

**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica**

**Melina (*Gmelina arborea* Roxb.): condiciones para su cultivo
“Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las
reservas de carbono”**

**Héctor A Martínez H
Consultor**

Moravia, Marzo de 2015

Acrónimos

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNDF:	Plan Nacional de Desarrollo Forestal
PSA:	Pago por Servicios Ambientales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TIR:	Tasa Interna de Retorno

Contenido

Acrónimos	ii
Resumen ejecutivo.....	1
1. Antecedentes	3
1.1 Marco de referencia	3
1.2 ¿Por qué melina?	4
2. Requerimientos biofísicos	4
2.1 Precipitación anual.....	4
2.2 Temperatura	5
2.3 Altitud.....	5
2.4 Suelos	6
2.4.1 Textura.....	6
2.4.2 Drenaje.....	6
2.4.3 Reacción del suelo	6
2.4.4 Profundidad.....	6
3. Formas de reproducción y producción en vivero	9
3.1 Reproducción por semillas y otras formas	9
3.2 Tiempo en vivero	13
3.3 Fertilización y controles químicos.....	13
3.4 Preparación y envío.....	14
4. Establecimiento.....	14
4.1 Época de establecimiento	14
4.2 Protección de las plantaciones	14
4.3 Selección del sitio, época de establecimiento y preparación del suelo	15
4.4 El sitio y comportamiento de melina	18
4.6 Enmiendas al suelo: corrección de acidez y fertilización.....	23
4.6.1 Acidez del suelo y enmiendas al mismo.....	23
4.6.2 Absorción de nutrimentos.....	24
4.6.3 Nutrición y crecimiento de melina.....	26
4.6.4 Reciclaje de nutrimentos por los árboles de melina	27
4.6.5 Niveles de deficiencias a nivel foliar	29

4.6.6 <i>Sintomas foliares de deficiencias de nutrientes</i>	30
4.6.7 <i>Fertilización durante la vida de la plantación</i>	31
4.7 <i>Erosión</i>	33
5. Manejo	35
5.1 <i>Densidad de plantación</i>	35
5.2 <i>Podas</i>	36
5.3 <i>Raleos</i>	39
5.4 <i>Crecimiento</i>	42
5.5 <i>Plagas y enfermedades</i>	45
5.6 <i>Cosecha</i>	50
5.7 <i>Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión</i>	54
Literatura consultada	55
Anexo 1. Costos y rendimientos estimados en una plantación de melina	60
Anexo 2. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas	63

Resumen ejecutivo

Melina arborea Roxb. es una especie de muy rápido crecimiento y excelentes cualidades tecnológicas (también se le ha denominado teca blanca), lo que la hace deseable para la manufactura de muebles, producción de elementos estructurales, para enchapado y la producción de tableros compensados; en el país se le ha utilizado intensivamente en la producción de tarimas para la exportación de frutas y otros productos; por sus excelentes cualidades, melina ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

Fue la especie más ampliamente plantada entre la década de los 80 del siglo XX y los primeros años del siglo XXI en Costa Rica. Su madera ha sido utilizada principalmente para la producción de tableros y tarimas, al extremo que actualmente se consideran agotadas la mayor parte de las plantaciones, aunque las mismas no han sido reemplazadas. Tiene mercado establecido tanto en la producción de tableros como de tarimas, así como en la manufactura de muebles, casas de habitación y en la manufactura de elementos estructurales, aunque falta promoción para ampliar su consumo a nivel nacional.

Tiene silvicultura ampliamente conocida, experiencia nacional y disponibilidad de técnicos capacitados y programas de investigación por parte de centros especializados y universidades nacionales; hay disponibilidad de germoplasma adecuado y con procesos de mejoramiento en marcha (huertos semilleros, huertos clonales).

Crece bien en condiciones de suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas, profundos, planos o con pendientes inferiores al 25% y con pH entre 6,0 y 6,5 de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults, localizados a menos de 500 msnm, precipitaciones entre 2000 y 2500 mm anuales y con tres o cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya y áreas en la Provincia de Puntarenas; **Costa Rica dispone de 415.270 ha potenciales para el establecimiento de la especie**, de las cuales 23.340 ha no presentan limitación alguna. Adicionalmente se pueden incluir sitios con pH entre 5,5 y 5,9, pendientes de entre 25% y 30%, pertenecientes a los órdenes Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults y abajo de 600 msnm, temperaturas entre 22º C y 32º C, 1000 a 4000 mm anuales con 4-6 meses secos. Se dispone de 77.380 ha en estas condiciones tanto en zona norte como atlántica.

Las nuevas plantaciones deben establecerse una vez se han instaurado las lluvias, para permitir el buen desarrollo de los árboles antes de la primera estación seca; en la mayor parte de Costa Rica la estación de lluvias inicia a finales de mayo o primeros días de mayo, con una breve estación seca (canícula) en julio; en la zona Huetar norte atlántica el periodo seco es menos marcado, con menor cantidad de lluvias en octubre, por lo que podría pensarse en establecer plantaciones casi todo el año. De todas maneras la decisión depende de las condiciones locales y el silvicultor debe conocer las mismas para definir su programa de establecimiento y manejo. El suelo debe estar preparado para recibir las plántulas al inicio de la estación lluviosa; el suelo debe estar limpio de malezas (las que se deben controlar estrictamente durante el primer año). El terreno debe estar protegido del fuego y el ingreso de animales y otras especies que puedan producir daños a las plántulas. Se deberá prever la presencia de excesos de agua en el suelo, mediante la construcción de un sistema de drenaje adecuado para permitir la salida de estos excedentes.

Dado que melina, al igual que teca y otras especies, es intolerante a la competencia por luz, agua y nutrimentos, así como espacio radicular, se controlará adecuadamente las malas hierbas; para ello se recomienda el uso del plateo individual o limpieza de la línea de plantación; el desmalezado se puede hacer en forma manual, semi-mecánica (motoguadaña) o utilizando desmalezadoras (chapeadoras) mecánicas haladas por tractor agrícola.

La planificación y ejecución exitosa de las actividades depende de un buen programa de monitoreo, para lo que es recomendable establecer parcelas permanentes para monitorear el crecimiento de las plantaciones y tomar las decisiones de manejo en el momento oportuno.

Melina goza de amplia reputación de crecimiento rápido tanto en diámetro como en altura en los primeros años, lo que favorece el cierre rápido de copas y el control de malezas; sin embargo, contrario a teca, produce una gran cantidad de ramas desde los primeros meses, lo que hace necesario la realización de podas tempranas de formación; generalmente se realizan podas hasta una altura de 7 m.

Dependiendo del tipo de producto a obtener (madera para trozas de aserrío, tableros compensados, madera estructural, postes o madera para enchapados o tarimas y otros) se decide el régimen silvicultural. Algunos productores orientados a la producción de madera para tarimas utilizan turnos cortos (8-10 años o menos) y realizan tres raleos, partiendo de una población inicial entre 800 y 1000 árboles; realizan un primer raleo de 40% al segundo año, un segundo raleo (30%) a los cuatro años y un tercero (30%) a los seis años; para la producción de madera de mayores dimensiones se realizan igualmente tres raleos a los 4, 6 y 9-10 años con las mismas intensidades, en ciclos de corta de 12 a 16 años. La población final esperada varía entre 240 y 300 árboles ha⁻¹. Se espera alcanzar entre 35 y 40 cm o más a la edad de corta.

Melina (*Gmelina arborea* Roxb.): condiciones para su cultivo

Héctor A Martínez H
Consultor

1. Antecedentes

1.1 Marco de referencia

Los “Términos de Referencia para la contratación de la consultoría Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (TdR) establecen que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es el responsable, según asignación legal, del financiamiento del sector forestal costarricense, mediante el financiamiento a través de dos modalidades: pago por servicios ambientales y crédito dirigido a pequeños y medianos productores. FONAFIFO es, además, el punto focal de REDD+ y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP), el cual ha definido como una de las acciones estratégicas para Redd+ el aumento de la producción y el consumo sostenible de madera, como una de las formas para aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

La consultoría indicada ha sido contratada por el FONAFIFO y responde ante un Comité Evaluador, nombrado por el Director Ejecutivo de FONAFIFO, del que forma parte la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país.

El objetivo general de la consultoría es: Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono.

El logro de este fin requiere el alcance de los siguientes objetivos específicos:

1. Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
2. Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.
3. Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies¹ y entre ellas se seleccionó *Gmelina arborea* Roxb. L. F. (melina).

¹ Martínez H., H.A. 2014. Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Moravia, Costa Rica, FONAFIFO (Fondo Nacional de Fomento Forestal). 39 p.

1.2 ¿Por qué melina?

Melina arborea Roxb. es una especie de muy rápido crecimiento y excelentes cualidades tecnológicas (también se le ha denominado teca blanca), lo que la hace deseable para la manufactura de muebles, producción de elementos estructurales, enchapado y la producción de tableros compensados; en el país se le ha utilizado intensivamente en la producción de tarimas para la exportación de frutas y otros productos.

Fue la especie más ampliamente plantada entre la década de los 80 del siglo XX y los primeros años del siglo XXI en Costa Rica. Su madera ha sido utilizada principalmente para la producción de tableros y tarimas, al extremo que actualmente se consideran agotadas la mayor parte de las plantaciones, aunque las mismas no han sido reemplazadas. Tiene mercado establecido tanto en la producción de tableros como de tarimas, así como en la manufactura de muebles, casas de habitación y elementos estructurales.

Tiene silvicultura ampliamente conocida, experiencia nacional y disponibilidad de técnicos capacitados y programas de investigación por parte de centros especializados y universidades nacionales; hay disponibilidad de germoplasma adecuado y con procesos de mejoramiento en marcha (huertos semilleros, huertos clonales).

Crece bien en condiciones de suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas, profundos, planos o con pendientes inferiores al 25% y con pH entre 6,0 y 6,5 de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults, localizados a menos de 500 msnm, precipitaciones entre 2000 y 2500 mm anuales y con tres o cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya y áreas en la Provincia de Puntarenas; Costa Rica dispone de 415.270 ha potenciales para el establecimiento de la especie, de las cuales 23.340 ha no presentan limitación alguna. Adicionalmente se pueden incluir sitios con pH entre 5,5 y 5,9, pendientes de entre 25% y 30%, pertenecientes a los órdenes Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults y abajo de 600 msnm, temperaturas entre 22º C y 32º C, 1000 a 4000 mm anuales con 4-6 meses secos. Se dispone de 77.380 ha en estas condiciones tanto en zona norte como atlántica.

2. Requerimientos biofísicos

2.1 Precipitación anual

La especie se extiende desde el curso del río Chenab (piedemonte del Himalaya en Pakistan Occidental) hacia el sur y el sur-este a través de la India, Nepal, Sikkim, Assam, Pakistan Oriental, Ceylán, desde Burma hasta Tailandia, Laos, Cambodia, Vietnam y las provincias del sur de la China (Yunnan y Kwangsi Chuang), con precipitaciones que varían entre 762 - 2032 mm (Lamb 1968); o de manera más general, entre 750-4500 mm (Troup 1921; Webb et al 1984). Es más frecuente en los bosques caducifolios mixtos de Birmania asociada con *Tectona grandis*, *Terminalia tomentosa* y varias especies de bambú Rodger (1913). Ocasionalmente se encuentra en bosques de hoja perenne, y no es difícil encontrarla asociada con *Shorea robusta*, extendiéndose a regiones relativamente secas de la India central. En los Himalayas occidentales asciende por las montañas y los valles exteriores hasta 1.200 msnm, donde de vez en cuando ha sido vista en formas atrofiadas, aún en climas un tanto secos (Troup 1921); en las regiones más secas, como el Punjab (India), es raro encontrarla.

A pesar que Rodger (1913) indica que ocurre en forma natural en Malasia y las Filipinas, Corner (1940) y Merrill (1923) indican que se trata de una introducción a estos últimos países (Lamb, 1968). Nativa de los bosques húmedos de India, Bangladesh, Sri Lanka, Burma y gran parte del sureste asiático y el sur de China en sitios con precipitaciones entre 750 y 4500 mm anuales y estación seca marcada de hasta 8 meses (NAS 1980; CATIE 1986).

