados de concentración foliar fueron congruentes con la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para N, P, K y Mn. La aplicación de los índices de balance DRIS, señaló que el 100% de las plantaciones están deficientes en N, K y Fe; más del 70% en P y, 50% o más en Mn y B.

Si bien la aplicación de ambas metodologías arroja diferencias en el orden de requerimiento nutricional, el uso de ambos índices proporciona una evaluación más sensible del estado nutricional de las plantaciones de eucalipto.

LITERATURA CITADA

- Aguirre G., A. 2001. Química de los suelos ácidos, templados y tropicales. FES-Cuatitlán-UNAM. Estado de México, México.
- Alcántar G. G., y T. Téllez L. I. 2009. Nutrición de cultivos. Mundi Prensa. México, D.F. 451 p.
- Andrade, S.C.; N.F. De Barros,; R. Ferreira,; J.L. Teixeira y P.G.L. Leal. 1995. Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto. Bosques 16(1): 53-59 p.
- Anckerman, R.L. (1980). Soil and plant analysis. Agricultural Laboratories. Memphis, Tenn., USA.
- Anckerman, R.L. and R. Large. 1977. Soil and plant analysis. Memphis, USA, A- and L. Agricultural Laboratories, I.N.C. Memphis.: 75-78p.
- Aparicio, J. L. 2001. Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Tesis para optar al título de Maestría en Ciencias mención Silvicultura. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias forestales.
- Arruda, S.D y E. Malavolta. 2001. Nutricao e adubacao em Eucalyptus. Infomacoes Agronómicas, POTAFOS. Encarte Técnico. 91:1 - 10
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid. España. Baldock, J. O. y E.E. Schult. 1996.

Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. Agron. J., v. 88, p. 448-456,

Baldock, J. O. y E.E. Schult.1996. Plant analysis with standarized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn.Agronomy Journal, 88:448-456.

Barros, N.F., R.F. Novais y J.C.L. Neves. 1990. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. En: BARROS N.F., R.F. NOVAIS (eds.). Relação Solo-Eucalipto. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa. 127-186 p.

Barros, N.F. and R.F. Novais. 1996. Eucalyptus nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In Nutrition of Eucalypts. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 335-355 p.

Barros, N. F.; J.C.L. Neves y R.F. Novais 2004.. Mineral fertilizer recommendationsfor eucalypt plantatios. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). Forest Nutrition and Fertilization. Piracicaba: IPEF. 271-284p.

Bataglia, O.C y W.R. Santos. 1990. Efeito do procedimento de cálculo e da populacao de referencia nos Indice do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendacao (DRIS). R. Bras. Ci. Solo. 14:339-344.

Bates, T. E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation. A review Soil Sci., 112: 116-130

Bhargava, B.S. y K.L. Chadha. 1988. Leaf nutrient guide for fruitand plantation crops. Fert. News 33: 21-29.

- Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Pietermaritzburg: Univ. of Natal, (Soil Science Bulletin, 1). 132p.
- Boardman, R., R. N. Cromer, M. J. Lambert and M. J. Webb. 1985. Forest plantations. In: Munson, R.D. (ed). Potassium in Agriculture. Madison: American Society of Agronomy
- Brady, N.C., 1984. The Nature and Property of Soils. Macmillian Publishing, New York, 750 p.
- Brady, N.C. 1990. The nature and properties of soils. 10a ed. Prentice-Hall, New York, USA. 590 p.
- Brady, N.C. and R. Weil. 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition. Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- Cancino C., J.; F. Drake A.; P. Cartagena R. 1999. Efecto de la distancia de fertilización sobre el crecimiento inicial de *Eucalyptus nitens* Maiden. Agro- Ciencia 15(2): 263-269
- Cantarutti A, R. B.; N. F. Barros.; H. E. P. Martinez y R. F. Novais. 2007. OVAIS, Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In. Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Eds.). Fertilidade do Solo, Viçosa, MG, SBCS. 769-850p.

