



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas

POSTGRADO EN SISTEMAS SUSTENTABLES DE
PRODUCCIÓN EN EL TRÓPICO

**DEMANDA NUTRIMENTAL EN PLANTACIONES JÓVENES DE
Eucalyptus pellita F. Muell EN ACRISOLES DE LA SABANA DE
HUIMANGUILLO.**

JOSÉ PABLO GAMBOA ZÚÑIGA

TESINA
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE

MAESTRÍA TECNOLÓGICA

H. CÁRDENAS, TABASCO

2013

La presente tesis titulada **Demanda nutrimental en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus pellita* F. Muell en Acrisoles de la sabana de Huimanguillo**, realizada por el estudiante: **José Pablo Gamboa Zúñiga**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido a probada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN

SISTEMAS SUSTENTABLES DE PRODUCCIÓN EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR:

CONSEJERO



DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

REVISOR:



DR. DAVID JESÚS PALMA LÓPEZ

H. Cárdenas, Tabasco, 23 Mayo 2013

Resumen

Se determinó la demanda nutrimental en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus pellita*. Para ello se delimitaron rodales de 9 y 22 meses de edad, en ambos se describieron perfiles para determinar la asociación de suelo bajo la cual crecen. Se escogieron 4 individuos vigorosos de categorías diamétricas superiores en cada plantación (n=4). Se extrajo la biomasa total (aérea y radical) de cada individuo, se seccionó en: tronco, ramas, hojas y raíz. Se pesó en verde y se secó en un horno de circulación forzada a 70°C hasta peso constante. Luego se tomaron muestras de las distintas secciones y se llevaron a laboratorio para determinar la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio y de los otros elementos esenciales.

Ambos rodales crecen bajo la asociación AcrisolCutánicoPlínticoÚmbrico (ACctplum). La biomasa radical a los 9 meses representó un 31% de la biomasa total, mientras que a los 22 meses solo un 16%, la exploración radical es muy agresiva en las etapas iniciales; además, a los 22 meses el cultivo tiene potencial para producir 54.766 t ha⁻¹ de biomasa seca, lo que la convierte en una especie con alto potencial para fijación de carbono y para dendro-energía. Los modelos alométricos desarrollados mostraron coeficientes de correlación superiores a 0.94, con lo cual la biomasa seca, tanto aérea como radical, puede ser predicha con una variable de muy fácil medición como el dap.

La demanda nutrimental mostró que el cultivo a los 22 meses consume 303.1, 34.2, 86.3, 35.1 y 30.2 kg ha⁻¹ de N, P, K, Mg y Fe, respectivamente. Estos resultados fundamentan un modelo que permite estimar dosis óptimas de fertilización, que favorecería un aumento en la productividad y una mejora en la economía del proyecto silvícola.

Palabras clave: *suelos ácidos, dosis de fertilización, biomasa, nutrientes esenciales.*

Abstract

Nutrient demand was determined in young plantations of *Eucalyptus pellita*. For this we identified stands, of 9 and 22 months old, in both profiles were described to determine the soil association under which they were growing. Four vigorous individuals were selected between higher diameter categories for each plantation (n = 4). Total biomass (shoot and root) of each individual were extracted and sectioned in: trunk, branches, leaves and roots. All of them were weighed and dried in a forced circulation oven at 70 ° C to constant weight. Samples were taken to the laboratory to determine concentration of nitrogen, phosphorus, potassium and the other essential nutrients.

Both stands grow under AcrisolCutanicPlinthicUmbric (ACctplum). Root biomass at 9 months represents 31% of total biomass, whereas at 22 months only 16%, the radical exploration is very aggressive in the early stages; in addition, to the 22 months the plantation has the potential to produce 54,766 t ha⁻¹ of dry biomass, which makes it a species with high potential for carbon sequestration and wood energy. Allometric models developed showed correlation coefficients greater than 0.94, which dry biomass, both aerial and radical, can be predicted with a very easy measurement variable as the dbh.

Nutrient demand of the plantation at 22 months was 303.09 kg ha⁻¹, 34.23, 86.27, 35.05 and 30.24 kg ha⁻¹ to N, P, K, Mg and Fe, respectively. Our results based a model that permits estimate optimal fertilization doses, which will result in increased productivity and improved silvicultural project economics

Keywords: *Acids soils, fertilization doses, biomass, essential nutrients.*

Dedico esta tesis a:

A **Dios**, Padre, Hijo y Espíritu, fuente de la sabiduría, por haberme dado la oportunidad de comprender mejor su creación a través de este estudio.

A mi esposa, Eneyda Díaz y mis hermosos bebés, Fernando Gabriel y José Pablo, por ser los motores de mi vida día con día.

A mi papá, Fernando, porque desde el cielo me sigue cuidando, y mi mamá, Hilda, porque sigue siendo mi ángel en esta tierra.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por creer en mí y apoyarme no sólo en mis estudios sino por ser un gran amigo y consejero. A la Dra. Eustolia García porque su espíritu de servicio ha sido de gran apoyo en el transcurso de mis estudios.

Al ing. Oscar Cantón Armengol por permitirme realizar estos estudios y financiar parte de la tesis. Por creer y fomentar la investigación forestal aplicada.

A todos los profesores del Colegio, por enriquecerme con sus enseñanzas y experiencias.

A mis compañeros de estudio, por los gratos recuerdos y lindas vivencias que quedarán en mi memoria.

...GRACIAS

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	2
3.1 Costos/beneficio de la fertilización en plantaciones forestales.....	2
3.2 Demanda nutrimental.....	3
3.3 <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	5
3. Objetivos	6
4.1 Objetivo General.....	6
4.2 Objetivos específicos.....	6
4. Materiales y métodos	7
5.1 Área experimental.....	7
5.2 Determinación del tipo de suelo.....	8
5.3 Determinación de biomasa.....	8
5.4 Determinación de la demanda.....	8
5. Resultados y discusión.....	10
6.1 Determinación del tipo de suelo.....	10
6.2 Determinación de biomasa.....	13
6.3 Determinación de la demanda	16
6. Conclusiones	21
7. Bibliografía	23
8. Anexos	26

ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1. Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio, expresada en kilogramos por hectárea, para varias especies forestales tropicales en fases tempranas de crecimiento.	3
Cuadro 2. Rangos de concentración de nutrientes en la primera hoja joven expandida en árboles dos a tres años de edad.....	4
Cuadro 3. Rangos de concentración de nutrientes en la primera hoja joven expandida en plántulas de tres meses de edad (oeste de Australia).....	5
Cuadro 4: Biomasa obtenida, en peso seco, para plantaciones de <i>E. pellita</i> F. Muell de 9 y 22 meses de edad y con una población de 1050 árboles ha⁻¹.....	13
Cuadro 5: Matriz de correlación entre la biomasa seca (gr árbol⁻¹) de distintas secciones de árboles y parámetros de medición en plantaciones puras de <i>E. pellita</i> F. Muell, establecidas en la sabana de Huimanguillo.....	16
Cuadro 6: Modelos alométricos desarrollados para estimar la biomasa seca aérea y radical, en gramos por árbol, para plantaciones puras de <i>E. pellita</i> F. Muell, en la sabana de Huimanguillo.....	16
Cuadro 7: Requerimiento interno de los elementos mayores obtenidos para distintas secciones de árboles de <i>E. pellita</i> F. Muell de 9 meses de edad.	17
Cuadro 8: Requerimiento interno de los elementos menores obtenidos para distintas secciones de árboles de <i>E. pellita</i> F. Muell de 9 meses de edad.	17
Cuadro 9: Requerimiento interno de los elementos mayores obtenidos para distintas secciones de árboles de <i>E. pellita</i> F. Muell de 22 meses de edad.	17
Cuadro 10: Requerimiento interno de los elementos menores obtenidos para distintas secciones de árboles de <i>E. pellita</i> F. Muell de 22 meses de edad.	18
Cuadro 11: Matriz de correlación para concentración de nutrientes obtenida para árboles de 9 y 22 meses de edad de <i>E. pellita</i> F. Muell en la sabana de Huimanguillo.....	20
Cuadro 12: Demanda nutrimental, en kg ha⁻¹, para plantaciones jóvenes de <i>E. pellita</i> F. Muell en la sabana de Huimanguillo.....	20

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de las plantaciones de <i>E. pellita</i> F. Muell sometidas a estudio. Huimanguillo, Tabasco.	9
Figura 2: Perfil representativo de la subunidad Acrisol Cutánico Plíntico Úmbrico (Hiperdístico, Arcílico) (ACctplum(dyhce)) descrito en las plantaciones de 22 meses de edad de <i>E. pellita</i> F. Muell.....	11
Figura 3: Perfil representativo de la subunidad Acrisol Cutánico Plíntico Úmbrico (Férrico, Hiperdístico) (ACctplum(frdyh)) descrito en las plantaciones de 9 meses de edad de <i>E. pellita</i> F. Muell.....	12
Figura 4: Distribución de la biomasa en las distintas secciones de árboles de <i>E. pellita</i> F. Muell de 9 y 22 meses de edad. Sabana de Huimanguillo	15

1. Introducción.

Las plantaciones forestales tropicales están tomando un papel preponderante para revertir el cambio climático y abastecer a las actuales y futuras generaciones de productos maderables sustentables. Es por eso que estos ecosistemas boscosos han ido en aumento año con año, su productividad depende de una serie de factores ambientales como radiación, temperatura, agua, entre otros, sin embargo, mayormente está relacionada con la absorción y disponibilidad de nutrientes (Binkley,1993).

El estado de Tabasco y en general la cuenca forestal sur sureste de México poseen un elevado potencial productivo para desarrollar una industria forestal (J.P.C., 2004), sin embargo, muchos de los suelos que conforman este estado presentan limitaciones importantes que deben ser estudiadas mas a detalle. Uno de los grupos mayores de suelo de gran importancia en sistemas forestales son los Acrisoles, representan un 7.9% de la superficie total del estado de Tabasco (Palma *et al.*, 2007) y muchos de los grandes proyectos silvícolas de México se desarrollan en la sabana de Huimanguillo, donde se hace presente este tipo de suelo.

Los Acrisoles se caracterizan por ser suelos muy intemperizados, lixiviados y ácidos. Presentan una Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja en todo el perfil acentuándose en el horizonte B, donde la acidez intercambiable aumenta considerablemente, todo esto provoca que el fósforo asimilable se encuentre casi completamente fijado por el hierro y el aluminio y los contenidos de nitrógeno así como los de los demás elementos sean pobres, (Palma-López *et al.*, 2007). Ante este escenario, los especialistas forestales deben saber realizar un manejo racional de nutrientes ya que los sistemas productivos con especies de crecimiento rápido causan traslados importantes de elementos nutritivos desde el suelo a la biomasa, que en parte desaparecen del sistema con la madera extraída durante la cosecha (Aparicio, 2001).

Para realizar este manejo intensivo es necesario determinar la demanda de nutrientes del cultivo y desarrollar curvas de absorción, que permitan estimar la extracción total de nutrientes en cada etapa fenológica de la especie, además se puede desarrollar índices de estabilidad y estimar la cantidad de nutrientes que se reciclan a través de los residuos; todo esto con el fin de justificar aplicaciones adecuadas de nutrientes, mejorando la economía del proyecto y optimizando los rendimientos del cultivo (Arias *et al.*, 2011; Alvarado y Raigosa, 2012).