En América Central se le ha plantado en terrenos con precipitaciones entre 700 y 3000 mm anuales, aunque normalmente entre 1200 y 2500 m con una estación seca de tres a cuatro meses (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Clases de sitio para <i>G. arborea</i> en plantaciones en Costa Rica									
Clase de sitio	IS (m)	Altitud	PMA (mm)	TMA (° C)	Déficit hídrico	Pendiente (%)	Incremento medio anual		
							dap (cm año ⁻¹)	Altura (m año ⁻¹)	Volumen (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)
Marginal	10,52	439	2047	27,3	4,5	7,5	< 1,9	< 1,22	< 6,78
Bajo	18,11	308	2024	26,7	5,4	16,4	1,91-2,90	1,23-2,32	6,79-15,33
Medio	21,3	298	2125	26,5	5,0	16,0	2,91-3,60	2,33-3,20	15,34-24,49
Alto	23,12	140	2005	26,0	5,1	11,9	3,61-4,62	3,21-3,90	24,50-37,77
Excelente	27,92	158	1770	26,8	5,0	17,2	> 4,63	> 3,91	> 37,78

Fuente: Tomado de Vallejos (1996) citado por Murillo y Alvarado (2012)

2.2 Temperatura

En su rango natural de distribución las temperaturas medias oscilan entre 24° C y 35° C (CATIE 1986); Florido y Cornejo (2002) reportan temperaturas entre 21° C y 28° C en el área de distribución. En América Central se ha plantado en sitios con temperatura media entre 24° C y 29° C (CATIE 1986).

Las temperaturas mínimas absolutas en su área de distribución natural oscilan entre -1° C y 16° C y las máximas entre 38° C y 48° C (CATIE 1986). Según Troup (1921), melina crece en regiones con temperaturas máximas absolutas de 37,8° C a 47,8° C.

2.3 Altitud

Según Murillo y Alvarado (2012), en Costa Rica la melina crece bien desde 0 hasta 600 msnm, con una precipitación promedio anual de 2.500 mm y de 2 a 4 meses secos al año. Varios estudios sobre calidad de sitio han encontrado que el crecimiento de *G. arborea* se reduce cuando los suelos están compactados (valores de $D_a > 0,9 \text{ Mg m}^{-3}$), las plantaciones se establecen arriba de los 500 msnm, soplan vientos fuertes y los contenidos de Ca y Mg disponible se encuentran por debajo de los 10 y 6 cmol (+) L⁻¹ de suelo, respectivamente (Obando 1989; Stuhmann *et al.* 1994; Vázquez y Ugalde 1995; Vallejos 1996).

La especie crece hasta los 500 msnm, aunque los mejores crecimientos se dan debajo de los 300 msnm.

2.4 Suelos

2.4.1 Textura

La especie requiere suelos profundos, bien drenados, de texturas francas y de topografía plana a ligeramente ondulada (CATIE 1986), con buenos contenidos de calcio y magnesio, CICE ≥ 20 MEQ/g y %SA $\leq 3\%$ y sin obstáculos para el desarrollo radical (Vallejos 1996, Murillo y Alvarado 2012).

No crece bien en suelos arcillosos, pesados y mal drenados (vertisoles), suelos compactados o suelos arenosos, arcillosos (pesados), con menos de 50 cm de profundidad efectiva; tampoco crece en suelos infértiles y ácidos, con presencia de vientos fuertes y donde Ca y Mg disponible < 6 cmol (+) L⁻¹ de suelo

2.4.2 Drenaje

La especie presenta el mejor crecimiento en suelos profundos, húmedos, bien drenados y con buen suministro de nutrimentos. En la India, en bosques naturales (Troup 1921), la especie muestra preferencia por los valles fértiles y húmedos; no prospera donde el drenaje es malo, mientras que en arenas secas o con suelos muy pobres permanece atrofiado, y muestra solo una forma arbustiva debido a que es eliminada repetidamente por la sequía.

2.4.3 Reacción del suelo

Los mejores crecimientos se dan en suelos con pH arriba de 6,0. Como *Cedrela*, melina crecerá vigorosamente en suelos con capas superficiales alcalinas o ligeramente ácidas, donde encuentran una amplia gama de nutrimentos disponibles, pero fracasará en suelos ácidos muy lixiviados donde podrían prosperar los pinos.

2.4.4 Profundidad

La especie requiere suelos profundos, sueltos y bien drenados, sin capas endurecidas. Al parecer, de la experiencia Sierra Leona, melina no puede sobrevivir más de 15 años en plantaciones sobre suelos y subsuelos pedregosos y/o con capas endurecidas que restringen el desarrollo de la raíz hacia abajo (Lamb 1968). Esto puede ser puramente físico o el resultado también de la composición química del suelo.

Clases de sitio	Topografía	Pendiente (%)	Suelos	Profundidad efectiva (cm)	pH	CICE	Saturación acidez
Clase I	Plana	0-5	Inceptisoles, Entisoles fértiles	> 80	6,1-6,5	> 20	< 3
Clase II	Plana, inclinada, cóncava	0-8	Inceptisoles, Entisoles fértiles	50-79	5,5-6,0	15-19	3-10
Clase III	Plana, ondulada, inclinada, convexa	0-30	Alfisolos, ultisoles	40-49	5,6-5,9	6-18	11-25
Clase IV	Ondulada, convexa	> 30	Ultisoles	< 40	4,8-5,5	< 6	> 25

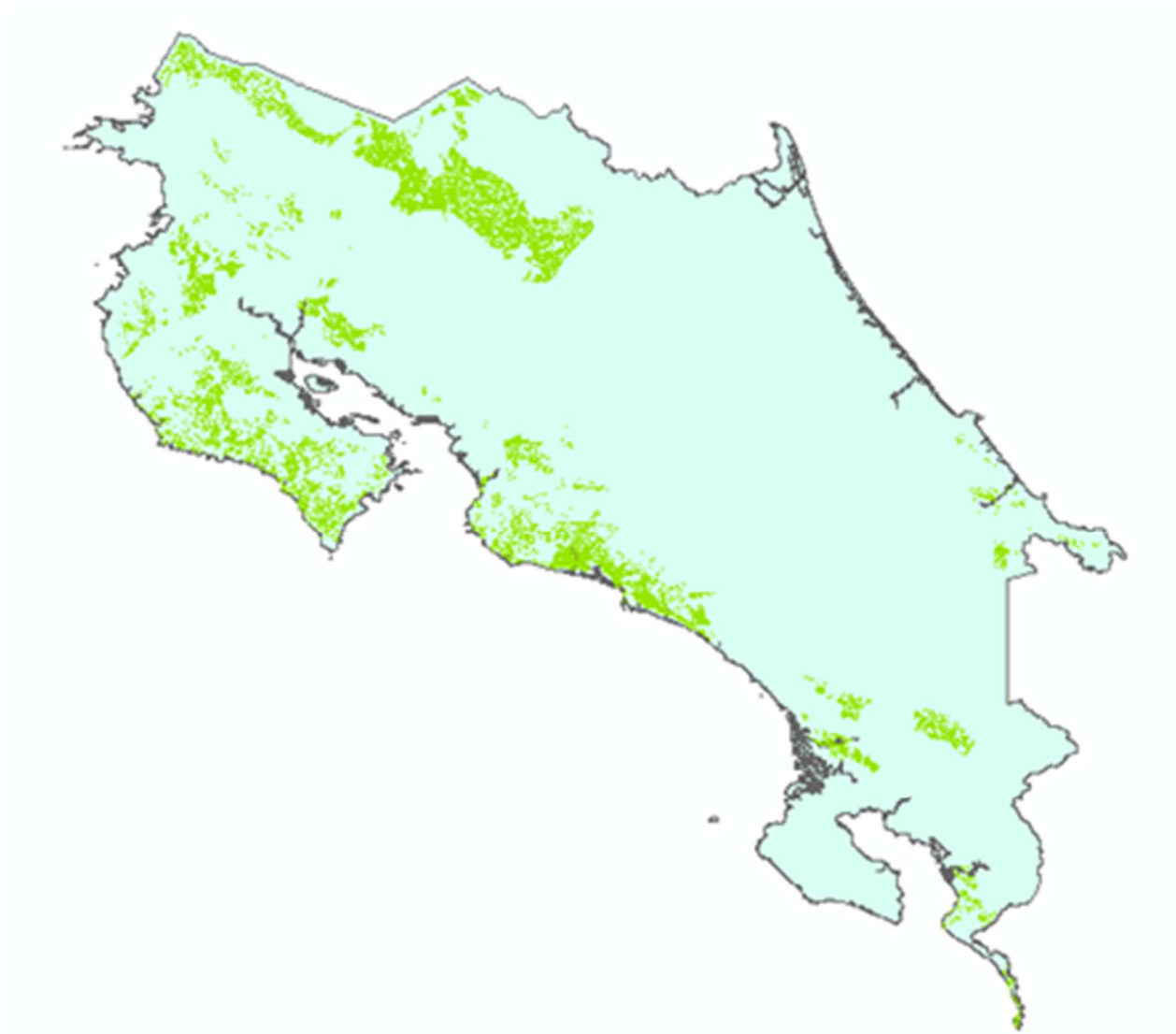
Fuente: Zeaser 2002, comunicación personal a Alvarado

Cuadro 3. Características de sitios para tres condiciones de crecimiento de melina

Condición	Características						
	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Óptima	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28
Promedio	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32
Deficitario	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo indicado por los indicadores seleccionados: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas con plantaciones actuales, áreas protegidas y otras áreas con bosque; adicionalmente con la información geográfica disponible se determinaron las áreas con mayor potencial para el cultivo de melina: península de Nicoya, la parte norte de Guanacaste y la denominada zona norte cerca de Los Chiles; igualmente el área central de la costa pacífica en la provincia de Puntarenas y la región de Buenos aires en la misma provincia (mapa 1).



Áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones de *Gmelina arborea* (áreas consideradas óptimas).

Fuente: elaboración propia a partir de capas de información geográfica.

3. Formas de reproducción y producción en vivero

3.1 Reproducción por semillas y otras formas

Los frutos de melina son drupas carnosas, ovoides u oblongas de 20-35 mm de longitud; el mesocarpo es amarillo, carnoso, comestible para los animales. El endocarpo es duro, contiene dos a cuatro semillas y tamaño variable. La semilla de melina es blanda, alargada, blanca y de consistencia dura cuando es viable. También se puede encontrar de color café claro y lisa; tiene forma elipsoidal y mide de 7 a 9 mm de largo; el embrión es recto, con dos cotiledones planos y carnosos. Su radícula es corta, sin endospermo (Niembro 1983).

Hay un promedio de 1.250 semillas kg^{-1} (Yap y Wong 1983) a 2.750 semillas kg^{-1} (Hor y Pukittayacamee 1993). Las semillas frescas pueden almacenarse en bolsas, en un lugar fresco y seco, por cerca de 3 meses sin perder mucha viabilidad. Las semillas frescas muestran una tasa de germinación de 90% (Hor y Pukittayacamee 1993).

La semilla de la especie se considera ortodoxa, lo que representa una ventaja desde el punto de vista del almacenamiento. Para su almacenamiento se recomienda empacarla en bolsas plásticas selladas dentro de recipientes herméticos, ya que a temperatura ambiente la viabilidad se reduce rápidamente. Se debe reducir su contenido de agua hasta un 6 y 10% (base húmeda) y almacenarla en un cuarto frío entre 3° C y 5° C para conservarla adecuadamente hasta por dos años (Rojas *et al.* 2004). La semilla de melina puede perder hasta 23% de su capacidad germinativa en 24 horas y reducirse prácticamente a 0% al cabo de una semana si las condiciones de transporte, manejo y acondicionamiento no son adecuadas.

En el país existen fuentes superiores de abastecimiento de semilla de calidad superior, por lo no se justifica la recolección de material de cualquier árbol. El Centro Agrícola Cantonal de Hojanca (CACH) vende semilla certificada a productores nacionales, sino también lo hace a grandes proyectos de reforestación a nivel nacional e internacional. El Banco de Semillas Forestales del CATIE es otro proveedor de semillas certificadas.

La germinación es de tipo epigea y se inicia a los seis o siete días; el pico de germinación se da entre los 17 y 20 días y termina entre los 47 89 días. A los 12 días normalmente ha germinado la tercera parte del total. Una vez sembrada, la semilla germina mejor a plena luz (25° C a 30° C) que bajo cubierta. Por debajo de 16° C se corre el riesgo de que no ocurra la germinación. Dada la naturaleza de los endocarpos y semillas, se recomienda utilizar tratamientos pre-germinativos, los cuales dependen de las condiciones de la semilla. Generalmente se usa inmersión en agua a temperatura ambiente por un día (Kijkar2004), o varios días, llegando a cinco días, cambiando diariamente el agua; posteriormente se depositan en un lugar a la sombra, remojando diariamente hasta que abran los endocarpos; este proceso puede durar de 10 a 15 días.

Rojas *et al.* (2004) indica que aunque es factible plantar melina en forma directa (por la germinación múltiple que presenta de hasta 3 semillas por fruto) es conveniente la siembra de las semillas en eras o camas de germinación con un sustrato que contenga tierra común de vivero y arena de río en partes iguales, previamente esterilizados ya sea con sol (solarización) o con un producto químico o natural. El sustrato debe estar constantemente húmedo pero jamás encharcado o reseco. Para ello se recomienda el

riego por nebulización usando gotas muy finas. Las semillas se siembran en surcos a una densidad baja. No debe sembrarse muy profunda y debe cubrirse con una capa delgada de sustrato.