- Casierra, F. y O.E. Avendaño. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 1(2): 246-257.
- Castillo, A. E. 1999. Influencia de enmiendas orgánicas sobre el aluminio, cambio de un Oxisol. Cátedras de Química Orgánica y Biológica y Edafología. Ciencia del suelo 17: 2131-3400.
- Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). 1969. Estudio Edafológico del Estado Portuguesa. Area Piloto N° 1. Maracay,. 3ª fase. Venezuela.
- Christensen, B. T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. Adv. Soil. Sci. 20: 1-89
- Clark, J. S. and W. E. Nichol. 1966. The Lime potential, percent base saturation relation of acid surface horizons of mineral and organic soils. Can. J. Soil Sci. 46: 281-315.
- Dannel, F.; H. Pfeffer y V. Römheld. 1998. Compartimentación de boro en las raíces y las hojas de girasol aquellos afectados por la oferta de boro. Diario de Fisiología Vegetal, 153: 615-622 p.
- Dell, B.; N. Malajczuk; N. and T. Grove. 1995. Nutrient disorders in plantation Eucalypts. Australian
- Dell, B. 1996. Diagnosis of nutrient deficiencies in *Eucalyptus*. In: Attiwill, P. M. and W.A. Nielsen (eds). Nutrition of *Eucalyptus*. Collinood: CSIRO Publishing

Deng, S. and R.P. Dick. 1990. Sulfur oxidation and Rhodanese activity in soils. *Soil Sci.* 150:552-560.

De Oliveira, J.B. 2008. Diagnose nutricional de plantios jóvenes de eucalipto na regioao litoranea do Espírito Santo e sul da Bahia. Tesis para optar al título de mestre en ciencias. Viscosa. Minas Gerais. BrasilCenter For International Agricultural Reserch. Australia. 110 p

Estrada A. J. 2004. Pastos y forrajes del trópico colombiano. Primera Edición. Centro editorial. Universidad de Caldas. 506 p.

Evenhuis, B. y P. W. F. Waard. 1980. Principles and practices in plant analysis. In: FAO. *Soils Bulletin*, Roma, 38: 152-163.

FAO. 1956. Estudios de silvicultura en la repoblación forestal. Roma 1956 431 p.

FAO. 1981. El Eucalipto en la repoblación forestal. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. ISBN 95-5-300570-X. Segunda Edición. Italia.

FAO. 2000. The crop environmental requeriments database. (Ecocrop): <http://ecocrop.fao.org>. [Consultada el 3 de mayo del 2010].

Ford, E. D. 1984. The dynamics of plantation growth. In: BOWEN, G. D.; NAMBIER, E. K. S. (Eds.). *Nutrition of plantation forests*. London, Academic Press. 17-52p.

Frederick, D.J.; H.A.I. Madgwick.;M.F. Jurgensen y G.R. Oliver. 1986. Seasonal development of a young plantation of *Eucalypts nitens*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 16(1): 78-86.

- Gayoso, J. y A. Iroune. 1995. Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico. *Bosques*. 16(2):3 – 12.
- Gill, H.S and Abrol, I.P. 1986. Salt affected soils and their amelioration through afforestation. In: Prinsely, R.T., Swift, M.J. (Eds.), *Amelioration of Soil by Trees A Review of Current Concepts and Practices*. Commonwealth Science Council, London. 43-52 p.
- Golfari L. 1985. Distribución Regional y Condiciones Ecológicas de los eucaliptos cultivados en la Argentina. Problemas inherentes. Publicación N°1. Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales, (CIEF). 19p.
- Goncalvez, J. L. M. 1995. Recomendacoes de adubacao para Eucalyptus, Pinus e Especies Típicas da Mata Atlântica. *Documentos Forestais* 15: 1-23
- Goncalves, J. L. M.; N.F. Barros.; E. K. S Nambiar y R.F. Novais.1997. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E. K. S.; e BROWN, A. G. (Eds.). *Mangement of soil, nutrients and water in Tropical Plantation Forests*. Camberra, ACIAR Austrália/CSIRO Austrália/CIFOR Indonésia, 1997. p. 379-418.
- Goncalves, J. L. M.; M.I.P. serrano.; K.C.F.S. Mendes and J.L. Gava. 1999. Efeccts of site management in *Eucalyptus grandis* plantation in the humid tropic: Sao Paulo, Brasil. *Site Management and productivity in tropical plantation forest*. Ed CIFOR. Indonesia. 3 – 10 p