El *Eucalyptus pellita* es una especie de rápido crecimiento originaria de Australia que ha demostrado tener altos rendimientos en suelos Acrisoles húmicos de la sabana de Huimanguillo (Martínez, 2012; Rodríguez, 2012). Su madera es de color rojo a rojo oscuro, fuerte y durable, por lo que tiene una amplia demanda y variedad de usos, principalmente para la vivienda y la construcción pesada (FAO, 1981). Sin embargo, existe muy poca información acerca de sus demandas nutrimentales y los especialistas forestales no cuentan con las herramientas idóneas para administrar los nutrientes al suelo que requiere este cultivo.

Es por eso que se desarrolla esta investigación cuyo objetivo es determinar la demanda nutrimental en los primeros estadios de crecimiento de plantaciones de *E.pellita* F. Muell en suelos Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo.

2. Revisión de literatura.

Los bosques, la actividad forestal y los productos forestales contribuyen de forma decisiva al desarrollo sostenible, pero las plantaciones forestales tropicales vistas como un cultivo intensivo, no son manejadas siempre practicando principios de sostenibilidad (FAO, 2012). Uno de los temas más discutidos a través de los años en silvicultura es la necesidad de aplicar o no fertilizantes o enmiendas al cultivo forestal, sobre todo por el costo económico que ello implica (Alvarado y Raigosa, 2012; Binkley, 1993).

3.1 Costos/beneficio de la fertilización en plantaciones forestales.

En plantaciones de *E. pellita* en el sureste de México los costos por aplicar enmiendas (cal agrícola y roca fosfórica) al suelo y fertilizantes al establecimiento pueden costar hasta un 25% del presupuesto destinado para el primer año de establecimiento, lo cual lo convierte en un costo significativo. Según Alvarado y Raigosa (2012), el costo por reponer los nutrientes necesarios para el manejo sostenible de plantaciones forestales intensivas es de 3 a 6 veces más alto que el costo para realizar la misma operación en plantaciones convencionales. Estos mismos autores mencionan que la extracción de 200 t ha⁻¹ de pulpa para papel de *P. caribaea* en Surinam puede remover 576 kg de N, 36 kg de P, 506 kg de K, 1218 kg de Ca y 99 kg de Mg, con un costo total por reposición de fertilizante de US\$1600 ha⁻¹; si se asume que la pérdida total del bosque tiene un efecto destructivo del ecosistema, la pérdida total de nutrientes por erosión llega a ser mayor y el costo de reposición de los mismos podría calcularse en US\$14000 ha⁻¹. Al respecto Evans (1992), reporta una media anual de remoción de nutrientes para una plantación de *Pinus patula* en Tanzania cuyos valores son de 40 kg ha⁻¹ de N, 4 kg ha⁻¹ de P, 23 kg ha⁻¹ de K, 25 kg ha⁻¹ de Ca, 6 kg ha⁻¹ de Mg; sin embargo Ladrach (2010), reporta que gracias a la aplicación de fertilizantes el crecimiento de los árboles aumenta entre 8 y 30 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en un turno de 6 años en *E. globulus* y de 3 a 11 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en *E. grandis* a la edad de la cosecha. Con estos costos tan altos por reposición de nutrientes por un lado, y los beneficios aparentes en la productividad por aplicación de fertilizantes por otro, surge la discusión de si es sostenible económica y ecológicamente la reposición de estos nutrientes.

Binkley (1993) aporta una solución a este problema inclinando la balanza a favor de aplicar fertilizantes, no sólo porque demuestra que existe un beneficio económico a la hora de fertilizar sino también porque al reponer los nutrientes extraídos a través de la biomasa cosechada se mantiene el equilibrio del sistema. Sin embargo, algo en lo que coinciden los autores mencionados es que los cálculos de inversión de fertilizantes en plantaciones deben hacerse para cada sitio, en función de los balances de

nutrimentos de cada especie, según el tipo de suelo en que se desarrolle y las condiciones ambientales imperantes del sitio.

3.2 Demanda nutrimental.

La mejor manera de averiguar las necesidades nutricionales de un cultivo es determinando su demanda nutrimental a través de la vida útil, esta técnica también es conocida como “curvas de absorción” y permite estimar la extracción total de nutrimentos de la especie, cuantificar los requisitos nutricionales de un turno de cosecha, estimar la cantidad de nutrimentos que se recicla a través de los residuos y justificar aplicaciones racionales de nutrientes (Bertsch, 2003). Sin embargo, en un cultivo forestal, por ser de ciclo largo, se dificulta el llevar registro año con año de su demanda, por lo que para hacer este tipo de estudios se recurre a la técnica conocida como “plantaciones de serie de tiempo falsas” (árboles de plantaciones de diferente edad), en donde los factores ambientales de cada plantación estudiada debe ser similares, en particular el tipo de suelo. Por ejemplo, las curvas de absorción para teca (*Tectonagrandis*) y pino (*P. caribaea*) presentan diferencias muy notorias en la absorción de nutrientes comparadas en el mismo intervalo de tiempo; la teca demanda más potasio que cualquier otro elemento en 16 años de crecimiento, mientras que pino demanda más nitrógeno en el mismo lapso de tiempo; no obstante, teca absorbe más de 2500 kg ha⁻¹ de N y pino necesita poco más de 200 kg ha⁻¹ de este elemento a la misma edad (16 años). Es por eso que los estudios de demanda nutrimental varían según la especie, densidad de siembra, clima, entre otros (Alvarado y Raigosa, 2012). A continuación se expone una recopilación de información donde se expone la demanda de algunas especies forestales en sus primeros meses de vida (Cuadro 1).

Cuadro 1. Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio, expresada en kilogramos por hectárea, para varias especies forestales tropicales en fases tempranas de crecimiento.

Edad (meses)	Especie	kg ha ⁻¹		
		N	P	K
10	Teca*	48,49	3,68	6,20
10	Melina*	172,00	7,40	10,64
10	Cedro*	34,19	1,72	3,58
10	Caoba*	16,53	1,20	1,74
12	<i>E. grandis</i> **	85,00	6,00	52,00
24	<i>E. grandis</i> **	234,00	16,00	134,00

Fuentes: *Pérez (2009), **Alvarado y Raigosa (2012)

Existen tablas de niveles críticos foliares donde aparece el contenido necesario que un elemento debe tener en las hojas para un crecimiento adecuado del árbol (Dell et

al., 1995; Alvarado y Raigosa, 2012). Estos estudios normalmente se realizan a partir de la primera hoja joven, ya que es en este punto donde se alcanza el máximo contenido de nutrientes y así se conoce mejor si hay deficiencias en el cultivo (Binkley, 1993). En cambio, los estudios de demanda nutrimental se hacen a partir de una muestra del tejido seco, donde el árbol se secciona en partes (rama, tallo, corteza, hoja y raíz), y de cada sección, se extraen muestras secas para ser llevadas a laboratorio para su análisis (Arias, *et al.*, 2011). En el cuadro 2 se muestran las concentraciones de nutrientes adecuadas para tres especies de eucalipto de dos a tres años de edad, y en el cuadro 3 se muestran los mismos valores para plántulas de tres meses de edad. En ambos cuadros se observa que las concentraciones adecuadas para la mayoría de los nutrientes son parecidas sin importar la edad (pero si la especie), esto debido a que la mayoría de los elementos poseen una libre movilidad a través del floema y son retranslocados de las hojas senescentes hacia las hojas jóvenes en un proceso conocido como translocación de nutrientes. En cambio Arias *et al.* (2011), reportan concentración de nutrientes en tejidos de seis especies forestales tropicales donde las concentraciones varían según la edad y la especie, esto porque la muestra de hojas fue aleatoria, es decir se incluyeron hojas jóvenes y senescentes.

Cuadro 2. Rangos de concentración de nutrientes en la primera hoja joven expandida en árboles dos a tres años de edad.

Nutriente	<i>E. grandis</i>		<i>E. urophylla</i>		<i>E. urophylla-grandis</i>	
	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado
mg g⁻¹						
N		18 - 34		11 - 30	8 - 11	18 - 29
P		1.0 - 2.2	0.5 - 0.9	1.0 - 3.1	0.9 - 1.0	1.5 - 2.6
K	5 - 6	9 - 18		8 - 14	2 - 6	9 - 15
Ca		3 - 6		3 - 5		2.1 - 7.5
Mg		1.1 - 2.1		1.9 - 6.4	0.2 - 0.4	1.1 - 3.6
S		1.5 - 2.3		1.0 - 2.7		1.2 - 2.9
ug g⁻¹						
Fe		63 - 128	9 - 29	33 - 54		41 - 98
Zn		17 - 42	9 - 12	16 - 47		13 - 29
Mn		193 - 547		130 - 658		134 - 2316
Cu		1.7 - 7.4	0.8 - 1.3	1.8 - 19		3.5 - 13.4
B	5 - 8	15 - 27	7 - 15	16 - 52	8 - 12	13 - 30

Fuente: Dellet *al.*, 1995.

Los estudios de demanda nutrimental llevan implícito la cuantificación de la biomasa, ya que el resultado de las muestras de los análisis se extrapola a la cantidad de biomasa seca obtenida del árbol. La biomasa forestal se define como el peso seco (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima o por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas de biomasa por hectárea en peso seco (o verde), y para determinarla es necesario separarla

en sus componentes, donde los más típicos corresponden a la biomasa de fuste, rama, hoja, corteza, raíz, hojarasca y madera muerta. Muchos estudios de biomasa se enfocan solo en la parte aérea del árbol, principalmente por la dificultad de extraer la raíz completa (Lockie, 2010; Mora, 2010; Arias *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Rangos de concentración de nutrientes en la primera hoja joven expandida en plántulas de tres meses de edad (oeste de Australia).

Nutriente	<i>E. pellita</i>		<i>E. grandis</i>		<i>E. urophylla</i>	
	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado	Deficiente	Adecuado
mg g⁻¹						
N	7 - 10	25 - 40	7 - 12	25 - 38	6 - 11	25 - 40
P	0.3 - 0.4	1.3 - 3.0	0.7 - 0.8	1.5 - 2.2	0.3 - 0.4	1.9 - 4.0
K	3 - 4	9 - 15	5	12 - 14	3 - 5	15 - 18
Ca		4 - 11	0.2	5 - 8	0.8	3.1 - 4.3
Mg	1.0 - 1.9	3.6 - 4.4	0.6	1.6 - 2.0	0.7 - 0.8	2.1 - 2.3
S		2.3	1.1	1.9 - 3.2	0.9	2.2 - 2.6
ug g⁻¹						
Fe		57 - 79	17 - 26	65 - 80	20 - 32	52 - 97
Zn	5 - 7	13 - 18	7 - 10	17 - 22	8 - 10	13 - 31
Mn		80 - 168	8 - 11	50 - 546	5 - 16	43 - 109
Cu		3.5 - 3.8	0.5 - 1.5	3.0 - 5.5	0.4 - 1.0	3.4 - 4.5
B		20 - 32	8 - 10	15 - 27	8	12 - 27

Fuente: Dellet *al.*, 1995.

3.3 *Eucalyptus pellita* F. Muell.

Es una de las especies del género *Eucalyptus* cuya madera puede ser utilizada en una amplia variedad de usos, principalmente para la vivienda y en la construcción pesada (FAO, 1981), ya que no presenta mucho del grano en espiral, propio de las maderas de este género (Boland *et al.*, 2006). Además, posee un alto potencial productivo en zonas de baja fertilidad, por lo que se convierte en una opción muy atractiva para ser utilizada en plantaciones operativas. Su nombre científico deriva del Latín *pellitus* (cubierto por una piel) y es conocida comúnmente por el nombre de “red mahogany”, en Australia, debido al color rojo-caoba de su madera. Es una especie arbórea perteneciente a la familia de las Mirtáceas, endémica del continente australiano; tiene dos áreas de presencia muy distanciadas: península del Cabo York, a una latitud de 12-18 ° S y cercanías de la isla Fraser, Nueva Gales del sur, a una latitud de 27-36 ° S (FAO, 1981). También se extiende a las zonas bajas del sur de Nueva Guinea (Boland *et al.*, 2006).