Cuando las plántulas presenten un tamaño cercano a los 5 cm (del tamaño de un palillo de fósforo) se debe proceder al repique en horas tempranas de la mañana. Para esta labor se debe regar y aflojar el semillero y luego proceder a extraer cuidadosamente las plántulas, tomándolas con los dedos por las hojas y evitando el contacto con el tallo.

Otra forma de producción es a partir de estaquillas enraizadas (clones) que permite reproducir árboles similares a los que les dan origen (figura 1), sin pérdida de la varianza genética (figura 2):

- (i) de los árboles plus (en el jardín clonal) se toman yemas terminales (de la parte superior), semanal o quincenalmente, de aproximadamente 4 cm de longitud, con una o dos hojas terminales, las cuales son podadas, dejando 1/5 de su lámina foliar;
- (ii) las estaquillas son tratadas con un estimulador del enraizamiento (ácido indol butírico al 0,2%-0,5%) para acelerar y homogeneizar el enraizamiento; también se aplica agentes micorrizantes adecuados;
- (iii) las estaquillas se ponen a enraizar (en invernaderos para producción avanzada de las especies, en túneles de enraizamiento, donde se controla la temperatura -30º C y la humedad -100%- en forma permanente; en condiciones menos sofisticadas se pueden poner a enraizar en sustratos inertes de aserrín o arena (Rojas et al. 2004)); el periodo de enraizamiento es de aproximadamente 5-8 días y la tasa de enraizamiento de 70%-80%, aunque en casos excepcionales puede llegar al 95%.



Figura 1. Árboles seleccionados por su forma para obtención de material vegetativo (estaquillas o ramets)

Fuente: elaboración propia

- (iv) después del periodo de enraizamiento las plántulas se trasplantan a los recipientes (generalmente pellets de turba o tubetes plásticos o de papel kraft) para el periodo de crecimiento y adaptación - 14 a 20 días-, dentro del invernadero o umbráculo. Durante este periodo se suministra fertilización (foliar) y riego permanentemente (con un fertilizante que garantice cantidades adecuadas de macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como los micronutrientes que han mostrado ser indispensables: cobre, boro, manganeso, molibdeno; se debe disponer de un programa de fertilización adaptado a las condiciones locales); al cabo de 25-28 días las plántulas son

expuestas a plena exposición para un periodo de adaptación pre-plantación; al alcanzar 20-25 cm de altura las plántulas están listas para ir al campo, a los 32-35 días.

Al igual que otras especies (teca, por ejemplo) se puede utilizar varios tipos de recipientes para trasplante y preparación para la plantación: bolsas de polietileno, tubetes plásticos o de papel kraft o pequeñas bolas comprimidas de turba (pellets o “jiffys” por su nombre comercial).

Las plántulas están listas para ir al campo cuando alcanzan 25-30 cm de altura a los 45-60 días. Otros autores indican que las plantas jóvenes crecen rápidamente y alcanzan un tamaño apropiado para llevarse a campo en 2 a 3 meses (plántulas provenientes de semilla), cuando miden de 40 a 45 cm de altura. También se usa el establecimiento de tocones o pseudoestacas (Troup, 1921); esta última forma de establecimiento fue muy popular en la segunda parte de siglo XX en América Central y aún se utiliza en algunas partes.

La especie rebrota bien después de talarse. Estos rebrotes están listos para producción por esqueje enraizado cuando tienen 60 días de edad (figura 3). Comúnmente se utiliza una sección de un solo nudo de mitad de hoja para enraizamiento, con o sin aplicación de fitohormonas. Sin embargo, el tratamiento con fitohormonas puede inducir un enraizamiento más temprano y vigoroso, que sin tratamiento (Hijoyo, 1993). Estacas de *Gmelina arborea* se establecen bien cuando la humedad relativa es de más de 80% y la temperatura es menor a 30° C.



Instalaciones para la reproducción vegetativa de melina



Plantas madre de melina para reproducción vegetativa (clonal): en macetas y en eras (bancales)



Cosecha y preparación de estaquillas reproducción vegetativa



Detalle de estaquillas listas para enraizar; recipientes para enraizamiento y túneles de enraizamiento (humedad 100%; 30° C)



Bandejas de adaptación temprana y bandejas de crecimiento



Plántulas listas para el campo: plantación en lomillos (tierra laborada) melina de cuatro meses de plantado

Figura 2. Proceso de producción y establecimiento de plantaciones con material vegetativo

Fuente: elaboración propia



Figura 3. Seudoestacas: forma, calidad y respuesta a la plantación (una semana después de plantadas)

Fuente: elaboración propia

3.2 Tiempo en vivero

Material producido a partir de semillas puede tardar hasta tres meses para estar listo para salir al campo; material vegetativo está listo para salir a plantación en 30-35 días.

Las plántulas deben estar listas para ir al campo al inicio de la estación de lluvias, cuando se produce para plantaciones locales o para entrega a otros productores.

3.3 Fertilización y controles químicos

La fertilización de plántulas de melina en vivero, es mejor cuando se utiliza urea y sulfato de amonio (mayor altura y mayor peso seco que las fertilizadas con nitrato de potasio); sin importar la fuente del fertilizante, se encontró que una aplicación de 2,5 g de N por planta permitió obtener el mejor crecimiento de plántulas trasplantadas en latosoles (Ogbonnaya y Kinako 1993), quienes indicaron que la adición de N como nitrato de amonio o urea, causa un mayor crecimiento en altura, diámetro, peso seco tasa de asimilación neta y crecimiento relativo, que el encontrado en plántulas que recibieron N como sulfato de amonio o nitrato de potasio.

La utilización de N y P en vivero, causa un incremento en la población de bacterias y una disminución de la población de hongos en la rizósfera, sin que se afecte significativamente ninguna variable de crecimiento (Amakiri y Obi 1985).

Durante el crecimiento en vivero debe disponerse de un programa de fertilización que llene las necesidades de las plántulas, promoviendo el crecimiento sano de las mismas. Melina es una especie adaptada a condiciones de suelo neutro a básico, por lo que su crecimiento se favorece conforme aumentan los contenidos de bases cambiables en el suelo, creciendo normalmente cuando el contenido de Ca oscila entre 6,0 y 22,3, Mg entre 1,6 y 6,7 y K entre 0,5 y 0,7 cmol (+) L⁻¹, respectivamente, con un pH entre 5,7 y 6,4 en el trópico seco de Guanacaste, Costa Rica (Obando 1989; Vásquez y Ugalde 1994; Vallejos 1996). Crece aún mejor cuando las concentraciones disponibles de los elementos oscilan entre 18-23, 6,2-6,7 y 0,3-0,7 cmol (+) L⁻¹ de Ca, Mg y K respectivamente (Vallejos 1996).

Debido a la alta humedad y temperatura reinantes en las condiciones de vivero, es posible que se presenten ataques de hongos, por lo que una vigilancia continua y el uso de fungicidas cúpricos son recomendables para evitar pérdidas que aumenten los costos de producción.

3.4 Preparación y envío

En bandejas de hasta 30 plántulas (en bolsas de polietileno de 4" x 6" o 4" x 8") o de 96 a 150 plántulas en "jiffys"; cada vivero define la cantidad y arreglos necesarios para garantizar la cantidad adecuada, de acuerdo al método de plantación seleccionado.

Las plántulas criadas en bolsa generalmente salen con una altura de 25 cm -30 cm; no se tiene experiencia de producción en pellets de turba (jiffys) pueden tener entre 10 cm y 30 cm. A menor altura de las plántulas, mayor exigencia con el control de malezas en el campo.

4. Establecimiento

4.1 Época de establecimiento

Las plántulas y el sitio deben estar listos para el establecimiento de la plantación al inicio de la época de lluvias, para aprovechar toda la estación de crecimiento. En Costa Rica este periodo inicia regularmente a finales de mayo o inicios de junio y se extiende hasta noviembre (Guanacaste, costa pacífica y zona norte).

En el área de Buenos Aires las lluvias sobrepasan los 100 mm mensuales a partir de abril y la estación seca se extiende de diciembre a marzo; en el área de Río Claro todo el año la precipitación es superior a 100 mm (febrero es el mes de menos lluvias con 105 mm), por lo que se podría plantar en cualquier época al igual que en el área de Limón, donde hay una estación de menos lluvias en los meses de septiembre y octubre, aunque con precipitaciones superiores a 140 mm (figura 4).

4.2 Protección de las plantaciones

Como con otras especies, las plantaciones de melina deben ser protegidas de diferentes tipos de merodeadores (animales, incluyendo humanos), precaristas, cazadores, ladrones y el fuego. La protección en el caso de merodeadores, cazadores y, hasta cierto punto, de precaristas, se hace mediante el establecimiento de cercos alambrados (alambre de púas o espigado), generalmente sobre postes vivos de especies tales como madero negro (*Gliricidia sepium*), jocotes (*Spondias purpurea*), tempate (*Jatropha curcas*), pochote (*Bombacopsis quinata*) u otras especies, aunque algunos productores utiliza postes muertos de madera o de concreto.

La protección contra el fuego se hace estableciendo "rondas o barreras cortafuego" consistentes en caminos de hasta 4 m de ancho bordeando las plantaciones, para disminuir el riesgo de ingreso del fuego desde el exterior, facilitar el movimiento de vehículos y personal de control, así como personal de bomberos.

En todos los casos la disponibilidad de guardias especializados es una opción, especialmente durante la época seca y en zonas con alta incidencia de incendios (Guanacaste, Costa Pacífica).

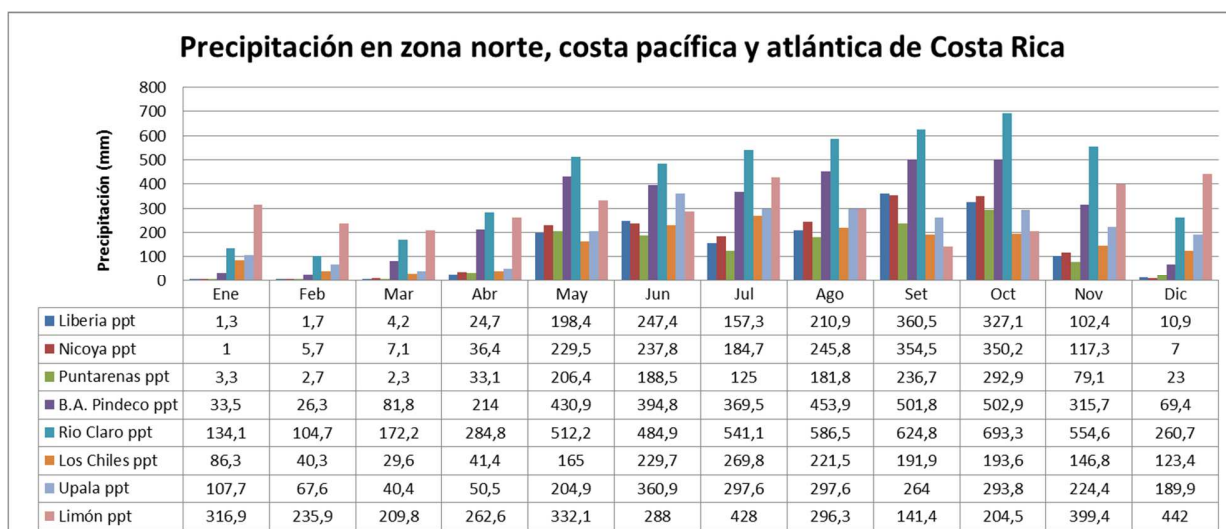


Figura 4. Distribución mensual de las lluvias en sitios seleccionados de la zona norte, costa pacífica y atlántica de Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea. http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?_EVENTTARGET=LinksInfoClimatica

4.3 Selección del sitio, época de establecimiento y preparación del suelo

Como con otras especies, las plántulas de melina y el terreno a plantar deben estar preparados al inicio de la época de lluvias, la cual, con variaciones según la localización del sitio, inicia en Costa Rica a finales de mayo y se extiende hasta finales de octubre o comienzos de noviembre, con una sequía intermedia (mediados a finales de julio, conocida como canícula). Es importante que la plantación se realice al inicio de las lluvias para permitir el desarrollo del sistema radicular y un periodo de crecimiento adecuado para resistir el primer periodo seco (diciembre-mayo).

Los sitios que han mostrado mayor aptitud para el crecimiento de plantaciones de melina normalmente tienen temperaturas que varía entre 24° C y 28° C. La mayoría de los sitios en las zonas bajas de Costa Rica tienen temperaturas medias entre estos valores. La figura 5 muestra la distribución de las temperaturas máximas y mínimas en la zona de Guanacaste, la zona norte, la costa pacífica y la costa atlántica de Costa Rica.

Melina crece naturalmente en sitios entre 750 y 4500 mm (Troup 1921); la figura 7 presenta la distribución de la precipitación a lo largo del año en sitios de Guanacaste, la costa pacífica, zona norte y costa atlántica de Costa Rica. En general, en los sitios cubiertos por la información de precipitación, melina debe ser establecida entre los meses de mayo y octubre, para aprovechar al máximo la estación lluviosa.