- Grove, T.S.; B.D. Thomson y N. Malajczuk. 1996. The Nutritional Physiology of Eucalypts: uptake, distribution and utilization. In: ATTIWILL P.M. y ADAMS, M.A. (editores). Nutrition of Eucalypts. CSIRO. Australia. p: 327-332.
- Hamilton, A. R. 1995. Forest Soils and Site Index. Woodland Owner Notes. North Carolina Cooperative Extension Service. 2 p.
- Havlin, J. L.; J.D. Beaton.;S.L. Tisdale. y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p
- Herbert, M.A. y Robertson, M.A.. 1991. Above-ground biomass composition and nutrient content for Eucalypts species in the southeastern Transvaal. In: SCHÖNAU, APG (editor). IUFRO Symposium-Intensive Forestry: the Role of Eucalypts. 2: 662-674.
- Holland, D. A. 1966. The interpretation of leaf analysis. J. Hort. Sci., 41: 311-329,
- Hu, H.; P.H Brown y J.M. Labavitch. 1996. variabilidad de especies en los requisitos de boro se correlaciona con la pectina de la pared celular. Revista de Botánica Experimental ,47:227-232 p.
- INAFED. 2005a. Huimanguillo, Enciclopedia de los Municipios de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Tabasco. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tabasco/mpios/27008a.htm> (28/11/2011).

- INAFED. 2005b. Huimanguillo, Enciclopedia de los Municipios de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Tabasco. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tabasco/mpios/27008a.htm> (28/11/2011).
- Jarrel, W. M. y R.B. Beverly.1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agron.*, v. 34, p. 197-224.
- Jones, C. A. 1981. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analysis. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 22:785-794.
- Jones, J. 1993. Modern interpretation systems for soil and plant analysis in the USA. *Aus. J. Exp. Agr.*, 33:1039-1043
- Judd, T.S.; P.M. Attiwill y M.A. Adams. 1996. Nutrient Concentrations in Eucalypts: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and vcomponentes. In: ATTIWILL P.M. y ADAMS, M.A. (editores). *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO. Australia. Pp: 123-154.
- Kamprath, E.F. 1970. Exchangeable aluminum as a criterium for liming leaclied mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Soc.* 34: 252-254.
- Kenworthy, A. L. 1961. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit tres. In: REUTHER, W. *Plant Analysis and fertilizers problems*. Washington, American Institute of Biological Science. 28 – 43p.

- Khouri, A. y E. Canga L. 2008. Relación entre las propiedades del suelo, incremento en volumen anual y estado nutricional de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* D. Don en Asturias (Noroeste de España). Ponencia presentada en: V Simposio Internacional sobre Manejo de los Recursos Forestales. SIMFOR. 26 al 28 abril. Universidad de Pinar del Río “ Hnos. Saiz Montes de Oca”.
- Kurihara, C. H. 2004. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 101p.
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology; Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Fourth edition. Springer. 513 p.
- Leite, F.P. 2001. Nutritional relationships and chemical characteristics alterations in soils of the Rio Doce Valley caused by eucalyptus cultivation. Ph.D. Thesis. Federal University of Viçosa. Viçosa, Brazil. (In Portuguese with English abstract.). 72 p.
- Lima, A. M. N.; Silva I. R.; Neves J.C.L.; Novais R. F.; Barros F. N.; Mendonça E. S., Smyth T. J.; Moreira M. S. and Leite F. P. 2006. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management* 235: 219-231.
- Lugo, 1986. Solos, interpretación físico-química [en línea]. Cátedra de Química Xeral e Agrícola, E.U.I.T.A. España. In website: http://www.geocities.com/Yosemite/8300/anexo1_2.htm [consulta: 26 mayo 2012].

- McLaughlin, M.J. 1996. Phosphorus in Australian forest soil. En: Nutrition of Eucalyptus. Attiwill P. M. y Adams M.A. (Eds.). CSIRO Publishing. Collingwood, Australia, 1 - 30 p.
- Malave- Acuña, A y P.E. Carrero – Molina. 2007. Desempeño funcional del boro en las plantas. UDO Agrícola. Enero – diciembre. 7(1): 1-14p.
- Malavolta, E. 1987. Esencias Florestais: Eucalipto e Pinus. In: Malavolta, E. (ed) Manual de calagem e adubacao das principais culturas. Sao Paulo: Ceres.
- Malavolta, E.; G.C.Vitti. y S.A. Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS. 319 p.
- Maloavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas; São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 638 p.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London. 889 p
- Matus, F. J. 1994. The distribution of soil organic matter of various aggregate size classes in arable soils. I. Relationships between clay content of aggregates of a sand and a clay soil and carbon mineralization, nitrogen mineralization and microbial biomass carbon. Doctoral Thesis. The Netherlands. Agricultural University of Wageningen. 79-98 p.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ª edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.