Particularmente, el *E. pellita* es un árbol de tamaño medio, superando los 40 m de altura y 1 m en diámetro altura al pecho con excelente forma de fuste. En suelos pobres llega a medir entre 15 y 20 metros de altura (IPEF, 2011). Una de las ventajas más importantes es que tolera suelos pobres e infértiles, soporta suelos con texturas que

van desde arenosas y poco profundas a suelos podzólicos y margas profundas (Álvarez y García, 2007)

En su centro de origen, *E. pellita* se encuentra hasta los 800 msnm con precipitaciones de 900-2400 mm muy uniformes en verano, las temperaturas máximas del mes más cálido son de 24 a 33°C y la mínima del mes más frío van de 12 a 16°C; esta especie arbórea posee buen tronco con una copa fuertemente ramificada; la corteza que presenta es fibrosa corta, áspera hasta en las ramas pequeñas; las hojas juveniles, son opuestas y luego subopuestas, pecioladas y lanceoladas, mientras que las hojas adultas, presentan formación alterna, pero a veces retornan a subopuestas, pecioladas, en ocasiones se presentan ligeramente falciformes; llega a tener 69 semillas viables por gramo (FAO, 1981).

Dombro (2010), reporta que tiene un crecimiento en altura promedio de 2 metros en los primeros 12 meses, tiene una tasa de producción promedio de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; sin embargo mediante un buen manejo puede llegar a alcanzar una tasa de producción superior a los 50 o incluso $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Rodríguez (2012) reporta un IMA en altura de 5.59 m y un incremento en volumen de $141 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para una plantación de 30 meses en la sabana de Huimanguillo, de la misma forma Martínez (2011) reporta un rango de crecimientos en altura que van desde los 4.47 a los 5.28 m de altura para un ensayo de 30 procedencias de *E. pellita* en la misma zona. No se encontró en la literatura datos de exportación de nutrientes y/o requerimientos específicos de propiedades de suelo para esta especie

3. Objetivos

4.1 Objetivo General.

- a. Determinar la demanda nutrimental de plantaciones de *E. pellita* F. Muell de 9 y 22 meses de edad en suelos Acrisoles de la sabana de Huimanguillo.

4.2 Objetivos específicos.

- a. Determinar la asociación de suelo en la que se desarrolla cada plantación bajo estudio.
- b. Cuantificar la biomasa total en árboles de *E. pellita* de 9 y 22 meses de edad.
- c. Determinar la absorción de nutrientes en plantaciones de *E. pellita* de 9 y 22 meses de edad a través de curvas de absorción.

4. Materiales y métodos

Para desarrollar este estudio se escogieron cuatro árboles de una plantación de 9 meses y cuatro árboles de una plantación de 22 meses. Los árboles escogidos fueron los mejores en cuanto altura, diámetro y vigor, siguiendo el principio de Alvarado, y Raigosa(2012), que indica que los estudios de demanda deben ser realizados en los mejores sitios de manera que si se repone esta cantidad de nutrientes en cualquier otro ecosistema, se estaría manteniendo el balance ecológico. Además, la técnica utilizada es la de serie de tiempo falsas (árboles de plantaciones de diferente edad) en donde los factores ambientales de cada plantación estudiada deben ser similares, en particular el tipo de suelo.

5.1 Área experimental

El experimento se realizó en el mes de junio del 2011, en el Rancho AGROPICAL S.A de C.V. propiedad del silvicultor cooperante Oscar Cantón Armengol ubicado en el Km 34 de la carretera Francisco Rueda, Colonia Unidad Modelo Sabana Larga, en el municipio de Huimanguillo del estado de Tabasco, México con coordenadas 17° 43'05,58'' de latitud norte y 93° 41' 15.79'' de longitud oeste, a 30 msnm (Figura 1). Las plantaciones en estudio fueron sembradas en el mes de agosto del año 2009 y en el mes de setiembre del año 2010. En las plantaciones de veintidós meses se preparó el sitio subsoleando y acamelloneando, se aplicaron 2 t ha⁻¹ de cal agrícola y 1.5 t ha⁻¹ de roca fosfórica, en cambio en la plantación de nueve meses de edad no se acamelloneó ni subsoleó, a cambio se hizo un doble paso de rastra pesada y se aplicaron 2 t ha⁻¹ de cal agrícola.

En función de la temperatura y precipitación del estado de Tabasco, pueden distinguirse tres épocas climáticas (Larios y Hernández, 1992). De acuerdo a datos históricos de 40 años de la estación Blasillo de Huimanguillo, la época de lluvia contempla los meses de junio a septiembre, presentándose en julio una disminución de la precipitación y en agosto aumento de la temperatura, su valor máximo se observa en agosto y durante ésta época se concentra el 50 % de la precipitación. La época de nortes comprende de octubre a enero y se caracteriza por una disminución en la precipitación, se registran además las mínimas temperaturas, con medias de 15°C. Se presenta el mayor número de días nublados ocasionando un incremento en humedad relativa y hay presencia de vientos frescos llamados “nortes”. La época seca transcurre durante los meses de febrero a mayo donde hay la menor precipitación del año (17%) y las temperaturas más elevadas con máximas de 40°C. Así como el mayor número de días soleados, hay vientos secos conocidos en la región como “sures”.

Los suelos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, se localizan en lomeríos con pendientes ligeras, son de baja fertilidad, presentan alta acidez con pH que oscilan entre 4.0 a 5.5, y contenidos de materia orgánica de 1.0 a 4.0 %, a veces hasta de 20 %. La

materia orgánica desempeña un papel importante en el suelo ya que aporta una gran variedad de elementos nutritivos para las plantas, y modifica la estructura del mismo, el conocimiento sobre el aporte de nutrientes que efectúa es escaso, por lo que, las estimaciones del suministro de fertilizante al suelo se basan más bien en el rendimiento. Según la cartografía de suelos las plantaciones en estudio se ubican en suelo Acrisol húmico (Palma-López *et al.*, 2007).

5.2 Determinación del tipo de suelo.

Para determinar el tipo de suelo en el que se desarrollan ambas plantaciones se hicieron dos perfiles de suelo a 2 m de profundidad. Los perfiles fueron descritos conforme a la metodología de Cuanalo (1981) y analizados siguiendo la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT-2000). Una vez hecha la descripción de cada perfil se siguió como guía la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007) para determinar la unidad a la que pertenecen.

5.3 Determinación de biomasa.

Se taló cada árbol y se separó el tronco, las ramas, las hojas y la raíz. Para extraer la raíz se demarcó un cuadro de tres metros por tres metros cuyo centro fue el tocón del árbol extraído, se cernieron los primeros 15 cm de suelo para extraer raíces finas, y las raíces grandes y gruesas se desenterraron y se sacaron con cuidado. Luego, con la ayuda de una retroexcavadora se extrajo la raíz pivotante y todas las raíces hasta una profundidad de 1.50 m. Se tuvo cuidado en no dañar la raíz pivotante con el fin de extraerla entera hasta la profundidad estudiada. Una vez obtenida la biomasa aérea y radical se pesó en fresco, luego se puso a secar en el laboratorio a 70°C, en una estufa con circulación forzada de aire, hasta peso seco constante con lo cual se obtuvo su peso en seco.

5.4 Determinación de la demanda.

La cantidad de nutrimento demandado por un cultivo está en función de la producción de biomasa y su requerimiento interno (RI), entendido éste como la concentración óptima del nutrimento en la biomasa aérea total en el momento de la cosecha (Flores M., A., *et al.*, 2012). Una vez obtenida la biomasa total de cada árbol, se extrajo una muestra de cada sección (fuste, ramas, hojas y raíz) y se llevó a laboratorio para determinar la cantidad de nutrientes absorbidos por la planta. Para realizar este trabajo se siguió el método de análisis de tejidos vegetales (Sadzawka, A., *et al.*, 2007)

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Excel y el software libre R.

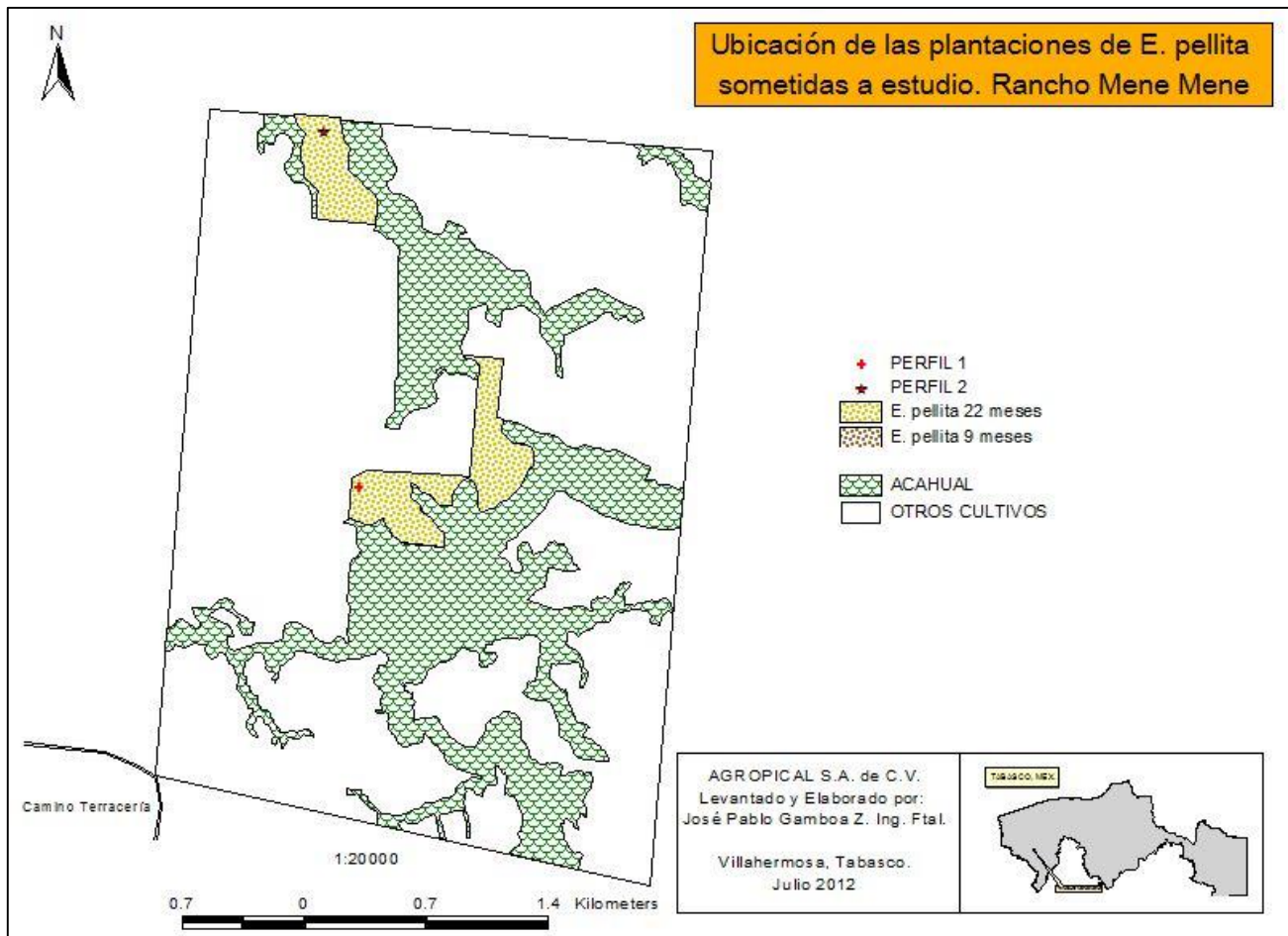


Figura 1: Ubicación geográfica de las plantaciones de *E. pellita* F. Muell sometidas a estudio. Huimanguillo, Tabasco.