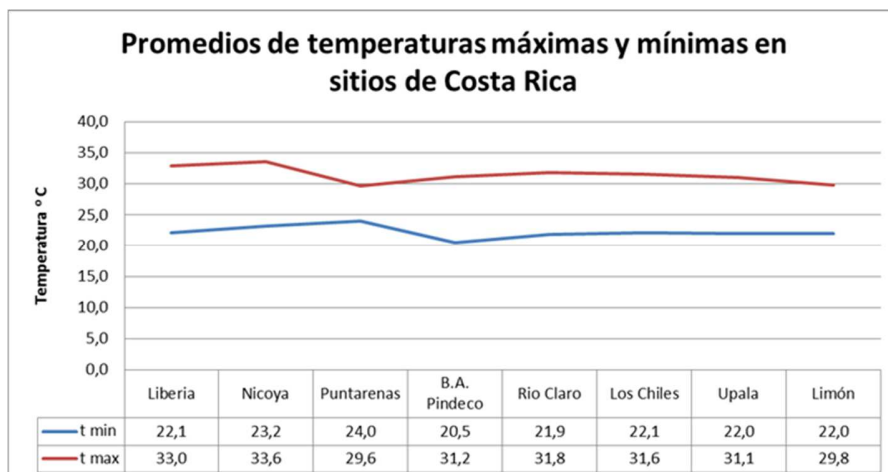


Figura 5. Temperaturas máximas y mínimas en ocho estaciones meteorológicas de Costa Rica

Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea. http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=LinksInfoClimatica

La especie requiere suelos profundos, bien drenados, de texturas francas y de topografía plana a ondulada (CATIE 1986; Alfaro 2003; Murillo y Alvarado 2012). Al comparar sitios con suelos formados de diferente material parental y clima, se puede encontrar diferencias de productividad entre 5-6 m³ ha⁻¹ año⁻¹, como sucede al comparar los rendimientos encontrados en Santa Cruz, Guanacaste (suelos vérticos en régimen de humedad ústico), con los de los Chiles de Upala, Alajuela (suelos aluviales en régimen de humedad údico) o con los de Buenos Aires, Puntarenas (Ultisoles arcillosos y ácidos en régimen de humedad údico-ústico).

Varios autores han trabajado en la determinación de la calidad de sitio encontrando que el crecimiento de *G. arborea* se reduce cuando los suelos están compactados (valores de densidad aparente > 0,9 Mg m⁻³), las plantaciones se establecen sobre los 500 msnm, soplan vientos fuertes y los contenidos de Ca y Mg disponible se encuentran por debajo de los 10 y 6 cmol (+) L⁻¹ de suelo, respectivamente (Obando 1989; Stuhmann et al. 1994; Vázquez y Ugalde 1995; Vallejos 1996). En terrenos de ladera en Bangladesh, Osman et al. (2002) mencionan que la especie crece mejor en suelos de textura franco arenosa que en suelos de textura franco arcillo arenosa y cuando el pH del suelo es mayor a 6,0.

Rojas *et al.* (2004) indican que los requisitos principales para la selección de sitios para melina son: la posición topográfica del sitio, los contenidos de calcio y magnesio en el primer horizonte y el uso anterior del suelo. Según Murillo (1996) los mejores rendimientos en volumen en plantaciones de melina de la zona sur de Costa Rica, se dan en sitios con suelos aluviales de fertilidad alta (35-65 m³ ha⁻¹ año⁻¹), mientras que los más bajos en suelos poco fértiles (5-35 m³ ha⁻¹ año⁻¹).

No crece bien en suelos arcillosos, en pendientes superiores al 30% con problemas de baja fertilidad, bajo contenido de materia orgánica y poca profundidad del suelo. El crecimiento también se ve afectado en suelos superficiales, con capas endurecidas, impermeables y pedregosas, así como en suelos ácidos muy lixiviados o arenas secas.

Experiencia desarrollada en empresas privadas indican que cuando se utiliza silvicultura de precisión se requiere una preparación adecuada del suelo, la cual incluye subsolado (hasta 60 cm -70 cm de

profundidad), arado, rastreado, alomillado, además de la construcción de canales para el drenaje del agua sobrante (figura 6). La utilización de subsolado depende del uso anterior, la presencia de capas endurecidas, así como la necesidad de mejorar las condiciones físicas del suelo. En todos los casos es necesario tomar precauciones para evitar problemas de erosión del suelo (figura 7).



Figura 6. Limpieza de canales primarios y secundarios para facilitar el drenaje del agua sobrante en plantaciones forestales (melina).

Fuente: elaboración propia



Figura 7. Preparación intensiva del suelo para establecimiento de plantaciones de melina.

Fuente: elaboración propia

El hoyo para cada postura o plántula debe ser suficientemente grande para cubrir el recipiente en el que viene la misma (bolsa, tubete o pellet); en silvicultura de precisión los hoyos se abren en la parte alta del "lomillo" para facilitar la penetración de las raíces, el drenaje de los sobrantes de agua y controlar las malezas en los primeros meses de crecimiento.

Dependiendo del estatus de los nutrimentos mostrado por los análisis de suelos, se puede optar por agregar fertilizante en el fondo del hoyo (teniendo el cuidado que el mismo no entre en contacto con las raíces de la plántula), así como la aplicación de fuentes de calcio (cal, por ejemplo), dependiendo del pH y la acidez del suelo, la presencia de excesos de hierro o aluminio. Cuando se aplica la misma puede aplicarse en una corona, alejada de 20-25 cm del cuello de la plántula para evitar daños a la misma.

La especie puede plantarse en asocio con cultivos agrícolas compitiendo fuertemente por nutrimentos en Ultisoles ácidos de Nigeria, debido a su distribución de raíces finas y gruesas en los horizontes superficiales del suelo (Ruhigwa et al. 1992). El empleo de clones mejorados de melina, hace que la escogencia de sitios sea estricta, si se desea alcanzar buenos resultados en productividad y crecimiento. Entre los socios posibles con melina se tiene el establecimiento simultáneo con leguminosas (frijoles, guandul, maní), tubérculos (*Xantosoma* spp.).

4.4 El sitio y comportamiento de melina

Gmelina arborea crece bien en suelos profundos, franco arcillosos, calcáreos y suelos húmedos pero bien drenados, con precipitaciones óptimas 1800-2300 mm por año (Lamb, 1970, Tewari, 1995; Wijoyo 2000; Lauridsen et al, 2002; Espinoza 2003). Fred (1994) citado por Hossain (1999) indica que la especie requiere acidez del suelo con pH entre 5,0 y 8,0.

Ali *et al.* (2010) observaron, en Etiopía, que la distribución del tamaño de las partículas del suelo varía a lo largo de la topo-secuencia (posición topográfica). Encontraron que los suelos localizados en la parte media de la pendiente tienen, relativamente, mayores contenidos de arcilla a lo largo del perfil, seguido por los suelos en la parte alta de la pendiente, en suelos con pH que variaba entre 6,47 y 7,47.

Según Vázquez y Ugalde (1995) en Guanacaste, Costa Rica, los mejores sitios para el crecimiento de melina corresponden al piedemonte o fondos plano, donde generalmente hay mayor disponibilidad de agua y materia orgánica (nutrimentos), niveles adecuados de Ca y Mg 10 y 6 meq/100 ml en el primer horizonte y cuyo uso anterior fue charral (matorrales) o uso agrícola; el viento afecta negativamente el crecimiento.

Vallejos (1996) encontró que el índice de sitio para melina en la zona de Guanacaste, Costa Rica, (en los primeros 20 cm de profundidad) depende fundamentalmente de la posición topográfica (el mayor índice de sitio se presenta en las posiciones de fondo plano y pendiente inferior o piedemonte), la presencia de viento (a mayor velocidad del viento, menor índice de sitio) y los contenidos de calcio. El algoritmo encontrado es:

$$IS = 15,509609 + 2,084607P_{Top} - 2,334711V_{iento} + 0,188707 Ca$$

donde:

P_{Top} : 1 = Cima; 2 = Pendiente media; 3 = Pendiente inferior; 4 = Fondo plano

Viento: 1 = poco viento (no afecta el crecimiento); 2 = Moderado (afecta poco el crecimiento); 3 = muy ventosos (afecta el crecimiento)

Ca = cmol(+) L⁻¹ de suelo.

Stuhrman *et al.* (1994) encontraron en Inceptisoles (suelos marrones) y Ultisoles (suelos rojos) de la zona norte de Costa Rica² una correlación positiva entre el tiempo de uso de la tierra como pastizales y la densidad aparente, los contenidos de aluminio en el suelo y el crecimiento de la melina.

El estudio permitió a estos autores definir algoritmos que permiten explicar el incremento en altura:

INCR = 116 – 53 Da – 0,7 Sat. Al (30 cm) (r² = 0,82, P < 0,05) en Inceptisoles

INCR = 14 + 0,6 grosor hor. A + 25 K/Mg (r² = 0,75, P < 0,001) (Ultisoles)

También: INCR = 80 + 0,6 grosor hor. A + 40 K/Mg – 60 Da (r² = 0,91, P < 0,001

INCR = Incremento en altura; Da = densidad aparente; Sat. Al = Saturación de Aluminio; hor. = horizonte

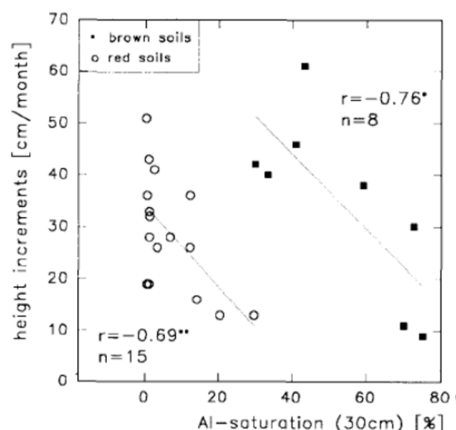
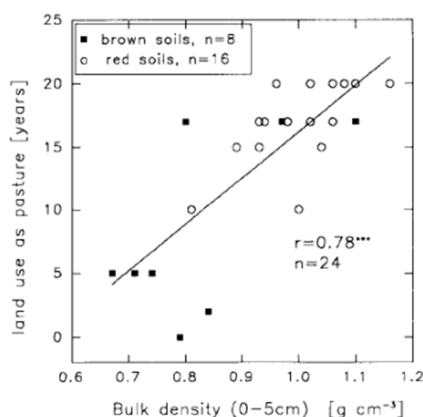
Según Stuhrman *et al.* (1994), dentro de las parcelas estudiadas, la melina que crecía en suelos rojos (Ultisoles) o marrones (Inceptisoles), mostró irregularidades de crecimiento similares. Sin embargo, los datos revelaron que la disminución de crecimiento en sitios a mitad de la pendiente tenía causas diferentes en los dos tipos de suelos. Los suelos rojos mostraron mayores contenidos de cal dolomítica, lo que reduce la toxicidad por Al pero aumenta o induce deficiencias de K. En las posiciones en pendiente, gran parte de la materia orgánica del suelo, el depósito para la mayoría de los nutrientes para las plantas, se pierde por la erosión. El espesor variable de la capa húmica del suelo y la relación K/Mg pudo explicar 75% de la variabilidad de crecimiento de la melina en los suelos rojos.

La inclusión de la densidad aparente se tradujo en un modelo que explica el 91% de la variabilidad del crecimiento. En suelos marrones (Inceptisoles) la saturación de Al y la densidad aparente, como parámetro de la compactación, juntos explicaron el 82% de las irregularidades de crecimiento del árbol.

Los autores concluyeron que en proyectos de reforestación en los suelos degradados en Costa Rica, para evitar desequilibrios en las relaciones K/Mg y K/Ca, dado que estos son suelos pobres en K, se recomienda hacer aplicaciones de cal; cada aplicación debe ir acompañado de una fertilización potásica. Los suelos deben ser monitoreados regularmente para conocer el estatus de las relaciones K/Mg y K/Ca (análisis de suelos). En las pendientes escarpadas no se debe plantar melina ya que su sistema radicular es poco profundo y su demanda de N y K es demasiado alta para estos sitios. *Pinus caribaea var. hondurensis* tiene raíces más profundas, una menor demanda de N, y una tolerancia superior al aluminio.

El crecimiento de los árboles en suelos rojos depende principalmente del espesor de la capa A (húmica), que se erosiona en parte en sitios inclinados. El desequilibrio en la relación K/Mg produce deficiencias de K que afectan el crecimiento afectando el crecimiento de los árboles. La relación K/Mg es menor en las zonas en pendiente, afectadas además por una mayor densidad aparente, como un indicador de la influencia negativa del pisoteo de ganado.