- Miller, H.G. 1984. Dynamics of nutrient cycling in plantations ecosystems. In: BOWEN, G.D.S.; NAMBIAR, E.R.S. (Eds.). Nutrition of plantation forests. London: Academic. 53-78.p.
- Miller, H.G. 1995. The influence of stand development on nutrient demand, growth, and allocation. Plant Soil. 168/169: 225-232
- Mishra, A.; Sharma S.D. and Khan G.H.. 2003. Improvement in physical and chemical properties of sodic soil by 3, 6 and 9 years old plantation of *Eucalyptus tereticornis* Biorejuvenation of sodic soil. Forest Ecology and Management 184: 115-124.
- Miyamoto, S. 1998. Use of acids and acidulants on Alkali soils and water. In A. Wallace and R.E. Terry (eds.) Handbook of soil conditioners substances that enhance the physical properties of soil. Part III. Mineral soil conditioners. Marcel Dekker, New York, USA. 217-255 p.
- Munson, R. D. 1985. Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Inc
- Navarro, B.S y G.G. Navarro. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 487 p.
- Neves, J.C.L.; Novais R.F. and Barros N.F. 1982. Effect of aluminum in nutrient solution on growth and nutrient uptake by *Eucalyptus* spp. Revista Árvore. 6:1-16.

- Neves, J. C. L 2000. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 191 p.
- Novais, R.F.; N.F. Barros e J.C.L Neves. 1990. Nutrição mineral do eucalipto. In: Barros, N.F.; Novais, R.F. (Eds.). Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 25-98p.
- Pardo, J.A. 2004. Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo. Invest Agrar: Sist Recur For. Fuera de serie, 101-107p.
- Patrick, W.H. y W.J. Fontenot. 1976. Growth and mineral composition of rice at various soil moisture tensions and oxygen levels. Agron J 58, 325-329p.
- Payne. G. G.; J. E. Rechcigl and R.L. Stephenson. 1990. Development of Diagnosis and Recommendation Integrated System norms for Bahiagrass. Agron. J. 82:930-934.
- Pérez - Vera, O. A.; M de J. Yáñez - Morales, D. Alvarado – Rosales; D. Cibrian – Tovar y S. García-Díaz. 2005. Hongos asociados a Eucaliptos, *Eucalyptus grandis* Hill: Maid. Agrociencias 39:311-318.
- Pritchett, W.L. 1979. Properties and management of forest soils. New York, John Wiley e Sons. 500 p.
- Pritchett, W.L. 1991. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México, D.F. 634 p.

- Reis, R. A. 2002. DRIS Norms Universality in the corn crop. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 33:711-735.
- Reis, R. A. y P.H. Monnerat. 2002. Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norms established in Brasil, South Africa, and the United States. *J. Plant Nut.* 25: 2831-2851,
- Reuter, D. J and J.B. Robinson. 1986. *Plant Analysis and Interpretation manual*. Inkata Press. Sydney, Australia.
- Rhoades, C., and D. Binkley. 1996. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian Eucalyptus and Albizia plantations. *Forest Ecology and Management* 80: 47-56.
- Russell, E.W. 1973. *Soil conditions and plant growth*. 10th edn. Longman. London, UK, 849 p.
- Sánchez, F.; Rodríguez, R.; Rojo, A.; Álvarez, J. 1998. Resultados preliminares del estudio de curvas de calidad de estación y de los factores ecológicos implicados en la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Galicia (España). En: *Actas del primer Congreso Latinoamericano I.U.F.R.O., Manejo sostenible de los recursos forestales, desafío del siglo XXI*. Valdivia, Chile.
- Santana, R. C. 2000. *Predicção de biomassa e alocação de nutrientes em povoamentos de eucalipto no Brasil*. Tesis de doctorado. Vicosá, MG. Universidade Federal de Vicosá. 59 p.

Schlesinger H. W. 1997. Biogeochemistry an analysis of global change. 2nd ed. San Diego California, USA. 588 p.