5. Resultados y discusión.


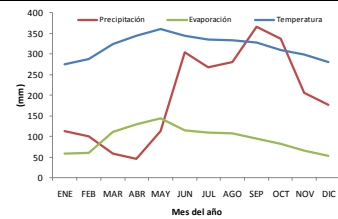
6.1 Determinación del tipo de suelo.

En las figuras 2 y 3 se observa la descripción física y química de cada perfil de suelo. Si confrontamos estas características con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007) podemos afirmar que ambos perfiles corresponden a la asociación Acrisol.

Los Acrisoles (del latín *acris*, muy ácido) son suelos fuertemente intemperizados que se caracterizan por tener mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla), que conllevan a la formación de un horizonte árgico en el subsuelo. Tienen una baja saturación con bases y arcillas de baja actividad en este horizonte. La mayoría presenta un horizonte superficial delgado, pardo, sin embargo, los que pertenecen a la subunidad úmbricos poseen un horizonte A fuertemente oscuro con baja saturación de bases y contenido moderado a alto de materia orgánica. Este es el caso de los perfiles antes descritos. Además se observa en la descripción de los perfiles que hay presencia de plintita (horizonte plíntico) dentro de los 125 cm de profundidad, lo que se refleja en estratos moderada y fuertemente endurecidos junto con la presencia de nódulos de óxido de hierro. Otra particularidad de estos perfiles es la presencia de revestimientos de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Todo esto indica que las plantaciones en estudio se desarrollan dentro de la unidad de suelo Acrisol, lo que coincide con la cartografía de subunidades de suelo realizada por Salgado *et al.* (2007), además pueden ser agregados a la clasificación otros clasificadores primarios y secundarios descritos en las figuras 2 y 3.


De todos los tipos de Acrisol se puede decir que los úmbricos y húmicos son los que mejores características presentan para el desarrollo de cultivos, según Palma-López *et al.* (2007) estas tierras se clasifican por su capacidad de uso como III/S8E1D4, con un uso restringido a cultivos tolerantes a la acidez; las prácticas culturales recomendadas se ligan a encalados, fertilización mineral y control de la erosión, sin embargo, esta subunidad sólo representa el 1% de la superficie de Tabasco. El Acrisol plíntico en cambio es el que más se encuentra presente en el estado, con un 3.4%, pero son suelos cuya capacidad de uso se clasifica como IV/S8E2D4 limitándolo su uso a pastos y cultivos como piña, cítricos y yuca (Palma-López *et al.*, 2007). Según Stape (2012) el grupo de suelo bajo el cual se desarrollan las plantaciones en estudio (Acrisol) presenta condiciones excelentes para el desarrollo de plantaciones de eucalipto siempre y cuando se realice una preparación y manejo adecuado del cultivo.

Realizar entonces un estudio de demanda nutrimental en una asociación de suelo Acrisol resulta muy conveniente porque este tipo de suelo presenta condiciones idóneas para el desarrollo del cultivo y los resultados obtenidos pueden ser extrapolados a los demás tipos de Acrisol, es decir, a un 7.9% de los suelos que componen el estado de Tabasco.

1) Perfil	# 01	9) Material parental	Terrazas del terciario	Foto panorámica	Climatograma
2) Descrito por	José Pablo Gamboa Z., Jesús Obrador Olán, Vinicio Calderón.	10) Flora cultivada	Plantación <i>Eucaliptus pellita</i> , de 12 m. de altura		
3) Fecha	06/04/2011	11) Flora nativa	Acahuales		
4) Localización	N17°48'59.25"W093°40'36.58"	12) Fauna	Chachalaca, gavián, venados		
5) Elevación	20 msnm	13) Presencia de grietas actuales o en alguna parte del año	No		
6) Relieve	Lomerío Suave	14) Aplicación de enmiendas orgánicas ó fertilizantes comerciales	Aplicación roca fosfórica 1.5 tha ⁻¹ y cal agrícola a razón de 2 tha ⁻¹ . Fertilización al cultivo con triple 17		
7) Pendiente	menos del 5%	15) Practicas de manejo con maquinaria o animal	Se emplea maquinaria agrícola para la preparación del terreno.		
8) Drenaje del sitio	Donador	16) Condición climática del día	Lluvioso		

FOTOGRAFIA


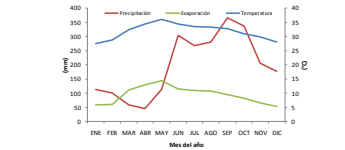
DESCRIPCIÓN DE PERFIL

	Ap Transición entre horizontes media y ondulada, seco, color en húmedo 10YR/2/1 (negro) y en seco 10 YR/3/3 (pardo oscuro). Motas finas, marcadas, muchas de color 10 YR/2/1 (negro). Textura franco; muy pocas piedras, pequeñas, de forma subangular y redondas; estructura poliédrica subangular débilmente desarrollado; consistencia blando muy friable, sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido; pH 4.6, sin estratos endurecidos, continuo; cutanes aglomerados por eluviación, continuos, delgados, dentro y fuera de agregados. Muy pocos nódulos, pequeños y muy pequeños, rojos, duros, de óxidos de hierro de forma poliédrica subangular. Raíces frecuentes, micro, muy finas, finas y medianas. Numerosos poros micro y finos; permeabilidad muy rápida, con presencia de hormigas y lombrices.
	Bt1 Transición entre horizontes media y ondulada, ligeramente húmedo, color en húmedo 7.5YR/5/6 (pardo fuerte) y en seco 7.5 YR/5/8 (pardo fuerte). Motas marcadas, muchas, finísimas y muy finas, de color 10 YR/3/1 (gris muy oscuro). Textura arcillosa; muy pocas piedras y gravas, de forma subangular; estructura poliédrica subangular fuertemente desarrollada; consistencia ligeramente dura, firme cuando húmedo, sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido; pH 4.3, presencia de estratos moderadamente endurecidos, continuo, vesicular; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, en poros y caras de los agregados, minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de hierro. Nódulos abundantes, muy pequeños y pequeños de color rojo, duros, de óxidos de hierro de forma poliédrica subangular. Raíces pocas, micro, muy fino y fino. Numerosos poros micro y finos; permeabilidad rápida.
	Bt2 Transición entre perfil media ondulada, ligeramente húmedo, color en húmedo 10YR/5/6 (pardo amarillento) y en seco 10 YR/5/8 (pardo amarillento). Motas tenues, muchas, finas y medias, de color 10 YR/2/1 (negro). Textura arcillosa; ligeramente pedregoso, gravas de forma redonda y subangular; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, de finas a delgadas; consistencia cuando seco blando, cuando húmedo ligeramente duro, sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido; pH 4.5, presencia de estratos moderadamente endurecidos, continuo, vesicular; cutanes por eluviación, continuos, en poros y caras de los agregados, moderadamente espesos, minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de hierro. Nódulos abundantes, muy pequeños y pequeños de color rojo, poliédrico subangular, duros, de óxidos de hierro. Raíces pocas, micros, muy finos y finos. Poros numerosos, caóticos, muy finos y finos. Permeabilidad rápida.
	Bt3 Transición entre horizontes media y ondulada, ligeramente húmedo, color en húmedo 10YR/5/6 (pardo amarillento) y en seco 10 YR/5/8 (pardo amarillento). Presenta varios tipos de motas, las primeras marcadas, muchas, medias y grandes, de color 10 YR/7/8 (amarillo), las segundas prominentes, comunes, finas medias y grandes, de color 10 YR/5/3 (pardo), las terceras prominentes, muchas, medias y grandes, de color 10 YR/4/6. Textura arcillosa; ligeramente pedregoso, gravas de forma subangular; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, de finas a delgadas; consistencia cuando seco ligeramente duro, cuando húmedo firme, sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido; pH 4.7, presencia de estratos moderadamente endurecidos, continuo, vesicular; cutanes por eluviación, espesos, minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de hierro. Nódulos abundantes, muy pequeños, pequeños y medianos, de color rojo, poliédrico subangular, duros, de óxidos de hierro. Raíces pocas, micro y muy finas. Poros numerosos, caóticos, muy finos y finos, dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida.
	B/C Transición entre horizontes media y ondulada, ligeramente húmedo, color en húmedo 5 YR/5/8 (rojo amarillento) y en seco 5 YR/5/8. Presenta varios tipos de motas, las primeras marcadas, muchas, medias y grandes, de color 10 YR/7/8 (amarillo), las segundas prominentes, comunes, finas medias y grandes, de color 10 YR/5/3 (pardo), las terceras prominentes, muchas, medias y grandes, de color 10 YR/4/6. Textura migajón arcilloso; muy pocas piedras, gravas de forma subangular; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, de muy finas a muy delgadas; consistencia cuando seco ligeramente duro, cuando húmedo firme, sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido; pH 4.7, presencia de estratos moderadamente endurecidos, continuo, vesicular; cutanes por eluviación, espesos, minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de hierro. Nódulos abundantes, medianos y grandes, de color rojo, poliédrico subangular, blandos, de óxidos de hierro. Raíces muy pocas, micro muy finas. Poros numerosos, caóticos, micro, finos y medianos, dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida.
CL Ligeramente húmedo, color en húmedo 10 YR/7/4 (pardo muy pálido) y en seco 10 YR/7/6 (amarillo). Presenta varios tipos de motas, las primeras prominentes, muchas, medias y grandes, de color 10 YR/3/6 (pardo amarillento), las segundas prominentes, medias y grandes, alrededor del rojo, de color 10 YR/5/8 (pardo amarillento). Textura arcilla arenosa; pedregoso, gravas, piedras y piedras medias; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular, de muy finas a muy delgadas; consistencia cuando seco ligeramente duro, cuando húmedo firme, sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido; pH 4.7, presencia de estratos fuertemente endurecidos, continuo, pisolítico; cutanes por eluviación, continuos, delgados, dentro y fuera de los agregados, minerales arcillosos de restos orgánicos. Nódulos abundantes, medianos y grandes, de color rojo, poliédrico subangular, blandos, de óxidos de hierro. Raíces muy pocas, micro muy finas. Poros numerosos, caóticos, continuos, micro, dentro y fuera de los agregados, intersticiales; permeabilidad moderadamente rápida.	

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PERFIL

Horizonte	pH relación 1:2 (H2O)	CE dSm ⁻¹	MO (%)	N (%)	P (mgkg ⁻¹)	K (cmolkg ⁻¹)	Ca (cmolkg ⁻¹)	Mg (cmolkg ⁻¹)	Na (cmolkg ⁻¹)	CIC (cmolkg ⁻¹)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clasificación Textural
Ap 0-28	4.6	0.04	3.9	0.1	1.87	0.01	0.46	0.06	0.22	8.93	24	17	59	Franco arcillo limoso
Bt1 28-56.5	4.3	0.02	0.9	0.02	0.43	0.01	0.02	0.02	0.24	5.58	38	15	47	Arcillo arenoso
Bt2 56.5-78	4.5	0.02	0.6	MLD	0.14	0.01	0.04	0.06	0.3	8.37	46	15	39	Arcilla
Bt3 78-110.5	4.7	0.01	0.3	MLD	MLD	0.01	0.04	0.08	0.07	15.63	48	15	37	Arcilla
B/C 110.5-142	4.7	0.01	0.2	MLD	MLD	0.01	0.02	0.07	0.09	13.68	42	19	39	Arcilla
C142-168	4.7	0.01	0.1	MLD	0.43	0.01	0.01	0.06	0.07	11.16	36	21	43	Franco arcilloso

Figura 2: Perfil representativo de la subunidad Acrisol Cutánico Plíntico Úmbrico (Hiperdístico, Arcílico) (ACctplum(dyhce)) descrito en las plantaciones de 22 meses de edad de *E. pellita* F. Muell.