² Las plantaciones incluidas en este estudio se encuentran en las tierras bajas del Atlántico de Costa Rica en alturas inferiores a 300 m sobre el nivel del mar, generalmente a aproximadamente 100 m por encima del nivel del mar. El paisaje es ondulado con terrazas, en parte, con fuertes pendientes (máximo 36°). Antes de la reforestación la tierra fue utilizada para el pastoreo de ganado, por más de 20 años. El material parental del suelo son lahares de finos a grueso, coladas basálticas y andesíticas, del Plioceno –Pleistoceno, con inclusiones volcánicas del Terciario. Las condiciones climáticas son húmedas con una precipitación anual de 2200-4500 mm, una estación seca relativa (más de 200 mm por mes) entre enero y mayo, y temperaturas medias anuales superiores a los 25° C.



Relación entre el uso anterior y la densidad aparente del suelo

Relación entre el incremento en altura de melina y la saturación de aluminio en los primeros 30 cm de profundidad del suelo

Fuente: Stuurman et al. (1994)

En los suelos pardos, otros factores además de las reservas de macronutrientes son responsables de retraso en el crecimiento de melina. La saturación de aluminio en el suelo, que a media ladera alcanza el 80%, restringe la absorción de nutrientes y el crecimiento. Otro factor importante es la densidad aparente, que está altamente correlacionado con la estructura y el sistema de poros del suelo.

Agus et al (2001) en un estudio sobre las relaciones del índice de sitio y la producción de biomasa de melina, en una región tropical³, en rotaciones cortas, encontraron que el crecimiento de la especie es altamente dependiente del sitio; la altura dominante, a los seis años alcanzó los 18 metros (mejores sitios, o sitio I), en el sitio considerado medio alcanzó los 15 metros y en los considerados sitios malos solo alcanzó 12 metros; la curva de crecimiento comenzó a mostrar tendencia sigmoideal a partir de cuarto año de vida (figura 10); de acuerdo con estos autores, el crecimiento de melina es muy rápido durante los primeros 6 años y disminuye considerablemente a partir del 7 año; el crecimiento medio anual puede alcanzar los $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los sitios buenos, $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los sitios medios y solo $12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los sitios malos.

El incremento medio anual varió en un intervalo de $5\text{-}50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Agus 2001), dependiendo de la productividad del sitio. La producción de biomasa y de madera al final de la rotación (6 años de edad) fue de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 40 Mg ha^{-1} , para el sitio pobre; de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 80 Mg ha^{-1} para el sitio medio y $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 120 Mg ha^{-1} para el mejor sitio, respectivamente. La disponibilidad de nutrientes del suelo es importante para el crecimiento vegetal y la producción total de plantaciones forestales como la melina. La biomasa aérea por hectárea al final de la rotación (6 años) fue de 86 Mg de materia seca, 46 Mg de C, 599 kg de N, 417 kg de K, 229 kg de Ca y 32 kg de Mg. La cosecha causó más de 60% de la biomasa de madera se pierde del ecosistema (cuadro 3).

³ El sitio (Sebulu) está localizado a (00° 15'S, 117°00'E), en Surya Hutani Jaya, Kalimantan Oriental, Indonesia, a una altitud de 40 m sobre el nivel del mar, con clima húmedo tropical (Koppen) y suelos clasificados como Typic Hapludult (USDA). La precipitación media anual es de 2.101 mm con una estación relativamente seca (debajo de 100 mm mensual) entre agosto y septiembre (92-98 mm), con máximos en diciembre y enero (266-267 mm). La temperatura media anual es de 26,2° C, con temperaturas no menores de 22° C.

Agus (2001), para plantaciones de melina de 6 años desarrolló el siguiente sistema de ecuaciones para los sitios buenos, medios y malos:

$$Y(\text{sitios buenos}) = -0.147x^3 + 1.14x^2 + 0.85x + 1.73 \quad \text{con } R^2 = 0,998$$

$$Y(\text{sitios medios}) = -0.076x^3 + 0.46x^2 + 2.46x + 0.03 \quad \text{con } R^2 = 0,997$$

$$Y(\text{sitios malos}) = -0.035x^3 + 0.03x^2 + 3.06x - 0.6 \quad \text{con } R^2 = 0,999$$

Y = altura del rodal en metros

X = edad en años

Estos resultados no son diferentes de los encontrados por Soerianegara y Lemmens (1992) quienes reportaron que en condiciones favorables melina es capaz de alcanzar un incremento anual de 20-25 m³ ha⁻¹ año⁻¹, con algunos sitios con rendimientos por encima de 30 m³ ha⁻¹ con un máximo of 38 m³ ha⁻¹. En suelos arenosos muy pobres se alcanzaron solo 84 m³ ha⁻¹ después de 12 años, mientras que en sitios con suelos muy favorables se alcanzó una producción de 304 m³ ha⁻¹ a los 10 años.

Agus et al (2001) obtuvieron el siguiente algoritmo para describir el crecimiento en altura en función del pH, los contenidos de hierro y zinc y la relación de calcio más magnesio con el potasio:

$$H = 20,726 - 1,511(\text{pH}) - 0,0129(\text{Fe}) + 1,498(\text{Zn}) + 0,011(\text{Ca} + \text{Mg}/\text{K})$$

El pH afecta el Al, el Mn y el Ca; cuando aumenta el pH el Mn²⁺ se transforma en Mn³⁺ y Mn⁴⁺ que no son aprovechables por las plantas y se produce deficiencias de Mn. Bajo alta acidez se producen deficiencias de Ca, Mg y K.

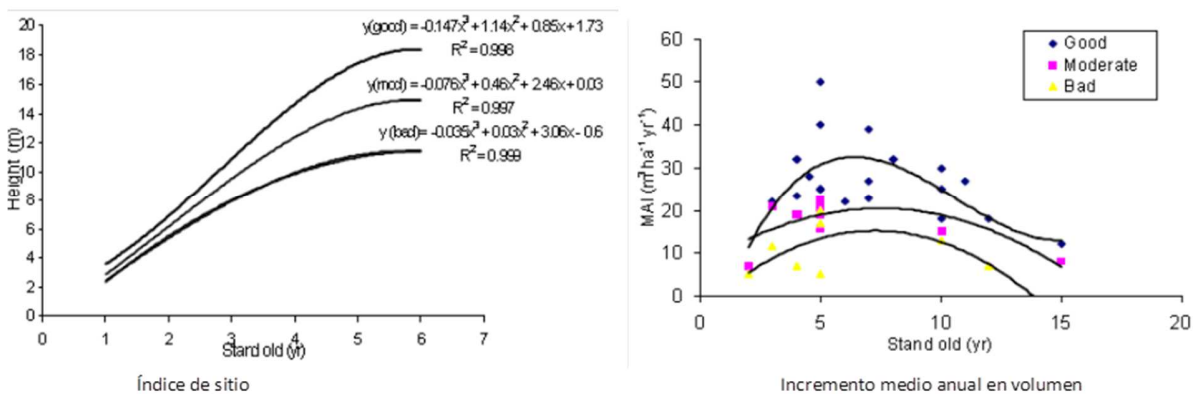


Figura 8. Índice de sitio e incremento medio anual en volumen de una plantación de 6 años de *Gmelina arborea* en Kalimantan Oriental

Fuente: (tomado de Agus et al (2001).

Respecto a la altura dominante, esta muestra incrementos negativos con pH bajos y contenidos de hierro altos; los incrementos se hacen positivos con valores altos de CICE y la relación Ca/Mg (Zeazer y Murillo 1992)

$$\text{IMA Hd} = 34,103 - 5,073\text{pH} - 0,224\text{Fe} + 0,075\text{CICE} + 0,352\text{Ca}/\text{Mg},$$

(en suelos Dystrandeps), y

$$\text{IMA Hd} = 8,0605 - 0,0774 \text{ Sat. Ac.} - 0,0642 \text{ Mg}/\text{K} \text{ (en suelos Eutropepts)}$$

4.5 Cultivo

Melina es una especie intolerante a la sombra y requiere un control estricto de la competencia de otras plantas (malezas) en las primeras etapas de su crecimiento. Se recomienda el “plateo” o limpieza de un anillo o plato alrededor de la planta de 40-60 cm de diámetro en los primeros meses y luego limpieza (eliminación de la competencia) ya sea manual (de alto costo, por el alto consumo de mano de obra), o mecanizada moto-guadaña o “chapeadora” mecánica.

La experiencia ha demostrado que uno de los factores más importante para lograr un rendimiento superior de la melina es un buen control de malezas durante los primeros años de la plantación y de esta manera reducir la competencia por recursos como luz, riego, nutrientes, oxígeno y la interferencia química; antes de la siembra y durante los tres primeros años, se recomienda la eliminación de la vegetación indeseable (dependiendo de las condiciones locales se pueden requerir entre dos y cuatro a seis limpiezas anuales). Después del cierre de copas, la melina controla muy bien las malezas, lo cual facilita el manejo y disminuye la necesidad de eliminación manual de las malezas (figura 9).

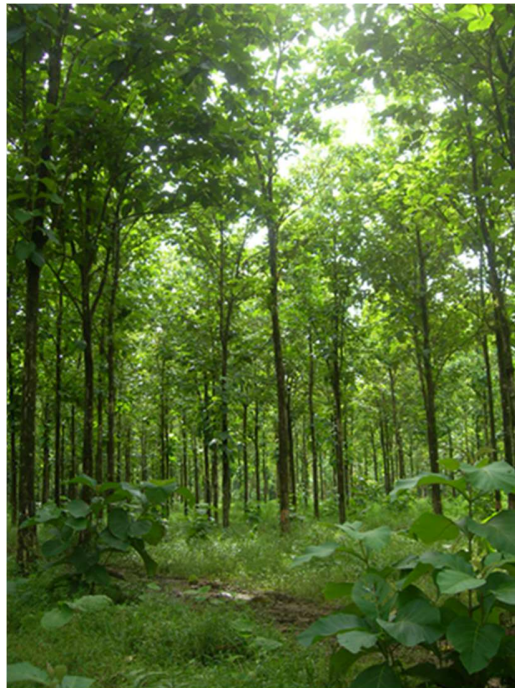


Figura 9. Chapeadora mecánica y Disminución de sotobosque por sombra de la plantación adulta

Fuente: elaboración propia

Otsamo et al. (1995) citados por Murillo y Alvarado (2012) indican que en programas de reforestación con *G. arborea* en suelos ácidos (pH 3,9-4,5, con 57% de arcilla) de Indonesia dominados por *Imperata cylindrica*, encontraron que al comparar la preparación total del terreno con la adición de herbicida con o sin fertilizante (60 g de 15:15:15 por plántula al trasplante y 150 g adicionales 18 meses después de la siembra), los tratamientos que eliminaron la gramínea por completo, en especial cuando se adicionó fertilizante para mejorar la calidad del suelo, permitieron obtener crecimientos de *G. arborea* estadísticamente superiores a cualquier otro tratamiento comparado (cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la preparación del suelo y control de malezas en el crecimiento de melina			
Tratamiento	Altura (m)	DAP (cm)	Diámetro copa (m)
Arado total + NPK	10,4	9,9	3,4
Arado total + NPK	8,9	7,7	3
Herbicida + NPK	89,8	8,2	3
Herbicida + NPK	6,8	5,5	2,6
Fuente: Otsamo et al. 1995			

El control de malezas puede hacerse de forma manual (machetes, guadañas, de alto costo por la intensidad de mano de obra) o utilizando fuerza mecánica (motoguadañas, o desmalezadoras tiradas por tractores agrícolas); también se emplean herbicidas químicos⁴ (pre-emergentes y post-emergentes o de mantenimiento), los cuales dependiendo de la agresividad de las malas hierbas, deben aplicarse una o varias veces por año. Las aplicaciones pueden hacerse manualmente con bombas de espalda, o en forma mecánica con bombas tiradas por tractores agrícolas; en todos los casos los operarios deben estar protegidos.

4.6 Enmiendas al suelo: corrección de acidez y fertilización

4.6.1 Acidez del suelo y enmiendas al mismo

La acidez de los suelos constituye un problema de importancia en la producción agrícola y forestal de Costa Rica. La acidez afecta de una forma muy particular y determinante algunas de las características químicas y biológicas del suelo, de modo que en general, reduce el crecimiento de las plantas, ocasiona la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como calcio, magnesio, potasio y fósforo; y favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio y el manganeso. El encalado junto con la siembra de especies tolerantes constituyen las prácticas más apropiadas y económicas para corregir los problemas de acidez.

Murillo y Alvarado (2012) indican que el crecimiento de *G. arborea* se ve afectado negativamente por incrementos en el grado de saturación de Al en el suelo (figura 10), problema asociado a otros desórdenes nutricionales como bajos contenidos de P disponible y bases intercambiables en el suelo (Zezer y Murillo 1992; Calvo y Camacho 1992; Stuhmann *et al.* 1994; Zech 1994).