Schoenholtz, S.H., H. V. Miegroet and J.A. Burger. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest Ecology and Management 138: 335-356

SEMARNAP. 2003. Comisión Nacional Forestal, Coordinación General de Producción y Productividad. México. Disponible: http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/secciones/demas/compendio2006/Reportes/D3FORESTAL/D3RFORESTA09/D3RFORESTA0902.htm (11 septiembre 2012).

SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Disponible en: [//www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf). Consultada el 20 Mayo del 2011.

Silva, G. G. C. 2001. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND.

Silva, G. G. C.; J.C.L. Neves.; V.H. Alvarez V y F.P. Leite. 2005. Avalicao da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND R. Brasil. Ci. Solo. 29:755-761.

Silva, G. G. C. 2006. Nutrição, Crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes. Viçosa, MG,

Universidade Federal de Viçosa. 84 p. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 132 p.

Silva, H.D.; A.F.J., Bellote, C.A, Ferreira.; C.B. Reissman y J. L. Gava. 1998. Modelos para Quantificação da Biomassa e Nutrientes no Tronco de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). In: Conferencia IUFRO sobre Silvicultura y Mejoramiento de *Eucalyptus* sp. Bahía. Brasil. pp: 281-289.

Silva, I. R., R. F. Novais, G. N. Jham, N. F. Barros, F. O. Gebrim, F. N. Nunes, J. C. L. Neves and F. P. Leite. 2004. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism . *Tree Physiology* 24: 1267-1277

Silveira, R. L.V. A., E. N. Higachi, A. N. Goncalve, e A. Moreira. 1999. Avalaicao do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretacoes (compactdisc). In: Simposio Sobre Fertilizacao y Nutricao Florestal, Piracicaba. IPE/ESALQ.

Silvestre M. M. y Torres C. F. 2003. Contribución al conocimiento tecnológico de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, proveniente de plantaciones forestales comerciales de 7 años de edad de Las Choapas, Veracruz, México. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Estado de México. 106 p.

Soil Improvement Committee California Plant Health Association SICCPHA. 2004.

Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Noriega Editores. México. 366p.

Stape, J. L. 2002. Production Ecology of Clonal Eucalyptus Plantations in Northeastern Brasil. Colorado. State University Fort. 225 p

Sumner, M.E. 1979. Interpretation of folia analysis for diagnostic purposes. Agronomía. J. 71:343-348.

Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1966. Soil fertility and fertilizars. macMillan. Nueva York. 694 p.

Tisdale, S. L. y W. L., Nelson. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. México: UTEHA, 760 p.

Turnbull, C.R.A.; C.L. Beadle.; P.W. West y R.N. Cromer. 1994. Copper deficiency a probable cause of stem deformity in fertilised *Eucalyptus nitens*. Canadian Journal Forest Research 24: 1434-1439.

Uehara G. and G. Gavin. 1981. The Mineralogy, Chemistry, and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays. Westview Press, Inc. Boulder. Colorado United States of América. 182 p.

Ulrich, A. 1948. Plant Analysis Methods and interpretation of results. In: The American Potash Institute. Diagnostic techniques for soil and crops. Washington. 157-198p.

- Vale, F.R., R.F. Novais, N.F. Barros and R. Santa Ana. 1984. Effects of aluminum on the kinetics of nitrate and ammonium uptake by intact roots of *Eucalytus alba*. (In Portuguese with English abstract.) Rev. Árvore 8:123-132.
- Vogt, K.A., C. C. Grier and D.J. Vogt. 1986. Production, turnover and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forest. Adv. Ecol. Res. 15: 303-377
- Wadt, P.G.S. 1996. Os método de chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendacao (DRIS) na avalicao nutricional de plantios de eucaliptus. 123 p.
- Wadt P.G.S. y R.F. Novais. 1999. Normas preliminares do sistema Integrado de diagnose e recomendacao para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Urophylla*. Scientia Forestales. (55):145-154
- Wadt, P.G.S.; R.F. Novais.; V.H. Alvarez.; N.F. De Barros e L.D. Dias. 1999. Variacoes no estado nutricional de eucaliptos influencia do material genético e da idade da arbore. Revista Brasileira de Ciencias do Suelo. 34(10):1797 – 1803.
- Westerman, R.L. 1990. Soil testing and Plant analysis. Third ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Wong, M.T F., Akyeampong. E., Nortcliff, S., Roa, M.R and Swift, R.S. 1995. Initial responses of maiz and beans to decreased coricentratoris of monomeric inorganic aluminium with applicatioii of mariure or tree prunings to and Oxisol in Burundi. Plant and Soil 171: 275- 282.