1) Perfil	# 02	9) Material parental	Terrazas del terciario	Foto panorámica	Climatograma
2) Descrito por	José Pablo Gamboa, José Jesús Obrador Olán, Vinicio Calderón B.	10) Flora cultivada	Plantación <i>Eucalipto pellita</i> , de 2 m. de altura		
3) Fecha	07/04/2011	11) Flora nativa	Pastizal con palmeras y arbolados.		
4) Localización	N17°50'04,95" W093°40'43,35"	12) Fauna	Venados, armadillo, tepezcuinte.		
5) Elevación	20 msnm	13) Presencia de grietas actuales o en alguna parte del año	No		
6) Relieve	Convexa	14) Aplicación de enmiendas ó fertilizantes	Cal agrícola 2 tha ⁻¹ . Fertilización con mezcla física.		
7) Pendiente	menos del 5%	15) Practicas de manejo con maquinaria o animal	Maquinaria para la preparación del terreno.		
8) Drenaje del sitio	Donador	16) Condición climática del día	Soleado con nubes		

FOTOGRAFIA



DESCRIPCIÓN DE PERFIL

Ap Transición entre horizontes marcada y horizontal, seco, color en húmedo 10 YR/3/1 (gris muy oscuro) y en seco 10 YR/5/3 (pardo), pH 5,2, textura franco. Estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular, de muy fina a muy delgada. Consistencia en seco duro, en húmedo friable, en muy húmedo no pegajoso no plástico, sin estratos endurecidos, continuo. Nódulos muy pocos, muy pequeños, negros, probablemente restos de carbón mineral. Sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido. Pocas raíces, de tamaño micros, muy finos, finos, medianas y gruesas. Poros numerosos, de micro a muy finos, tubulares, continuos, orientados de forma horizontal y vertical dentro de los agregados. Permeabilidad muy rápida, bien drenado, con presencia de hormiga arriera.

A2 Transición entre horizontestenu y horizontal, seco, color en húmedo 10 YR/4/6 (pardo amarillento oscuro) y en seco 10 YR/6/6 (amarillo parduzco), pH 4,9, textura franco arcillo arenoso. Muy pedregoso, grava y piedras pequeñas, subangular y redondas. Estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular, de muy fina a delgada. Consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable, en muy húmedo no pegajoso no plástico; con estratos fuertemente endurecidos, pisolítico. Cutanes por eluviación en poros y canales de raíces, probablemente minerales arcillosos y fracción de minerales de carbón, moderadamente espesos, zonales. Nódulos frecuentes, duros, rojos, de óxidos de hierro, muy pequeños y pequeños, poliédrico subangular. Sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido. Pocas raíces, de tamaño micro, muy fino, fino, medianas y gruesas. Poros numerosos, de micro a muy finos, tubulares, continuos, orientados de forma horizontal y vertical dentro de los agregados. Permeabilidad rápida, bien drenado.

Bt1 Transición entre horizontestenu y horizontal, ligeramente húmedo, color en húmedo 7.5 YR/5/8 (pardo fuerte) y en seco 7.5 YR/6/8 (amarillo rojizo). Motas prominentes, pocas, medianas y grandes, de color 10YR/4/4 (pardo amarillento oscuro), pH 4,7, textura arcilloso. Pedregoso, grava y piedras pequeñas, subangular y redondas. Estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, de fina a delgada. Consistencia en seco muy duro, en húmedo friable, en muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; estratos fuertemente endurecidos, vesicular. Cutanes por eluviación, zonales, moderadamente espesos, en poros y cara de los agregados, de naturaleza de minerales arcillosos, cutanes por eluviación de óxidos de hierro, continuos, moderadamente espesos, en poros y caras de los agregados y cutanes por eluviación, oscuros (óxidos de manganeso o materia orgánica), zonales, en poros y canales de raíz. Nódulos muy pocos, blandos, rojos, de óxidos de hierro y muy pequeños, poliédrico subangular. Sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido. Pocas raíces, de tamaño micro, muy fino, fino y medianas. Poros numerosos, micro, muy finos y finos, tubulares, continuos, orientados de forma horizontal y vertical dentro de los agregados e intersticiales. Permeabilidad rápida, bien drenado.

Bt2 Transición entre horizontes tenue y horizontal, ligeramente húmedo, color en húmedo 7.5 YR/5/6 (pardo fuerte) y en seco 10 YR/6/8 (amarillo parduzco). Motas marcadas, comunes, de finas a medianas, de color 10YR/7/8 (amarillo), un segundo tipo de motas prominentes, comunes, de medias a grandes, de color 2.5 YR/4/8 (rojo), y un tercer grupo de motas prominentes, pocas, grandes, de color 10YR/4/4 (pardo amarillento oscuro), pH 4,6, textura arena migajosa. Muy pedregoso, grava y piedras pequeñas, subangular y redondas. Estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, de fina a delgada. Consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y plástico; con estratos moderadamente endurecidos, continua y pisolítica. Cutanes por eluviación de óxidos de hierro, continuos, moderadamente espesos, en poros y caras de los agregados y cutanes por eluviación, de minerales arcillosos o fracción orgánica, zonales, en poros y canales de raíz. Nódulos frecuentes, blandos, rojos, de óxidos de hierro, pequeños, poliédrico subangular. Sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido. Pocas raíces, de tamaño micro y muy finas. Poros numerosos, micro y muy finos, tubulares, continuos, ubicados dentro de los agregados e intersticiales. Permeabilidad rápida, bien drenado.

Bt3 Transición entre horizontestenu y horizontal, húmedo, color en húmedo 2.5 Y /6/8 (amarillo olivo) y en seco 2.5 Y /7/8 (amarillo). Motas marcadas, muchas, de medias a grandes, de color 10YR/7/8 (amarillo), un segundo tipo de motas marcadas, comunes, de medias a grandes, de color 2.5 YR/4/8 (rojo), y un tercer grupo de motas prominentes, comunes, de medias a grandes, de color 10YR/4/4 (pardo amarillento oscuro), pH 4,5, textura arcilla arenosa. Pedregoso, grava y piedras pequeñas, subangular y redondas. Estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular, de muy fina a muy delgada. Consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y plástico; estratos moderadamente endurecidos, continua y pisolítica. Cutanes por eluviación de óxidos de hierro, continuos, moderadamente espesos, en poros y caras de los agregados y cutanes por eluviación, de minerales arcillosos o fracción orgánica, zonales, en poros y canales de raíz. Nódulos frecuentes, blandos, rojos, de óxidos de hierro, continuos, moderadamente espesos, en poros y caras de los agregados y cutanes por eluviación, de minerales arcillosos o fracción orgánica, zonales, en poros y canales de raíz. Nódulos abundantes, blandos, rojos, de óxidos de hierro, muy pequeños y pequeños, poliédrico subangular. Sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido. Pocas raíces, de tamaño micro y muy finas. Poros numerosos, micro y muy finos, continuos, caóticos, tubulares, ubicados entre agregados e intersticiales. Permeabilidad moderadamente rápida, bien drenado.

C1 Transición entre horizontestenu y horizontal, húmedo, color en húmedo 10 YR /6/8 (amarillo parduzco) y en seco 10 YR /7/8 (amarillo). Motas marcadas, muchas, de medias a grandes, de color 2.5 Y7/8 (amarillo), pH 4,7, textura arena migajosa. Pedregoso, gravas y piedras pequeñas, subangular y redondas. Estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular, de muy fina a muy delgada. Consistencia en seco blando, en húmedo muy friable, en muy húmedo pegajoso y plástico; estratos moderadamente endurecidos, continuas y pisolítica. Cutanes por eluviación de óxidos de hierro, continuos, moderadamente espesos, en poros y caras de los agregados y cutanes por eluviación, de minerales arcillosos o fracción orgánica, zonales, en poros y canales de raíz. Nódulos pocos, blandos, rojos, de óxidos de hierro, muy pequeños y pequeños, poliédrico subangular. Sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido. Pocas raíces, de tamaño micro y muy finas. Poros muy numerosos, muy finos, finos, medianos y gruesos, continuos, caóticos, tubulares, ubicados entre agregados e intersticiales. Permeabilidad moderadamente rápida, bien drenado.

C2 Húmedo, color en húmedo 2.5 Y /7/8 (amarillo) y en seco 2.5 Y /8/6 (amarillo). Motas prominentes, comunes, de medias a grandes, de color 2.5 YR4/8 (rojo), otro tipo de motas prominentes, muchas, de medias a grandes, de color 10 YR/5/1 (gris), pH 4,7, textura arcilloso. No hay pedregosidad. Estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular, de muy fina a muy delgada. Consistencia en seco ligeramente húmedo, en húmedo friable, en muy húmedo no pegajoso y no plástico; sin estratos endurecidos. Cutanes por eluviación de óxidos de hierro, continuos, moderadamente espesos, en poros y caras de los agregados y cutanes por eluviación, de minerales arcillosos o fracción orgánica, zonales, en poros y canales de raíz. Nódulos frecuentes, blandos, rojos, de óxidos de hierro, de pequeños a medianos, poliédrico subangular. Sin reacción al HCl (10%) ni al Peróxido. Muy pocas raíces, de tamaño micro. Poros numerosos, micro y muy finos, continuos, caóticos, tubulares, ubicados entre dentro y fuera de los agregados e intersticiales. Permeabilidad lenta, bien drenado.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PERFIL

Horizonte	pH relación 1:2 (H2O)	CE dSm ⁻¹	MO (%)	N (%)	P (mgkg ⁻¹)	K (cmokg ⁻¹)	Ca (cmokg ⁻¹)	Mg (cmokg ⁻¹)	Na (cmokg ⁻¹)	CIC (cmokg ⁻¹)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase Textural
Ap 0-13	5.2	0.03	4.7	0.16	3.59	0.03	0.45	0.17	0.07	8.37	18	19	63	Franco arenoso
A2 13-31	4.9	0.01	1.8	0.10	0.43	0.01	0.07	0.07	0.07	3.91	28	11	61	Franco arcillo-arenoso
Bt1 31-60	4.7	0.01	0.9	0.04	0.29	0.01	0.20	0.10	0.07	6.70	40	17	43	Franco arcilloso
Bt2 60-82	4.6	0.02	0.6	MLD	MLD	0.01	0.20	0.22	0.07	9.21	44	13	43	Arcilla
Bt3 82-116.5	4.5	0.02	0.2	MLD	0.29	0.02	0.06	0.23	0.09	13.4	42	9	49	Arcillo arenoso
C1 116.5-151.5	4.7	0.01	0.2	MLD	MLD	0.02	0.01	0.07	0.13	16.19	38	15	47	Arcillo arenoso
C2 151.5-176	4.7	0.01	0.1	MLD	MLD	0.02	0.00	0.04	0.28	11.16	38	15	47	Arcillo arenoso

MDL: Menor al límite de detección

Figura 3: Perfil representativo de la subunidad AcrisolCutánicoPlínticoÚmbrico (Férrico, Hiperdístrico)(ACctplum(frdyh)) descrito en las plantaciones de 9 meses de edad de *E. pellita* F. Muell.