⁴ Cuando se utilizan productos químicos se debe atender a las regulaciones nacionales vigentes para la manipulación y aplicación de productos peligrosos, establecidas por el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente, especialmente en lo relacionado con el uso de equipo de protección (mascarillas, guantes, lentes, casco para la protección de la cabeza, trajes impermeables, botas de seguridad impermeables y otros), regulaciones de fumado, tipo de herbicidas (solo los autorizados por el Ministerio de Agricultura y en caso de operaciones certificadas, cumplir con las regulaciones establecidas por el sistema de certificación). También se deben seguir las regulaciones relacionadas con la manipulación y limpieza del equipo de aplicación, incluyendo el triple lavado y la reutilización del agua utilizada para lavar los implementos. También deben seguirse las regulaciones establecidas para la disposición (recuperación y reciclado) de los envases.

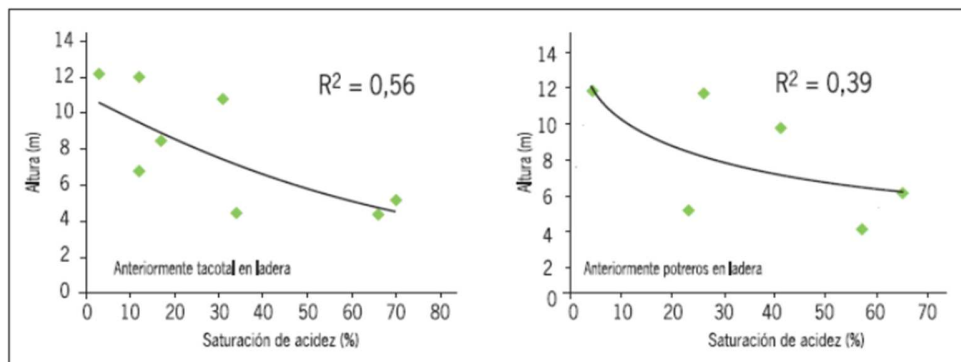


Figura 10. Efecto de la saturación de acidez sobre la altura de árboles de melina de 2 años en terrenos de ladera anteriormente bajo cobertura de tacotal o pasto.

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012).

En la zona Norte de Costa Rica (Stuhrmann et al. 1994) encontraron que el efecto de la acidez es particularmente importante en Inceptisoles en los cuales la saturación de Al es muy elevada, afectando el crecimiento de la especie⁵.

Se ha relacionado altos niveles de acidez con la presencia de enfermedades que afectan a melina, entre ellas la *Nectria* spp. como posible causante de su principal problema fitosanitario (Arguedas et al., 1995; Arguedas et al., 1997; Arguedas et al, 2004). Específicamente, se tiene registros de la enfermedad desde los 7 meses de edad, que causan la pudrición total del tronco en pocas semanas (Arguedas et al. 1997).

4.6.2 Absorción de nutrientes

El sistema radicular de melina es superficial (figura 11) y puede extenderse hasta 120 cm de profundidad y 200 - 250 cm de la base del árbol, el 74% de las raíces finas absorbentes de la especie (<2 mm de diámetro) se encuentran en los primeros 20 cm en Ultisoles del bosque húmedo del sureste de Nigeria (Ruhigwa et al. 1992)⁶. Se requiere mantener el horizonte A del suelo para favorecer la absorción de nutrientes por esta especie.



Figura 11. Sistema radicular superficial de melina en Puerto Viejo de Sarapiquí

Fuente: elaboración propia

En plantaciones de melina de

⁵ Molina y Alvarado (2012) indican que en general, cuando el pH (en agua) del suelo se encuentra entre valores de 5,5-6,5, se logra una buena nitrificación y un buen suministro de Ca y Mg, con pocos problemas de deficiencias de elementos menores como Fe, Mn, Cu y Zn y una disponibilidad de P adecuada. Cuando los valores de pH son inferiores a 5,5, las condiciones de acidez recrudecen, al presentarse con frecuencia toxicidades de Al, Fe y Mn, así como deficiencias de Mo y P, elementos que precipitan en conjunto con los óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Sarmiento 1984). Es bajo estas condiciones que se requiere del encalado y otras prácticas de manejo de suelo que permitan corregir los problemas mencionados, para las especies que así lo requieran. La acidificación reduce la disponibilidad de nutrientes del suelo (P, K, Ca y Mg), provoca la movilización de elementos tóxicos como el Al, incrementa la movilidad de metales pesados y provoca variaciones en la estructura de la microflora y microfauna.

⁶ Observaciones del autor en plantaciones sobre inceptisoles y entisoles en Costa Rica mostraron que el sistema radicular (hasta 60% del total de raíces se localiza en los primeros 20-30 cm del suelo.

1 a 6 años de edad en suelos lateríticos de India Central, Swamy *et al.* (2004) encontraron que la acumulación de nutrimentos siguió el mismo patrón de la biomasa con la edad de los árboles; en la plantación de 6 años la cantidad acumulada promedio de N, P y K (kg ha^{-1}) fue de 238,4, 16,8 y 189,9, respectivamente. El cuadro 5 presenta la composición de la biomasa y el mantillo en una plantación de melina de seis años en Brasil y el cuadro 6 la composición porcentual de nutrimentos en una plantación de 20 años de edad de *G. arborea* en Tripura, India; la figura 12 presenta las curvas de absorción de nutrimentos por *G. arborea* en plantaciones en Colombia (Rodríguez 2006).

Componente	Peso seco	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha^{-1} (%)					
Follaje	1100 (2)	24 (16)	4 (8)	10 (10)	4 (6)	4 (8)
Ramas	1900 (3)	14 (9)	4 (8)	12 (13)	5 (8)	4 (8)
Fuste	43200 (74)	48 (32)	9 (18)	52 (54)	9 (15)	15 (31)
Corteza	6700 (11)	42 (28)	5 (10)	19 (20)	25 (40)	16 (33)
Mantillo	2700 (5)	24 (16)	27 (55)	3 (3)	19 (31)	9 (19)
Total	58600	152	49	96	62	48

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012), adaptado de Salas (1987)

Componente	Distribución nutrimentos en tejidos (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Follaje	18	10	5	10	11
Corteza	17	9	10	28	19
Fuste	37	69	66	41	44
Otros	28	12	19	21	26
Total (kg ha^{-1})	350	58	486	658	91

Fuente: adaptado de Totel (1992) citado por Murillo y Alvarado (2012)

Como puede deducirse de las cifras en los dos cuadros, el total de nutrimentos extraídos por la cosecha es bastante bajo; la especie requiere $\text{N} \gg \text{K} > \text{Ca} > \text{P} = \text{Mg}$, aunque si se observan cuidados especiales, se puede reciclar parte de ellos en los raleos y cosecha, pues el contenido de elementos en el tronco es relativamente bajo con relación al total absorbido; dos cuidados que deben tomarse son:

- i. No permitir perturbaciones violentas o retiro del mantillo, y
- ii. Dejar en el sitio el follaje y las ramas delgadas para permitir la restitución de nutrimentos presentes en las mismas;
- iii. Dependiendo del estatus inicial de nutrimentos en el suelo, para la segunda rotación será necesario hacer adiciones mediante fertilizantes, para asegurar una buena cosecha.

Murillo y Alvarado (2012) indican que los árboles jóvenes de melina tienen una demanda alta por K y su absorción no depende solamente del aporte de la materia orgánica, sino también de la inhibición de su absorción causada por elementos tóxicos como Al o Mn, o por factores físicos de compactación causada

por el uso anterior del suelo (Stuhrmann et al. 1994). Los mismos autores indican que en Inceptisoles ácidos, las altas saturaciones de Al inhiben la absorción de N y P.

La figura 12 muestra la alta demanda de macro-nutrientes a partir del quinto año y hasta los 17 años, lo que podría indicar una pauta para la suplementación vía fertilización, en caso los suelos sobre los que crecen las plantaciones no dispongan de las cantidades adecuadas de estos. Adicionalmente, es claro que deficiencias en B, como podría presentarse en andepts y otros suelos, es necesario suplementarlas para no afectar el crecimiento de los árboles.

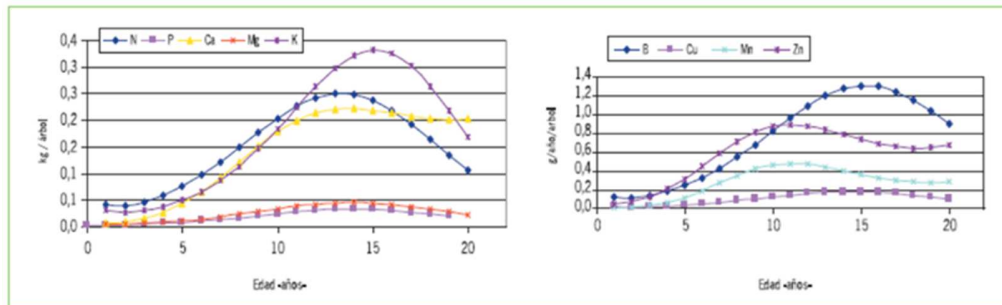


Figura 12. Absorción de nutrientes en plantaciones de *G. arborea* en Colombia (tomado de Rodríguez 2006).

Deficiencias de nutrientes (especialmente K, P, Ca, Mg) en el suelo, o contenidos menores a los retirados por la cosecha de madera, pueden afectar la siguiente rotación, por lo que deben adoptarse medidas de aprovechamiento que favorezcan la restitución de los mismos, dejando las ramas y hojas en el sitio de aprovechamiento (cuadro 7).

Cuadro 7. Rangos y valores medios de contenidos foliares de nutrientes en plantaciones de melina de 3 años de edad en la zona norte de Costa Rica, al finalizar la temporada relativamente seca.

	N	P	S	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Cu	K/mg
	%						mg kg ⁻¹				
Mínimo	1,1	0,07	0,08	0,2	0,4	0,3	72	40	50	4,0	0,2
Máximo	3,7	0,22	0,22	1,5	4,0	1,2	768	300	270	14,0	4,5
Medio	2,5	0,15	0,15	0,8	1,7	0,6	185	115	95	7,0	2,0

Fuente: tomado de Stuhrmann et al (1994)

4.6.3 Nutrición y crecimiento de melina

En Costa Rica melina es una especie adaptada a condiciones de suelo neutro a básico, de manera que el crecimiento se ve favorecido al aumentar los contenidos de bases cambiables en el suelo (Murillo y Alvarado 2012), creciendo normalmente cuando el contenido de Ca oscila entre 6,0 y 22,3 cmol (+) L⁻¹, Mg entre 1,6 y 6,7 cmol (+) L⁻¹ y K entre 0,5 y 0,7 cmol (+) L⁻¹, respectivamente, con un pH entre 5,7 y 6,4 en el trópico seco de Guanacaste, Costa Rica (Obando 1989; Vásquez y Ugalde 1995; Vallejos 1996). Crece mejor cuando las concentraciones disponibles de los elementos oscilan entre 18-23 cmol (+) L⁻¹, 6,2-6,7 cmol (+) L⁻¹ y 0,3-0,7 cmol (+) L⁻¹ de Ca, Mg y K respectivamente (Vallejos 1996).

Murillo y Brenes (1997), encontraron que las características químicas más que las físicas del suelo entre 15 y 30 cm de profundidad de Inceptisoles y Entisoles de Costa Rica, ejercen un efecto significativo en el

crecimiento inicial de la melina y que déficits altos de humedad y altos contenidos de aluminio son un factor crítico negativo para el crecimiento de la especie.

En las zonas Norte y Sur de Costa Rica, en suelos ácidos, la especie crece mejor cuando se eleva el contenido de P en el suelo y disminuye el porcentaje de saturación de acidez de 75% a 7% (Calvo y Camacho 1992; Stuhmann *et al.* 1994; Zech 1994). En Ultisoles ácidos de Nigeria, Ruhigwa *et al.* (1992) encontraron que la mayoría de las raíces finas de melina se encuentran en los primeros 20 cm del suelo y que en sistemas agroforestales compite fuertemente por humedad y nutrientes con los cultivos.

Stuhmann *et al.* (1994) encontraron que el crecimiento de los árboles plantados en suelos en pendientes pronunciadas y en terrenos sometidos a pastoreo de vacunos por períodos de más de 10 años, se ve afectado por la erosión del horizonte A y el lavado de bases (en particular K), las condiciones de compactación y relaciones K/Mg negativas para el crecimiento de la especie (cuadro 8); esto coincide con los resultados obtenidos por otros autores (CATIE 1986; Nwoboshi (1994); Vazquez y Ugalde (1995)), que indican que el mejor crecimiento de la especie se presenta en zonas planas, fondos de valle y perfiles cóncavos, bien drenados, que presentan posiblemente mayores contenidos de humedad y acumulación de materia orgánica.