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1. Resultado análisis tejido vegetal de árboles de eucalipto en diferentes edades.

Siti o	Edad	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	Años	----- % -----					----- mg kg ⁻¹ -----					
1	1.0	1.96	0.13	0.87	0.77	0.33	0.19	50.28	194.68	50.10	10.40	53.45
2	1.5	1.91	0.12	0.66	0.79	0.36	0.06	59.73	96.33	79.50	13.75	37.93
3	3.0	1.62	0.06	0.52	0.78	0.34	0.20	55.48	317.55	46.45	13.30	43.10
4	3.5	1.47	0.03	0.87	0.44	0.35	0.15	27.23	352.75	51.60	14.45	29.31
5	3.5	0.91	0.03	0.73	0.80	0.29	0.11	32.28	400.85	7.45	9.60	37.93
6	4.0	1.20	0.19	0.56	0.53	0.46	0.13	25.63	295.65	5.70	12.95	39.66
7	5.0	1.50	0.05	0.64	0.64	0.39	0.16	44.28	203.58	125.10	13.25	46.55
8	6.6	1.14	0.10	0.49	0.61	0.36	0.10	39.18	148.98	28.80	10.65	39.66
9	7.0	1.77	0.08	0.66	0.70	0.23	0.10	31.43	164.98	366.80	9.70	44.83
10	13.9	1.45	0.08	0.81	0.79	0.34	0.16	42.43	285.95	38.50	14.05	36.21

**7.2 Anexo 2. Estándares Kenworthy establecidos para plantaciones
jóvenes de eucalipto**

Nutrimento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	-----%-----					-----mg kg ⁻¹ -----				
	2.36	0.14								
Media	9	6	1.08	0.451	0.248	67.57	185.7	19.06	3.51	35.41
	17.6		20.3						61.8	
CV	5	30.4	2	25.43	18.06	40.53	82.86	30.99	2	51.81