6.2 Determinación de biomasa.

En el cuadro 4 se observan los datos de biomasa seca obtenidos en kilogramos por hectárea para cada sección de los árboles. Resulta interesante observar que todos los coeficientes de variación, excepto el de raíz de 9 meses, están por debajo del 17%, esto debido probablemente a que los árboles muestreados pertenecen a una misma categoría diamétrica y presentan un tamaño uniforme (Anexos 1 y 2). Otros estudios realizados para determinar biomasa aérea en especies forestales (Lockie, 2010; Mora, 2010 y Arias *et al.*, 2011) reportan coeficientes de variación superiores al 40% debido principalmente a que los árboles utilizados fueron escogidos en todas las categorías diamétricas y clases de altura.

Cuadro 4: Biomasa obtenida, en peso seco, para plantaciones de *E. pellita* F. Muell de 9 y 22 meses de edad y con una población de 1050 árboles ha⁻¹.

Edad (m)	Biomasa seca total y por sección del árbol (Kg ha ⁻¹)									
	Hoja		Rama		Tallo		Raíz		Total	
	Promedio	CV(%)	Promedio	CV(%)	Promedio	CV(%)	Promedio	CV(%)	Promedio	CV(%)
9	1832.8	18	825.8	11	1598.1	8	2089.5	24	6346.2	14
22	10293.4	12	6517.9	12	28985.7	11	8968.9	11	54765.9	9

En la figura 4 se puede observar que árboles de 13.93 cm de diámetro a la altura del pecho (dap) con altura de 12.93 metros producen en promedio 48.2 kg de biomasa aérea. Al respecto, árboles de *Pinus caribaea* de 14.9 cm de diámetro y 11.4 metros de altura producen 43.0 kg de biomasa aérea seca, y árboles de *Hieronyma alchorneoides* con 12.3 cm de diámetro y 12.6 metros de altura producen 45.1 kg de biomasa aérea seca (Arias *et al.*, 2011). Lo anterior nos indica que los datos obtenidos son consistentes ya que es normal que árboles de tamaños similares produzcan cantidades similares de biomasa aérea seca sin importar su especie (siempre y cuando tengan densidades parecidas). Por lo tanto, para poder comparar el potencial productivo de biomasa se debe agregar a la comparación la categoría tiempo. En el cuadro 4 se observa que *E. pellita* tiene un potencial para producir 54.76 t ha⁻¹ de biomasa a los 22 meses, mientras que *E. grandis* produce 34.6 t ha⁻¹ de biomasa total a los 24 meses (Alvarado y Raigosa, 2012), esto indica que la especie en estudio tiene un mejor potencial de producción de biomasa.

En la figura 4 se observa de manera gráfica cómo se distribuye la biomasa aérea respecto a la radical en árboles de 9 y 22 meses. Llama la atención que la biomasa radical a los 9 meses ocupa un 31% de toda la biomasa del árbol mientras que en los árboles de 22 meses es de apenas un 16%. En los primeros estadios de crecimiento el árbol utiliza más energía en desarrollar sus raíces para sostenimiento y alimento, mientras que a edades avanzadas, una vez establecido un buen sistema radical, el árbol invierte su energía en crecimiento aéreo. Es interesante observar que en ambas edades el

porcentaje de biomasa de rama se mantiene (13% a los 9 meses y 12% a los 22 meses), esto podría ser un patrón constante en toda la vida útil de la plantación tal como lo establecen Arias *et al.* (2011), quienes encontraron un comportamiento similar en la biomasa de rama para seis especies tropicales, manteniéndose en rangos de porcentaje muy parecidos a través del tiempo.

La biomasa de fuste presenta un incremento importante, de un 25 % a los 9 meses pasa al 53% a los 22 meses, un comportamiento similar a la *Terminalia amazonia* que presenta incrementos del 40% entre árboles de distintos tamaños (Arias *et al.*, 2011). La biomasa de hojas disminuye de un 29% a los 9 meses a un 19% a los 22 meses, y es un patrón que se presenta también en el estudio mencionado con anterioridad, donde la proporción de hojas va disminuyendo aceleradamente conforme aumenta la categoría diamétrica pero tiende a estabilizarse en las categorías superiores. El género *Eucalypto* tiene un comportamiento similar que se observa fácilmente en plantaciones puras, ya que la biomasa de copa casi es la misma a través de toda la vida útil de la plantación, pudiendo haber árboles de más de 30 metros con una copa similar a la de árboles de 5 o 10 metros (Stape, J.L., 2012).

En el cuadro 5 se muestra una matriz de correlación entre las distintas variables, tanto dasométricas como de biomasa seca de cada sección de los árboles. Es muy interesante observar que existe una altísima correlación entre todas las variables siendo la menor un 0.96, todas con un 99% de confiabilidad. Esto quiere decir que la arquitectura de la especie presenta un comportamiento muy homogéneo en los primeros años de crecimiento. Esto nos permite desarrollar ecuaciones alométricas para predecir variables que normalmente son más difíciles de medir en campo, tales como la biomasa radical o la biomasa aérea total y por cada sección, utilizando una variable de fácil medición como el diámetro a la altura del pecho. Estas ecuaciones son mostradas en el cuadro 6 y en general muestran un r^2 superior a 0.96 lo que indica que la fórmula es altamente confiable.

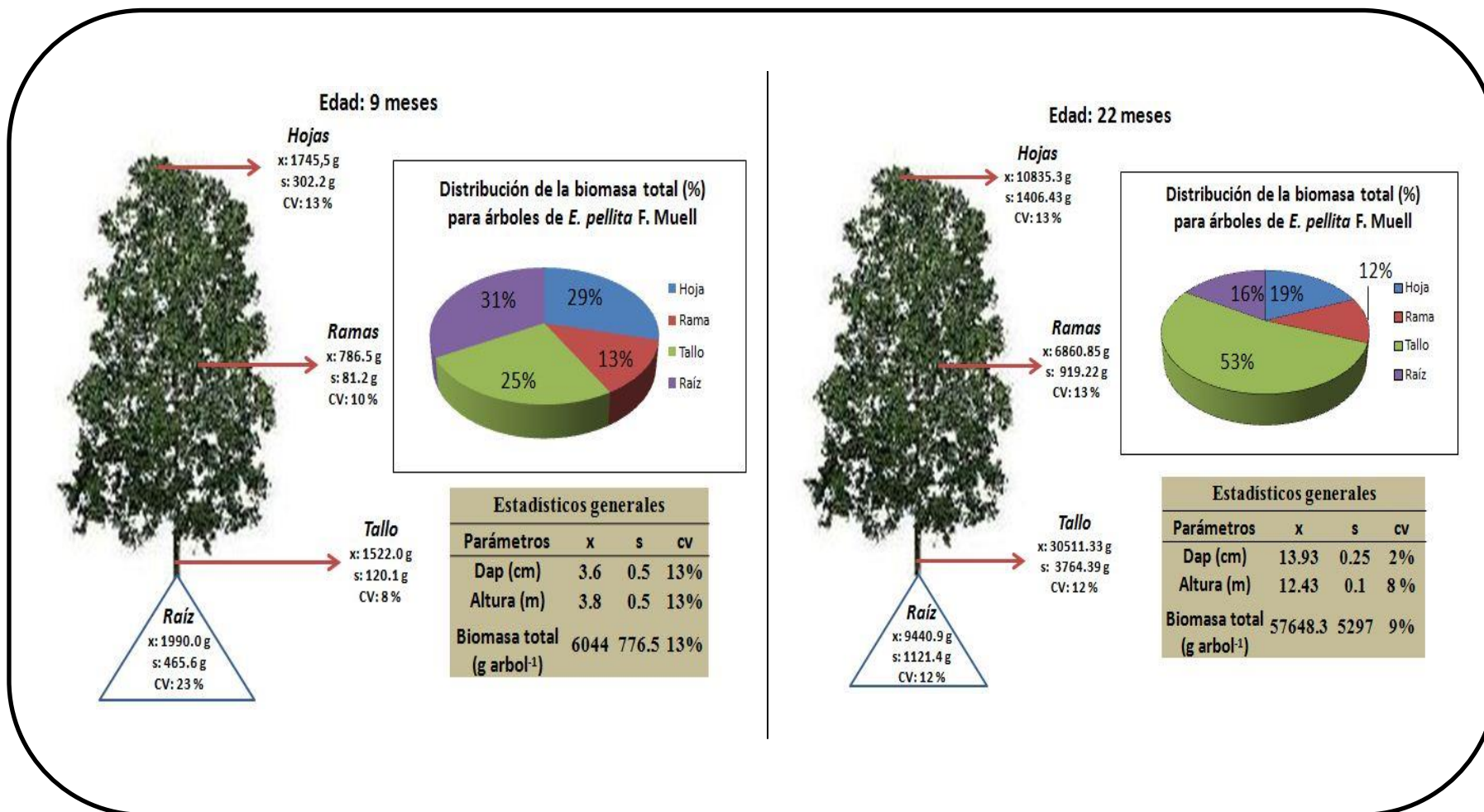


Figura 4: Distribución de la biomasa en las distintas secciones de árboles de *E. pellita* F. Muell de 9 y 22 meses de edad. Sabana de Huimanguillo

Cuadro 5: Matriz de correlación entre la biomasa seca (gr árbol⁻¹) de distintas secciones de árboles y parámetros de medición en plantaciones puras de *E. pellita* F. Muell, establecidas en la sabana de Huimanguillo.

	BAEREA	BHOJA	BRAÍZ	BRAMA	BTALLO	Dap	h
BAEREA	1						
BHOJA	1.00 ***	1					
BRAÍZ	0.96 ***	0.94 ***	1				
BRAMA	0.99 ***	0.98 ***	0.97 ***	1			
BTALLO	1.00 ***	1.00 ***	0.96 ***	0.99 ***	1		
Dap	0.99 ***	0.98 ***	0.98 ***	0.98 ***	0.98 ***	1	
h	0.97 ***	0.96 ***	0.96 ***	0.97 ***	0.96 ***	0.99 ***	1

B: Biomasa; Dap: diámetro a la altura del pecho (1.30 m)

h: altura total (m)

Cuadro 6: Modelos alométricos desarrollados para estimar la biomasa seca aérea y radical, en gramos por árbol, para plantaciones puras de *E. pellita* F. Muell, en la sabana de Huimanguillo.

Sección	Ecuación Alométrica	R2	n
Biomasa Aérea	= 1699,3 e ^{0,2396 (DAP)}	0.9935	8
Biomasa Raíz	= 10,103(BA) ^{0,634}	0.9654	8
Biomasa Raíz	= 723,2(DAP)-632,46	0.9642	8
Biomasa Hoja	= 307,6 (DAP) ^{1,3282}	0.9829	8
Biomasa Rama	= 367,96 e ^{0,2093 (DAP)}	0.9877	8
Biomasa Tallo	= 532,48 e ^{0,29 (DAP)}	0.994	8

Dap: diámetro a la altura del pecho (1.30 m)

BA: Biomasa aérea

6.3 Determinación de la demanda

Los resultados promedio de los análisis químicos convertidos a peso por la biomasa seca (requerimiento interno) en las distintas secciones de los árboles se muestran para 9 meses de edad en los Cuadros 7y 8 (macro y micronutrientes) y los realizados para 22 meses de edad en los Cuadros 9y 10(macro y micronutrientes).El nitrógeno es muy importante para la nutrición forestal y es el elemento que más atención ha recibido en la investigación forestal. La disponibilidad del nitrógeno limita el crecimiento de la mayoría de los bosques en una numerosa cantidad de regiones y puede ser importante aun cuando no fuera un factor limitante, debido a que puede lixiviarse muy fácilmente (sobre todo el NO₃⁻)cuando la disponibilidad del nitrógeno es mayor que la absorción de este nutriente por las plantas (Binkley, 1993; Alvarado y Raigosa, 2012). Los contenidos de este elemento en la biomasa aérea tienen la

concentración más alta y solo en las hojas se encuentra más de la mitad del contenido de nitrógeno de todo el árbol (Cuadros 7 y 9).