Posición	N	P	S	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Cu	K/mg
	%						mg kg ⁻¹				
Cima	3,2a	10,19a	0,19a	1,0a	1,3c	0,3a	145a	152	107	9,1c	3,2a
Media pendiente	1,8b	0,13b	0,12b	0,4b	2,3d	0,9b	312b	122	132	5,8d	0,7b
Nivel crítico	<2,5	<0,15	<0,13	<0,8			>200				<2

Fuente: tomado de Stuhmann et al (1994)

4.6.4 Reciclaje de nutrientes por los árboles de melina

G. arborea es una especie caducifolia (Troup 1921; Webb et al 1984; CATIE 1986) aun en regiones donde llueve permanentemente, por lo que la contribución de sus hojas y ramas y otros tejidos al mantillo y al reciclaje de nutrientes ocurre durante todo el año.

La melina se caracteriza por aportes grandes de hojarasca, especialmente en la época seca de los sitios donde ha sido plantada. Adu-Anning *et al.* (2005) indican que en plantaciones de más de 25 años en Nigeria, los aportes totales anuales de hojarasca varían entre 580 y 1011 kg ha⁻¹, en un sitio caracterizado por una precipitación que varía entre 881 mm año⁻¹ y 2180 mm año⁻¹ y una temperatura promedio anual de 26,5° C (19,5° C y 32,5° C), con suelos profundos, bien drenados franco arcillo arenosos (cuadro 9).

Estos autores (Adu-Anning et al. (2005)), encontraron que la caída de hojas (el mayor componente) y ramillas durante el año varió entre 1,2 t ha⁻¹ y 8,1 t ha⁻¹ en plantaciones de seis años; las cantidades de N, P, K, Ca y Mg que retornaron al suelo fueron de 106 kg ha⁻¹, 11 kg ha⁻¹, 117 kg ha⁻¹, 76 and 32 kg ha⁻¹ respectivamente; más del 60% del total ocurrió durante la estación seca. El patrón de transferencia de las hojas al suelo mostró que todos los nutrientes, excepto el calcio, fueron regresados, lo que implica que para reducir el impacto del aprovechamiento (extracción de la madera) en el estatus de los nutrientes en el sitio, y asegurar la producción sostenible de madera, el aprovechamiento debe realizarse en la época en que los nutrientes están en menor cantidad en las hojas.

Cuadro 9. Aportes anuales de fracciones hojarasca (kg ha ⁻¹) en rodales de diferentes edades de <i>Gmelina arborea</i> en la Reserva Forestal Shasha en Nigeria.			
Fracción	29 (años)	28 (años)	27 (años)
Hojas	798,86	590,85	449,05
Ramas	98,44	95,14	86,28
Estructura reproductivas	110,75	105,84	44,27
Otros (residuos no identificados)	3,1	3,21	3,03
	1011,15	795,04	582,63
Fuente: Adu-Anning <i>et al.</i> (2005).			

Haag (1983) y Agus *et al.* (2001), hacen referencia a la extracción mineral en función de la producción de madera de *G. arborea*, lo cual constituye un parámetro necesario de comparación al estimar las necesidades de fertilizantes (cuadro 10).

Cuadro 10. Contenido (% peso seco) de nutrientes en madera de <i>G. arborea</i> en diferentes suelos y edades (Chijioke 1980, mencionado por Haag 1983)								
Tipo suelo	Madera t ha ⁻¹ año ⁻¹	Edad años	N	P	K	Ca	Mg	Total
peso seco total (5)								
Nigeria								
Nitosol dístico (Tropodult)	9,3	5-6	0,25	0,02	0,53	0,10	0,15	1,05
Nitosol dístico (Tropodult)	5,3	14-15	0,19	0,02	0,2	0,19	0,08	0,68
Luvisol férrico (Tropodalf)	20,8	5-6	0,30	0,04	0,76	0,40	0,04	1,54
Luvisol férrico (Tropodalf)	11,6	12-13	0,22	0,02	0,59	0,45	0,03	1,31
Brasil								
Nitosol dístico (Tropodult)	13,2	5-6	0,20	0,25	0,17	0,15	0,06	0,72
Arenosol férrico (Typic Ustipsamme)	7,2	5-6	0,23	0,04	0,17	0,08	0,07	0,59

Fuente: Adaptado de Murillo y Alvarado (2012).

Agus *et al.* (2001) indican que un 38% de los nutrientes absorbidos son recirculados por la hojarasca y ramas; el total de nutrientes requeridos para la producción de biomasa en un sitio de crecimiento moderado fueron, al final del periodo de seis años, 1.115 kg de N; 127 kg de P; 626 kg de K; 763 kg de Ca y 59 kg de Mg. La biomasa sobre el suelo al cabo de los seis años fue de 86 Mg de materia seca, 46 Mg de carbono, 599 Mg de N, 417 Mg de K, 229 Mg de Ca y 32 Mg de Mg. La absorción anual de nutrientes por las especies de crecimiento rápido en el trópico fue de 12 Mg de C y 186, 21, 104, 127, y 10 kg de N, P, K, Ca y Mg respectivamente. Esta es la razón por la que los autores indican la necesidad de aplicar fertilizantes a las plantaciones para sostener la productividad. La Figura 13 presenta los modelos encontrados por Agus *et al.* (2001) para la producción de biomasa ($R^2 = 0,99$).

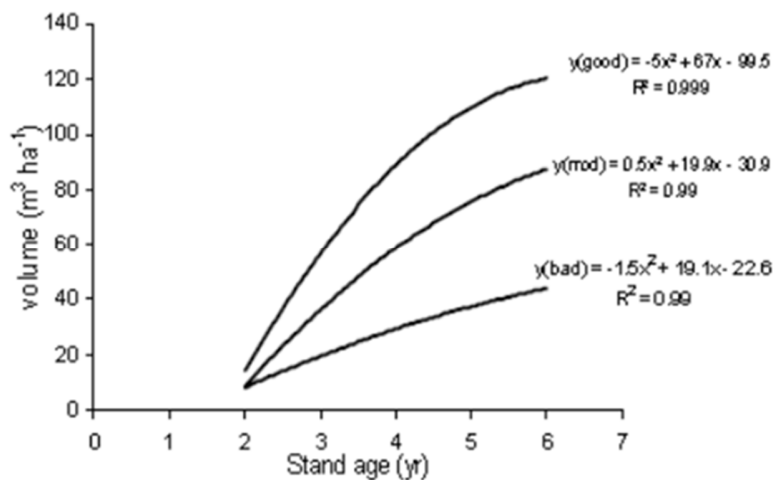


Figura 13. Producción de biomasa en una plantación de 6 años de Gmelina arbórea en Kalimantan Oriental

Fuente: tomado de Agus *et al.* (2001)

Según Negi *et al.* (1990) en una plantación de 20 años en la India encontraron una producción de 8,2 t ha⁻¹ año⁻¹ de hojas; el 2,4% del total de la biomasa de melina corresponde a las ramas y un 5% en las ramas delgadas (ramillas), mientras que el 74% de la biomasa corresponde al fuste, mientras que el 21% de la biomasa corresponde a la biomasa radicular (cuadro 11).

Cuadro 11. Contenido de nutrientes en una plantación de G. arborea de 20 años (Negri <i>et al.</i> 1990)					
Tejido	Nutrientos (kg ha ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
Hojas	64	6	24	64	10
Ramillas	34	2	42	64	10
Ramas	62	9	50	71	14
Corteza	60	5	51	190	17
Tronco	130	40	319	269	40
Raíces	70	12	73	87	23
Total	420	74	559	745	114

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012)

4.6.5 Niveles de deficiencias a nivel foliar

Evans (1979) reporta que las concentraciones de N, P, Zn y B en las hojas de melina disminuyen al aumentar la sombra, mientras que los contenidos de Fe y Ca aumentan y no encontró correlaciones para el K y el Mg permaneció casi constante; esta es la razón por la que al muestrear follaje de melina se debe seleccionar tejido nuevo, totalmente desarrollado, del tercio superior de la copa, de árboles que no estén fructificando (Brunck (1987), citado por Murillo y Alvarado (2012)).

Stuhrmann *et al.* (1994) indican que es poco lo que se conoce del contenido de minerales en melina, por lo que recomiendan tomar con cuidado los datos presentados por Drechsel y Zech (1991), a lo que Murillo y Alvarado (2012) añaden (cuadro 12) la información de Boardman *et al.* (1997).

Cuadro 12. Niveles foliares de nutrimentos en plantaciones de melina			
Elemento	Deficiente	Marginal	Adecuado
N (%)	1,39	2	2,01 - 3,92
P (%)	0,05	0,08 - 0,11	0,12 - 0,36
K (%)	0,29	0,49 - 0,7	0,71 - 1,6
S (%)			0,1
Ca (%)			0,53 - 2,2
Mg (%)			0,19 - 0,94
Cu (mg kg ⁻¹)		2	4 - 19
Zn (mg kg ⁻¹)	6	14 - 19	20 - 80
Mn (mg kg ⁻¹)			22 - 205
Fe (mg kg ⁻¹)			40 - 600
Al (mg kg ⁻¹)			68 - 183
B (mg kg ⁻¹)	3 - 10		20 - 64

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012), adaptado de Drechsel y Zech 1991 y Boardman et al 1997.

A su vez, Stuhrmann et al (1994) relacionaron los contenidos foliares de elementos con el crecimiento en altura de la melina, llegaron a definir niveles críticos para algunos de esos elementos. Se encontró que el poco crecimiento en suelos ácidos se debe a deficiencias en elementos esenciales, particularmente debido a la baja relación K/Mg.

Se ha reportado la existencia de una relación directa entre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y el pH. También se ha informado que el pH ejerce una gran influencia en el intercambio de equilibrio de iones del suelo debido a sus efectos sobre la erosión, la mineralización de la materia orgánica y la movilización de nutrientes. Nwoboshi (2000) reporta que nutrimentos como N, P, K, Ca y Mg están más disponibles cuando el pH del suelo varía entre 6,5 y 7,5. El crecimiento obtenido por Adekunle et al (2011) en Nigeria fue bastante satisfactorio (ver cuadro 13), sobre suelos con pH que variaba entre 6,47 y 7,47, niveles para los cuales Onyekwelu (2002) indica los nutrimentos se encuentran disponibles a su capacidad máxima.

4.6.6 Síntomas foliares de deficiencias de nutrimentos

Azofeifa et al (2003) documentaron los síntomas de las deficiencias de elementos, mediante la técnica del elemento faltante (cuadro 13). Otros autores (Evans 1979, Stuhrmann et al (1994)) han documentado las deficiencias en *G. arbórea*, indicando la correlación entre las deficiencias mostradas en las hojas y su correlación con el crecimiento de las plantaciones.

Cuadro 13. Síntomas de deficiencias de nutrimentos en hojas de melina

N	El follaje muestra poco desarrollo seguido de una clorosis intervenal en las hojas más viejas. El sistema radical presenta poco crecimiento. La carencia de N no causa muerte de las plántulas.
P	El follaje muestra un color opaco con poco crecimiento y raíces largas muy delgadas, con colores morados y cafés.
K	Las plántulas deficientes en K presentan poco desarrollo foliar y radical. Además, se presenta un amarillamiento intervenal de la lámina foliar con tendencia a una quema en forma de moteos en toda la lámina. No se diferencian los síntomas entre las hojas jóvenes y las viejas
Ca	La deficiencia de Ca se marca con un amarillamiento del follaje y manchas cloróticas en los bordes de las hojas. Algunas plántulas presentan un leve enrollamiento de la hoja, del haz hacia el envés. El sistema radical presenta un desarrollo pobre y las raíces muestran un color negro con fácil desprendimiento, lo que causa la muerte de las plántulas.
Mg	Las plántulas presentan una clorosis generalizada de la lámina, con algunas partes de tono rojizo. Algunas raíces presentan coloración rojiza.
S	Las hojas presentan pequeñas quemaduras en los bordes, con algunas muestras de clorosis intervenal. El sistema radical es abundante y no presenta ninguna coloración especial.
Fe	Su deficiencia causa una quema en las puntas de las hojas y a nivel radical un necrosamiento de las raíces, lo que causa la muerte de las plántulas.
B	Esta deficiencia provoca un color verde claro o amarillento intenso en el follaje, con manchas de color café pardo distribuidas en toda la lámina. Las plántulas presentan un desarrollo radical pobre.
Mn	La deficiencia de Mn se manifiesta primero en las hojas más jóvenes con un tono verde más claro de lo habitual, el cual poco a poco se transforma en un color café claro. Posteriormente, las manchas cafés se desprenden provocando huecos en la lámina foliar. El desarrollo radicular no se ve afectado por la deficiencia de Mn.
Cu	La ausencia de Cu produjo una quema en los bordes de las hojas, la cual se extiende hacia el centro de la lámina foliar. El sistema radical no presenta mayor alteración ante esta deficiencia.
Mo	La deficiencia se presenta como una clorosis intervenal, lo que sucede con mayor frecuencia en las hojas más viejas. El sistema radical no presenta alteraciones ante la deficiencia de Mo.
Zn	La carencia de Zn provoca una clorosis intervenal, sin llegar a afectar el desarrollo de las raíces.