7.3 Anexo 3. Estándares DRIS

Nº	Relación	Media	Varianza	CV	Nº	Relación	Media	Varianza	CV
1	N/P	17.7291	22.08896	26.50941	56	Mg/B	0.00626	0.00000	28.89968
2	N/S	20.6588	79.20090	43.07840	57	Mg/Zn	0.02062	0.00006	36.52753
3	N/K	2.72485	0.60528	28.55184	58	Mg/Mn	0.00154	0.00000	65.15266
4	N/Ca	3.47247	0.82911	26.22203	59	Mg/Fe	0.00318	0.00000	39.58499
5	N/Mg	6.91599	2.51273	22.92021	60	Mg/Cu	0.06349	0.00086	46.28985
6	N/B	0.04087	0.00019	33.81354	61	B/N	27.57550	97.63175	35.83209
7	N/Zn	0.12916	0.00114	26.19442	62	B/P	392.7504	21433.92302	37.27641
8	N/Mn	0.00969	0.00003	59.13983	63	B/S	750.3454	67568.60785	34.64268
9	N/Fe	0.02075	0.00008	42.58659	64	B/K	70.48803	1462.38945	54.25205
10	N/Cu	0.40407	0.03283	44.84084	65	B/Ca	83.39567	1057.79867	38.99941
11	P/N	0.06062	0.00028	27.79396	66	B/Mg	173.66225	2742.48976	30.15554
12	P/S	1.33900	0.64676	60.06080	67	B/Zn	3.60378	3.12472	49.05097
13	P/K	0.16067	0.00305	34.34912	68	B/Mn	0.26224	0.03513	71.47083
14	P/Ca	0.20581	0.00489	33.95942	69	B/Fe	0.51721	0.03257	34.89597
15	P/Mg	0.40843	0.01171	26.49756	70	B/Cu	10.92463	35.31241	54.39475
16	P/B	0.00288	0.00000	34.90932	71	Zn/N	8.17336	3.17555	21.80263
17	P/Zn	0.00913	0.00001	27.44287	72	Zn/P	116.93385	824.04703	24.54911
18	P/Mn	0.00070	0.00000	62.65192	73	Zn/S	234.57695	5531.07530	31.70439
19	P/Fe	0.00143	0.00000	37.96966	74	Zn/K	20.25336	62.21274	38.94418
20	P/Cu	0.02885	0.00022	51.73396	75	Zn/Ca	25.20049	69.58362	33.10126
21	S/N	0.05886	0.00067	43.87407	76	Zn/Mg	53.40258	220.75540	27.82232
22	S/P	1.10796	0.45090	60.60627	77	Zn/B	0.33556	0.01827	40.27590
23	S/K	0.16606	0.00846	55.37320	78	Zn/Mn	0.07778	0.00199	57.41210
24	S/Ca	0.21162	0.01401	55.92856	79	Zn/Fe	0.17031	0.00738	50.44857
25	S/Mg	0.41164	0.04674	52.52003	80	Zn/Cu	3.22777	2.12971	45.21240
26	S/B	0.00151	0.00000	38.25041	81	Mn/N	134.62959	5326.97873	54.21257
27	S/Zn	0.00526	0.00001	68.41182	82	Mn/P	1953.47225	1305865.37475	58.49813
28	S/Mn	0.00038	0.00000	80.63975	83	Mn/S	3808.67289	5183273.79526	59.77621
29	S/Fe	0.00081	0.00000	63.27635	84	Mn/K	334.59956	49338.79418	66.38484
30	S/Cu	0.01537	0.00008	56.94673	85	Mn/Ca	405.18626	43552.83385	51.50549
31	K/N	0.45396	0.14538	83.99166	86	Mn/Mg	872.49871	227371.80974	54.65168
32	K/P	7.62320	29.10946	70.77495	87	Mn/B	5.41005	11.22604	61.93152
33	K/S	10.29480	154.89765	120.89394	88	Mn/Zn	17.17735	100.02948	58.22478
34	K/Ca	1.50982	1.37261	77.59741	89	Mn/Fe	2.80329	4.77629	77.96084
35	K/Mg	3.08763	6.36843	81.73180	90	Mn/Cu	52.66492	1052.66418	61.60607
36	K/B	0.02379	0.00065	107.38538	91	Fe/N	58.70096	734.28292	46.16220
37	K/Zn	0.07274	0.00541	101.09841	92	Fe/P	316.82459	114833.85870	106.95870
38	K/Mn	0.00527	0.00003	106.72321	93	Fe/S	1644.82222	638424.45681	48.57757
39	K/Fe	0.01170	0.00015	105.77963	94	Fe/K	149.26587	8917.92300	63.26614
40	K/Cu	0.23855	0.08900	125.05979	95	Fe/Ca	179.25535	8155.39727	50.37910

N°	Relación	Media	Varianza	CV	N°	Relación	Media	Varianza	CV
41	Ca/N	0.31006	0.00832	29.42016	96	Fe/Mg	367.93800	22301.91033	40.58788
42	Ca/P	5.34391	2.56710	29.98213	97	Fe/B	2.15840	0.52123	33.44898
43	Ca/S	6.67908	15.86424	59.63390	98	Fe/Zn	7.59120	16.93062	54.20334
44	Ca/K	0.82571	0.09527	37.38087	99	Fe/Mn	0.55934	0.18059	75.97561
45	Ca/Mg	2.09486	0.36741	28.93474	100	Fe/Cu	23.98649	255.61930	66.65460
46	Ca/B	0.01384	0.00003	38.09539	101	Cu/N	2.93297	1.30721	38.98209
47	Ca/Zn	0.04463	0.00029	38.30703	102	Cu/P	42.01389	280.23204	39.84428
48	Ca/Mn	0.00331	0.00000	67.33498	103	Cu/S	81.55597	1206.09745	42.58292
49	Ca/Fe	0.00713	0.00001	50.29303	104	Cu/K	7.30122	13.36798	50.07692
50	Ca/Cu	0.13466	0.00348	43.80581	105	Cu/Ca	8.77410	12.81230	40.79537
51	Mg/N	0.15086	0.00103	21.22852	106	Cu/Mg	18.99279	63.39469	41.92157
52	Mg/P	2.60614	0.41146	24.61307	107	Cu/B	0.11784	0.00342	49.63983
53	Mg/S	3.14161	2.32816	48.56842	108	Cu/Zn	0.37303	0.03269	48.47068
54	Mg/K	0.40867	0.02030	34.86538	109	Cu/Mn	0.02795	0.00040	71.55242
55	Mg/Ca	0.51217	0.01740	25.75419	110	Cu/Fe	0.06225	0.00162	64.66689