Cuadro 7: Requerimiento interno de los elementos mayores obtenidos para distintas secciones de árboles de *E. pellita* F. Muell de 9 meses de edad.

SECCIÓN	(g kg ⁻¹ de materia seca)														
	N			P			K			Mg			Na		
	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV(%)	Promedio	SD	CV(%)	Promedio	SD	CV(%)	Promedio	SD	CV(%)
HOJA	12.60	2.6	20	0.70	0.1	16	2.5	0.3	11	1.9	0.4	21	1.8	1.1	61
RAIZ	4.55	1.0	21	0.65	0.3	44	1.5	0.7	48	0.7	0.3	53	1.1	0.8	75
RAMA	4.78	1.7	35	0.70	0.4	57	3.0	1.2	39	0.7	0.1	9	0.7	0.2	25
TALLO	2.68	0.5	18	0.25	0.1	23	1.43	0.2	16	0.30	0.0	0	0.50	0.4	75
TOTAL	24.60	5.7	23	2.30	0.9	37	8.50	2.4	29	3.45	0.8	23	4.05	2.5	61

Cuadro 8: Requerimiento interno de los elementos menores obtenidos para distintas secciones de árboles de *E. pellita* F. Muell de 9 meses de edad.

SECCIÓN	(mg kg ⁻¹ de materia seca)														
	Fe			Zn			Mn			S-SO4			B		
	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV(%)	Promedio	SD	CV(%)	Promedio	SD	CV(%)	Promedio	SD	CV(%)
HOJA	297.50	44.9	15	11.15	2.6	23	59.95	22.9	38	0.08	0.01	12	3.52	0.69	20
RAIZ	1177.00	283.1	24	15.40	8.0	52	12.30	5.8	47	0.07	0.01	9	3.91	0.76	19
RAMA	318.25	51.9	16	8.15	2.0	25	22.25	4.6	21	0.06	0.01	9	1.70	0.29	17
TALLO	284.50	65.0	23	4.98	1.2	24	7.95	1.8	23	0.06	0.01	9	1.19	0.25	21
TOTAL	2077.25	444.9	21	39.68	13.8	35	102.45	35.3	34	0.26	0.03	10	10.32	1.98	19

Cuadro 9: Requerimiento interno de los elementos mayores obtenidos para distintas secciones de árboles de *E. pellita* F. Muell de 22 meses de edad.

SECCIÓN	(g Kg ⁻¹ de materia seca)														
	N			P			K			Mg			Na		
	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)
HOJA	13.60	0.58	4	0.95	0.17	18	2.43	0.19	8	1.55	0.25	16	2.70	0.66	25
RAIZ	5.30	0.82	15	0.80	0.28	35	1.15	0.62	54	0.60	0.08	14	1.40	0.68	49
RAMA	3.05	1.50	49	0.73	0.05	7	1.93	0.21	11	0.45	0.06	13	0.50	0.16	33
TALLO	1.85	0.52	28	0.28	0.05	18	0.90	0.00	0	0.20	0.00	0	0.43	0.10	23
TOTAL	23.80	3.41	14	2.75	0.56	20	6.40	1.01	16	2.80	0.39	14	5.03	1.61	32

Cuadro 10: Requerimiento interno de los elementos menores obtenidos para distintas secciones de árboles de *E. pellita* F. Muell de 22 meses de edad.

SECCIÓN	(mg Kg ⁻¹ de materia seca)														
	Fe			Zn			Mn			S-SO4			B		
	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)	Promedio	SD	CV (%)
HOJA	329.00	84.4	26	10.38	2.75	26	80.68	20.82	26	0.08	0.01	6	5.33	1.05	20
RAIZ	950.00	292.5	31	9.60	2.62	27	11.13	3.14	28	0.06	0.01	14	3.72	1.05	28
RAMA	359.50	66.1	18	7.35	0.91	12	22.55	0.77	3	0.06	0.01	14	1.52	0.22	14
TALLO	413.50	117.5	28	5.95	1.71	29	10.25	0.91	9	0.06	0.01	9	1.08	0.40	37
TOTAL	2052.00	560.4	27	33.28	7.99	24	124.60	25.64	21	0.26	0.03	10	11.65	2.72	23

El contenido de nitrógeno para las hojas de 9 meses es de 12.6 mg g⁻¹ mientras que para los 22 meses se mantiene muy cercano, con 13.6 mg g⁻¹. Según Stape (2012) normalmente las especies del género *Eucalyptus* tiene un contenido adecuado de N por encima de 20 mg g⁻¹, este dato se confirma con lo reportado por Delle *et al.* (1995) quienes reportan concentraciones de N para *E. grandis* y *E. urograndis* por encima de 18 mg g⁻¹ (Cuadros 2 y 3), sin embargo, estos mismos autores reportan valores adecuados para *E. urophylla* entre 11 y 30 mg g⁻¹ muy cercano al obtenido en este estudio. Por otra parte Alvarado y Raigosa (2012) reportan concentraciones de N de 29.3 g kg⁻¹ para especies de sucesión temprana y 20.4 g kg⁻¹ para especies de sucesión tardía en la amazonia ecuatoriana. Todos los autores mencionados han obtenido estas concentraciones a partir de la primera hoja joven expandida, ya que es en este punto donde se alcanza el máximo en el contenido de nutrientes y así expresan mejor si hay deficiencias en el cultivo (Binkley, 1993).

El contenido de nitrógeno de las hojas disminuye gradualmente debido a la lixiviación y a su reabsorción dentro de las ramas, de hecho muchos árboles recuperan grandes cantidades de nitrógeno de sus hojas antes de que ocurra la abscisión (Binkley, 1993; Dell *et al.*, 1995). El objetivo de este estudio no fue determinar si hay deficiencia de N en el cultivo, sino determinar cuál es la concentración real (demanda del cultivo), por esta razón la muestra de hojas llevada a laboratorio contenía hojas de varios estados seniles, por lo que es normal que la concentración promedio obtenida se encuentre por debajo de lo reportado por los autores. Sin embargo, Binkley (1993) reporta que el contenido de nitrógeno en las plantas varía según el tipo de tejido. Este autor cita que típicamente el follaje contiene de 0.9 a 2.0 % de N, mientras que la madera tiene menos del 0.5% de este elemento. Además Arias *et al.* (2001), reportan que el contenido de nitrógeno en para el follaje de seis especies forestales oscilando entre el 1.05% (*Pinus caribaea*) y el 2.86% (*Gmelina arborea*). Los datos reportados por estos autores coinciden con los resultados obtenidos en este estudio, ya que al hacer el cálculo, los árboles de 9 meses contienen en su follaje el 1.26% de N y en su madera el 0.27%, y los árboles de 22 meses presentan el 1.36% y 0.18% de N para follaje y madera, respectivamente.

En los cuadros 7 y 9 se observa que la concentración de P obtenida en las hojas es de 0.7 y 0.95 mg g⁻¹ para las edades de 9 y 22 meses respectivamente. Dell *et*

al.(1995) reportan concentraciones adecuadas de 1.3 a 3 mg g⁻¹ en plántulas de *E. pellitade* tres meses de edad (Cuadro 3), y reportan concentraciones de P para tres especies de eucalipto que oscilan entre 1 y 3 mg g⁻¹(Cuadro 2),muy similar a la concentración reportada en el cuadro3.Si comparamos estos datos nuevamente observamos que los resultados obtenidos en este estudio están muy por debajo de los niveles adecuados. Sin embargo, al comparar los resultados con el estudio hecho por Arias *et al.*(2011) observamos que los datos varían mucho según la especie, por ejemplo, este autor reporta concentraciones de P en hojas de *Vochysia ferruginea* de 0.113 mg g⁻¹, 1.64 mg g⁻¹para *Gmelina arborea* y 0.279 mg g⁻¹para *Pinus caribaea*, entre otras especies.

La circulación del P desempeña varias funciones en los compuestos orgánicos, cumple una función primordial en las transformaciones energéticas de las plantas, en la síntesis de proteínas y de nucleótidos y en el proceso de la reproducción celular. Los compuestos de fósforo demuestran una gran movilidad a través del floema, y una cantidad sustancial del fósforo de las hojas es reabsorbida antes de que ocurra la abscisión, esto se nota en la coloración púrpura de las hojas senescentes (Binkley, 1993; Dellet *al.*,1995).Es debido a esta movilidad del P que los valores obtenidos están por debajo de las concentraciones adecuadas reportadas por Dell *et al.* (1995), ya que como se explicó anteriormente, este estudio utilizó muestras de hojas juveniles y senescentes con el fin de obtener la demanda real del cultivo.

La concentración de potasio obtenida para ambas edades es muy similar, 2.5 y 2.43 mg g⁻¹ (cuadros 7 y 9).Según Alvarado y Raigosa (2012) la concentración normal para especies de sucesión temprana es de 2.2 g kg⁻¹ y para especies de sucesión tardía es de 1.7 g kg⁻¹, datos que coinciden con los resultados de este estudio. Sin embargo, otros autores (Dellet *al.*, 1995) reportan que el límite inferior de concentración adecuada de K para plántulas de *E. pellita* es de 9 mg g⁻¹ (Cuadro 3), muy por encima de los rangos obtenidos para los individuos de 9 y 22 meses de este estudio. El potasio presenta el ciclo más sencillo de los elementos ya que sólo tiene una forma química (K⁺). Una vez absorbido por las plantas, el K permanece sin unirse a los compuestos orgánicos y se moviliza en forma de catión libre dentro de las plantas para catalizar reacciones químicas y regular el potencial osmótico. El potasio, al igual que el nitrógeno y el fósforo, se moviliza libremente por el floema, por lo que rápidamente es exportado desde las hojas maduras donde los síntomas de deficiencia aparecen primero (Binkley, 1993; Dellet *al.*, 1995). La diferencia entre las concentraciones obtenidas y las reportadas se pueden atribuir una vez más a la movilidad del K y al método de muestreo utilizado.

Como se ha podido analizar hasta ahora, los nutrientes mayores (N,P yK) poseen una libre movilidad a través del floema, es por eso que el muestreo utilizado para medir deficiencia de nutrientes hace que las concentraciones reportadas por los autores difieran de los datos obtenidos en este estudio, cuyo objetivo es medir demanda. Esto se repite para los elementos secundarios que también poseen una libre movilidad, tal es el caso del Mg, pero si comparamos la concentración obtenida para los elementos con una pobre movilidad a través del floema, tales como Zn y Mn, observamos que se

encuentran mucho más cercanos a los valores reportados por Dellet *al.* (1995) para plantas de *E. pellita* de 3 meses de edad.

En el cuadro 11 se puede observar una matriz de correlación entre las concentraciones de nutrientes obtenidos de la biomasa de todos los árboles estudiados. Llama la atención que entre algunos elementos la correlación (r) es altamente significativa, por ejemplo, entre el N-Mn y N-Mg es del 0.93 y 0.90, respectivamente, ambas con una significancia del 99%. Esta alta correlación se debe a que estos nutrientes forman parte importante de la clorofila y las funciones de la fotosíntesis en las plantas, por lo que están altamente relacionados entre sí (Alvarado y Raigosa, 2012). Esta correlación puede ser útil para determinar en campo deficiencias del cultivo de manera rápida con un medidor de clorofila que puede ser calibrado según los rangos aceptables para el cultivo, y con una lectura rápida determinar si hay necesidad de aplicar N, o si hay deficiencias de Mg y Mn.

Cuadro 11: Matriz de correlación para concentración de nutrientes obtenida para árboles de 9 y 22 meses de edad de *E. pellita* F. Muell en la sabana de Huimanguillo.

	B		Fe		K		Mg		Mn		N		Na		P		S.SO4		Zn
B	1																		
Fe	0.32	NS	1																
K	0.21	NS	-0.38	**	1														
Mg	0.68	***	-0.16	NS	0.52	**	1												
Mn	0.62	***	-0.34	NS	0.45	**	0.86	***	1										
N	0.74	***	-0.15	NS	0.48	**	0.93	***	0.90	***	1								
Na	0.72	***	0.10	NS	0.15	NS	0.67	***	0.65	***	0.72	***	1						
P	0.59	***	0.26	NS	0.49	**	0.47	**	0.44	**	0.58	***	0.51	**	1				
S.SO4	0.60	***	-0.03	NS	0.33	NS	0.82	***	0.8	***	0.82	***	0.73	***	0.49	**	1		
Zn	0.61	***	0.46	**	0.27	NS	0.44	**	0.26	NS	0.36	**	0.29	NS	0.40	**	0.34	NS	1

En el cuadro 12 se observa la demanda nutrimental obtenida para *E. pellita*. El N es el elemento más importante, con un consumo de 303.09 Kg ha⁻¹, lo que concuerda con Binkley (1993) cuando cita que el nitrógeno es uno de los elementos más importantes dentro de los ecosistemas boscosos. De esta forma el orden de importancia de los elementos en cuanto a demanda es como sigue: N < K < Na < Mg < P < Fe < Mn < Zn < B < S-SO₄.

Cuadro 12: Demanda nutrimental, en kg ha⁻¹, para plantaciones jóvenes de *E. pellita* F. Muell en la sabana de Huimanguillo.

Kg ha ⁻¹										
Edad (meses)	N	P	K	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	S-SO4	B
9	42.23	3.76	12.96	5.89	7.26	3.85	0.07	0.17	0.00	0.02

Si comparamos estos datos con los del cuadro 1 se observa que *E. pellita* a la edad de 9 meses tiene un consumo de nutrientes similar a la teca y un tanto inferior a la melina a los 10 meses, pero si la comparamos con especies nativas de la región como el cedro y la caoba a esa misma edad, su demanda es muy superior. Esto explica la alta productividad que tienen las especies exóticas respecto a las nativas. Al comparar la demanda de *E. pellita* con *E. grandis*, se observa que la primera consume 303.09, 34.23 y 86.27 kg ha⁻¹ de NPK respectivamente a los 22 meses de edad mientras que la segunda consume 234.0, 16.0 y 134.0 kg ha⁻¹ de estos mismos elementos a los 24 meses. Podría decirse que *E. pellita* demanda mas nutrientes que *E. grandis* en estadios tempranos de crecimiento, sin embargo las diferencias pueden deberse también al tipo de suelos donde fueron hechos los estudios y al paquete de fertilización utilizado para ambas especies.

6. Conclusiones

En términos generales se puede afirmar que *E. pellita* es una especie con un alto potencial productivo en suelos pobres y ácidos y la demanda nutrimental de la especie es proporcional a su desarrollo en el campo. A continuación se resumen las principales conclusiones obtenidas en este estudio.

1. La subunidad de suelo bajo la cual se desarrollan las plantaciones bajo estudio corresponde a AcrisolCutánicoPlínticoÚmbrico (Hiperdístrico, Arcílico) ((ACctplum(dyhce)) para el primer perfil y AcrisolCutánicoPlínticoÚmbrico (Férrico, Hiperdístrico) ((ACctplum(frdyh)) para el segundo perfil.
2. *E. pellita* tiene un potencial de producción de 6.3 t ha⁻¹ (9 meses) y 54.76 t ha⁻¹ (22 meses) de biomasa seca total.
3. *E. pellita* demanda a las 9 meses 42.23, 3.76, 12.96, 5.89, 7.26 y 3.85 kg ha⁻¹ de N-P-K-Mg-Na-Fe respectivamente.
4. *E. pellita* demanda a las 9 meses 0.07, 0.17 y 0.02 kg ha⁻¹ de Zn-Mn-B respectivamente.
5. *E. pellita* demanda a las 22 meses 303.09, 34.23, 86.27, 35.05, 64.87 y 30.24 kg ha⁻¹ de N-P-K-Mg-Na-Fe respectivamente.
6. *E. pellita* demanda a las 22 meses 0.48, 1.57 y 0.15 kg ha⁻¹ de Zn-Mn-B respectivamente.

Este estudio sienta las bases para desarrollar una dosis de fertilización óptima, sin excesos que encarezcan el proyecto ni deficiencias que limiten el óptimo desarrollo del cultivo.

7. Bibliografía

- ALVARADO A.y RAIGOSA J.2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales.: Asociación costarricense de la ciencia del suelo. San José, Costa Rica. 416 p.
- ALVAREZ DE LEON M. y GARCÍA F. 2007. “*Eucalipto pellita* (F Muell), especie multipropósito al servicio de la ganadería en los Llanos Orientales”. Ed. Produmedios, Bogotá, Colombia. 4 p.
- APARICIO, 2001. Rendimiento y biomasa de *Eucalyptusnitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 171p
- ARIAS D., CALVO-ALVARADO J., RICHTER D. de B. and DOHRENBUSCH A. 2011. Productivity, aboveground biomass, nutrient uptake and carbon content in fast-growing tree plantations of native and introduced species in the Southern Region of Costa Rica. *Biomass and bioenergy*. 35: 1779-1788.
- BERTCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- BINKLEY D. 1993. Nutrición forestal, prácticas de manejo. Ed. LIMUSA, México. 340 p.
- BOLAND D.J., BROOKER M.I.H., CHIPPENDALE G.M., HALL N., HYLAND B.P.M., JOHNSON R.D., KLEINIG D.A., MCDONALD M.W. and TURNER J.D. 2006. *Forest Trees of Australia*, 5ª edición. CSIRO Publishing, Australia. 768 p.
- DELL B., MALAJCZUK N. and GROVE T.S. 1995. Nutrient disorders in plantation eucalypts. Australia, ACICAR monograph 31. 110 p.
- DOMBRO D. 2010. *Eucalyptuspellita*: Amazonia Reforestation’s red mahogany. Planeta Verde Reforestación S.A. (en línea). Disponible en: <http://www.myreforestation.com>. Fecha de consulta: junio 2012
- EVANS J. 1992. *Plantation forestry in the tropics*. 2 ed. Oxford Science Publications. New York. 403 p.
- FAO. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Roma, Italia. 653 p. En línea: <http://www.fao.org/docrep/004/AC459S/AC459S21.htm#ch14.76>. Fecha de consulta: junio 2012

- FAO. 2012. El estado de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, 2012
- FLORES M., MIRANDA R., GALVIS A.,HERNANDEZ M., RAMOS G., 2010. Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente, año 2010, vol 10, num 19: 83-100.
- INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF), 2011. Chave de Identificação de EspéciesFlorestais (CIEF) (En línea). Disponible en: <http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/pellita.asp>. Fecha de consulta: junio 2012
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. 130 p.
- J.P.C. (JAAKKO PÖYRY CONSULTIN).2004. Estudio de Prefactibilidad de la Cuenca Industrial Forestal del Golfo de México, Fase I y II. Informe Final. CONAFOR, México, 126 p.
- LADRACH W. 2010. Manejo práctico de plantaciones forestales en el trópico y subtropical. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, C.R. 660 p.
- LARIOSR. J. y J. HERNÁNDEZ. 1992. Fisiografía, Ambientes y Uso Agrícola de la Tierra en Tabasco, México. Universidad AutónomaChapingo. Texcoco, Edo. de México. 130 p.
- LOCKIE S. 2010. Biomasa aérea y captura de carbono en una plantación de *Pinus michoacana* Mart., y *Pinuspseudostrobus* Lindl., en Jerécuaro, Guanajuato. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Antonio Narro, Saltillo, México. 75 p.
- MARTINEZ G. 2012, Evaluación Inicial del Crecimiento de 30 Procedencias de *Eucalyptus pellita* F.Muell en Huimanguillo, Tabasco, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México. 56 pp.
- MORA E. 2010. Carbono almacenado en la fitomasa aérea en una plantación de *Pinus greggii* Engelm, en Arteaga, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Antonio Narro, Saltillo, México. 76 pp.
- NOM-021-RECNAT.2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 75 p.

PALMA-LÓPEZ D. J.; CISNEROS D.E.; MORENO C.E y RINCÓN-RAMÍREZ J.A. 2007. Suelos de Tabasco: Su Uso y Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FRUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 194 p.

PEREZ C. P. 2009. Fertilización NPK y demanda nutrimental de cuatro especies forestales en fases tempranas de crecimiento. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados, Cárdenas, Tabasco. México. 77 p.

RODRÍGUEZ M. 2012. Caracterización del crecimiento, calidad y estudio de variables fisiológicas, en plantaciones jóvenes y ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita* en el estado de Tabasco, México. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. 98 p.

SADZAWKA, A., CARRASCO, M., DEMANET, R., FLORES, H., GREZ, R., MORA, M., NEAMAN, A., 2007. Métodos de Análisis de Tejidos Vegetales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA n° 40, Santiago, Chile, 140 p.

STAPE, J.L. 2012. Asesoría privada empresa AGROPICAL S.A. de C.V. Cooperativa de Nutrición Forestal, Dept. Forestry and Environmental Resources NCSU. Comunicación Personal. 2012.

8. Anexos

Anexo 1: Variables dasométricas y biomasa seca (g) para árboles de *E. pellita* F. Muell de 9 meses de edad creciendo en la sabana de Huimanguillo.

Unidad de muestreo		Variables dasométricas		Biomasa seca (g) de cada por sección				
Árbol	Edad (m)	Dap (cm)	Altura (m)	HOJA	RAMA	TALLO	RAIZ	TOTAL
1	9	3,00	3,20	1361,0	808,0	1419,0	1593,0	5181,0
2	9	3,70	3,70	2100,0	892,0	1421,0	2653,0	7066,0
3	9	4,15	4,12	1759,0	731,0	1653,0	1763,0	5906,0
4	9	3,67	4,30	1762,0	715,0	1595,0	1951,0	6023,0
	<i>Promedio</i>	3,63	3,83	1745,5	786,5	1522,0	1990,0	6044,0
	<i>SD</i>	0,47	0,49	302,2	81,2	120,1	465,6	776,5
	<i>CV%</i>	13%	13%	17%	10%	8%	23%	13%

Anexo 2: Variables dasométricas y biomasa seca (g) para árboles de *E. pellita* F. Muell de 22 meses de edad creciendo en la sabana de Huimanguillo.

Unidad de muestreo		Variables dasométricas		Biomasa seca (gr) de cada por sección				
Árbol	Edad (m)	Dap (cm)	Altura (m)	HOJA	RAMA	TALLO	RAÍZ	TOTAL
1	22	14,00	13,50	9119,0	6009,0	25150,0	9610,9	49888,9
2	22	14,20	13,05	11464,3	8125,4	32805,4	9180,9	61576,0
3	22	13,90	11,38	10378,3	6904,5	30666,3	10840,9	58790,0
4	22	13,60	11,80	12379,3	6404,5	33423,6	8130,9	60338,3
	<i>Promedio</i>	13,93	12,43	10835,23	6860,85	30511,33	9440,90	57648,30
	<i>SD</i>	0,25	1,00	1406,43	919,22	3764,39	1121,40	5297,00
	<i>CV%</i>	2%	8%	13%	13%	12%	12%	9%