Fuente: tomado de Azofeifa *et al.* 2003

4.6.7 Fertilización durante la vida de la plantación

No se dispone de información generada localmente sobre uso de fertilizantes durante la vida de la plantación; de manera general se conoce la influencia de la aplicación e dosis de 50 a 150 g de fertilizante NPK 15-15-15 que de acuerdo con Rojas y Murillo (2004) citados por Rojas *et al.* (2004) mejoró el crecimiento de plantaciones de un año.

Otsamo *et al.* (1995) citados por Murillo y Alvarado (2012) encontraron que aplicaciones de 60 y 150 g por árbol de un fertilizante comercial NPK (15-15-15), aplicados un mes y 18 meses después de plantar los árboles de melina, produjeron más del doble del área basal que los testigos, un crecimiento inicial más rápido y un incremento medio anual en volumen de 9,5 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Asimismo encontró que la preparación mecánica más la fertilización produjeron los mejores crecimientos, mientras que tratamientos con herbicidas y sin fertilizantes produjeron el crecimiento más pobre.

Las incorporaciones de P son esenciales para el buen crecimiento inicial de melina y por consiguiente cuando los suelos son pobres en este nutrimento, las aplicaciones de fertilizantes ricos en fósforo antes de la plantación son efectivas. En suelos pobres en nutrimentos y en particular P, normalmente se nota un mal crecimiento y desarrollo de la especie, tal como ocurre en terrenos abandonados, pastizales y en zonas secas donde la humedad se convierte en un factor limitante.

Un estudio realizado en Colombia (Barrios *et al.* 2011), en una plantación de *G. arborea* de 15 meses de edad, en el municipio de Coello, en el departamento del Tolima, localizada a N 4°17'3.80" a 4°16'54.31" y W 74°54'23.31" a 74°54'8.55" y a una altitud de 317 msnm⁷. El cuadro 14 presenta los tratamientos aplicados y el cuadro 15 los resultados del análisis de varianza; la figura 14, tomada de Barrios *et al.* (2011) muestra gráficamente los resultados.

Para el control de malezas se aplicó glifosato a razón de 3 litros por hectárea; la fertilización se hizo superficialmente al suelo, aplicados en corona alrededor de la base del árbol. Los resultados muestran que la aplicación de dosis altas de fertilizante presentaron los mayores incrementos en diámetro y volumen de la especie; la combinación de tres aplicaciones de herbicida con dosis altas de fertilización presentó los mayores incrementos medios en diámetro y volumen.

Cuadro 14. Tratamientos para control de malezas y fertilización en Coello, Tolima, Colombia					
Tratamiento	Fertilización				
	Dosis (g/árbol)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
C1+Fb	baja	4	2	8	4
C1+Fm	media	15	8	30	17
C1+Fa	alta	60	30	120	68
C2+Fb	baja	4	2	8	4
C2+Fm	media	15	8	30	17
C2+Fa	alta	60	30	120	68
C3+Fb	baja	4	2	8	4
C3+Fm	media	15	8	30	17
C3+Fa	alta	60	30	120	68
C1 = Aplicación glifosato (3 l ha ⁻¹) una vez en marzo					
C2 = Aplicación glifosato (3 l ha ⁻¹) 2 veces: marzo y septiembre					
C3 = Glifosato (3 l ha ⁻¹) 3 veces: marzo, septiembre y diciembre					
Fuente: tomado de Barrios <i>et al.</i> (2011)					

⁷ La zona presenta un promedio de precipitación anual de 1149 mm, distribuidos de manera bimodal con precipitaciones concentradas en los meses de abril a mayo y octubre, con una temperatura media anual de 28,5°C; los suelos de la región son de origen aluvial, profundos, franco arenosos, con relieve es ondulado, y pendientes menores al 12%. Un análisis realizado a una muestra de suelo tomada en los primeros 30 cm de profundidad permitió detectar deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K) y magnesio (Mg), esta última determinada mediante la relación Ca/Mg; la información de suelos permitió establecer las dosis de fertilizantes aplicadas en el ensayo.

Cuadro 15. Incremento medio en diámetro, altura total, área basal y volumen total sin corteza.				
Tratamientos	IMA d (cm año ⁻¹)	IMA h (m año ⁻¹)	IMA g (m ² árbol ⁻¹ año ⁻¹)	IMA V (m ³ árbol ⁻¹ año ⁻¹)
C1+Fb	5,12cde	4,484cde	0,011bcd	0,057ab
C1+Fm	5,719abc	4,647d	0,012ab	0,062a
C1+Fa	6,243a	5,219ab	0,013ab	0,062a
C2+Fb	4,816de	4,707d	0,010d	0,050b
C2+Fm	5,753ab	4,715d	0,012ab	0,066a
C2+Fa	6,051a	5,484a	0,013ab	0,068a
C3+Fb	5,39bcd	4,746d	0,012abc	0,064a
C3+Fm	5,873ab	4,879bcd	0,013ab	0,065a
C3+Fa	5,971ab	5,165abc	0,012ab	0,065a
Testigo	4,685	4,777	0,01	0,059
C1 = Aplicación glifosato (3 l ha ⁻¹) una vez en marzo				
C2 = Aplicación glifosato (3 l ha ⁻¹) 2 veces: marzo y septiembre				
C3 = Glifosato (3 l ha ⁻¹) 3 veces: marzo, septiembre y diciembre				
Fuente: tomado de Barrios <i>et al.</i> (2011)				

En conclusión: plantar melina en forma exitosa exige el conocimiento adecuado y profundo de las condiciones del sitio, especialmente del estatus de nutrimentos; deficiencias de nutrimentos causadas por suelos empobrecidos (por el uso anterior o erosionados), el lavado debido a regímenes de precipitación altos, o deficiencias debidas a falta de lluvias, alta acidez e inmovilización de algunos nutrimentos, o falta natural de algunos de ellos, debe ser suplementada con prácticas de fertilización debidamente programadas. Esto hace que el monitoreo de la fertilidad, a través del análisis de suelos, sea una práctica necesaria para asegurar el éxito de las plantaciones.

4.7 Erosión

De manera general se ha criticado los monocultivos por motivos ambientales; en el caso de melina se ha indicado que las plantaciones dan como resultado remoción de los suelos (dejando las raíces al descubierto), particularmente cuando se planta en pendientes en pendientes fuertes (CATIE 1986), donde ya existía erosión producto del uso anterior (ganadería sin prácticas de conservación de suelos). En Costa Rica Ladrach (2009) indica que habido críticas severas sobre los pinos tropicales, los eucaliptos, *Gmelina arborea*, y *Acacia mangium*, además de la teca. Una crítica común es que se destruyen los bosques naturales cuando se hacen plantaciones forestales comerciales. La realidad es que la mayor parte de las plantaciones establecidas el trópico han utilizado sitios marginados para la agricultura o tierras degradadas por el sobrepastoreo, especialmente en la Provincia de Guanacaste en el Pacífico.

Contrario a sus opositores, el Smithsonian Tropical Research Institute reporta que melina ha sido introducida en la zona del canal de Panamá como especie controladora de la erosión, por su rápido crecimiento, además es fácil de cultivar por pequeños agricultores y en áreas donde se requiere producción de madera en ciclos cortos.

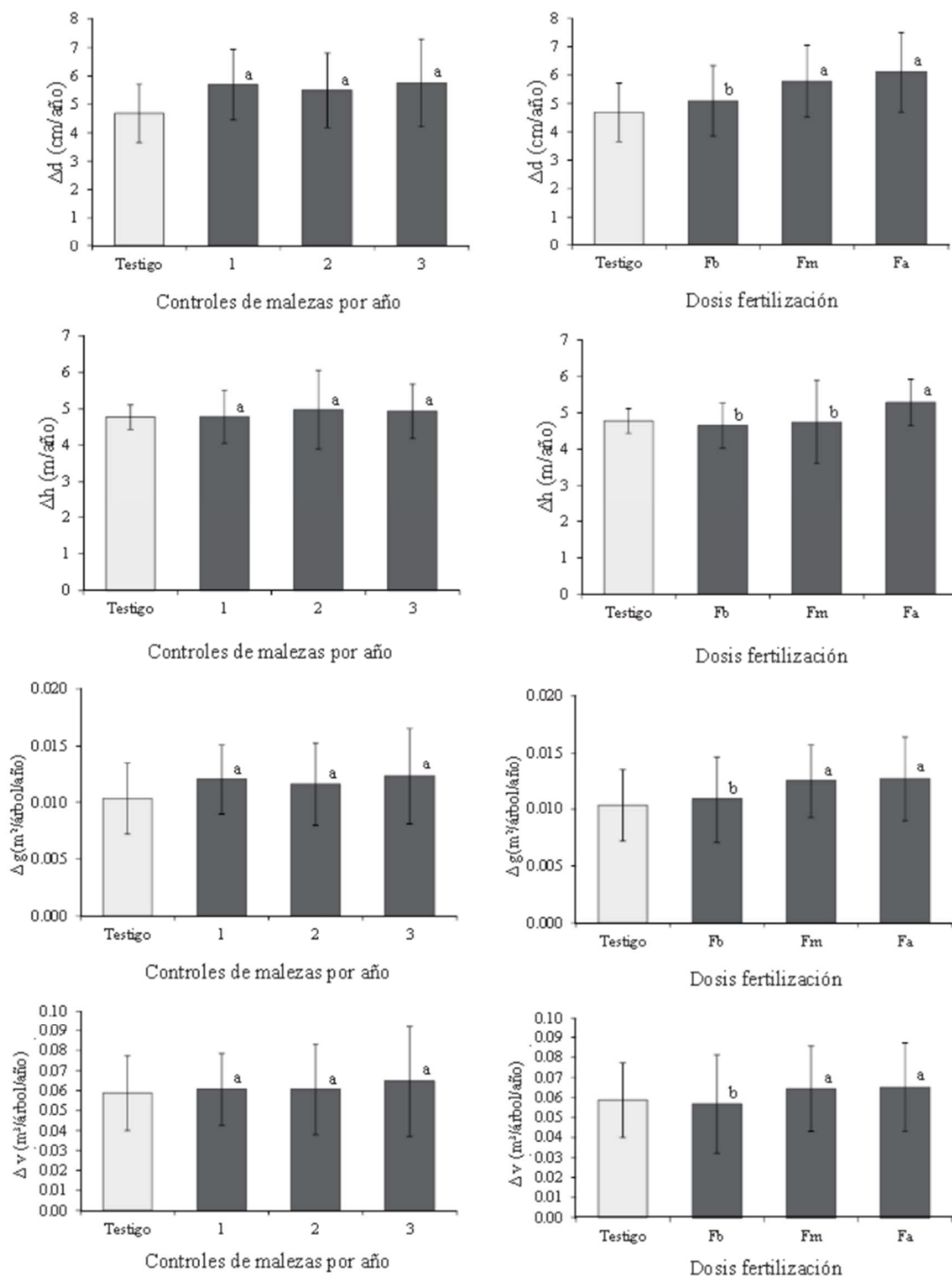


Figura 16. Comparación del incremento medio para los tratamientos de control de maleza y dosis de Fertilización en melina en Coello (Colombia).

Fuente: Tomado de Barrios *et al.* (2011)

5. Manejo

5.1 Densidad de plantación

Hasta finales del siglo XX, en plantaciones comerciales, se usaban espaciamientos de 2,5 m x 2,5 m; 3 m x 3 m; 3,5 m x 2,8 m; 4 m x 2,5 m, es decir densidades iniciales que fluctuaban entre 1600 y 1000 árboles ha⁻¹ (Lamb 1968; Rojas y Murillo 2004); Jiménez et. al. (2008); Jimenez (2014) Actualmente la definición del espaciamiento de plantación es una decisión económica que depende de:

- i. el objetivo final de la plantación, el tipo de material utilizado (de semillas o clones),
- ii. el ciclo de corta considerado, la asociación o no con otras especies y cultivos al inicio de la plantación, la topografía, la utilización de maquinaria para las labores de mantenimiento y otros factores locales;

Espaciamientos de 3,5 m x 3,5 m; 4 m x 3 m; 4 m x 4 m, son comunes en plantaciones puras; si se establece combinada con cultivos agrícolas (sistema taungya), es posible que el espaciamiento entre filas sea mucho más amplio para dar espacio al cultivo agrícola.

La utilización de espaciamientos exige, entre otros:

- i. Mercado y tipo de producto requerido asegurado: madera para aserrado, producción de tableros, producción de tarimas u otros usos;
- ii. Uso de material mejorado (semillas de huertos semilleros reconocidos o material clonal, de probada calidad), que asegure altos rendimientos y resistencia a plagas y enfermedades;
- iii. Preparación intensiva del suelo, control de malezas y control de riesgos de plagas, enfermedades y desastres naturales;
- iv. Cercanía a vías de comunicación y planificación adecuada de la red de vías de extracción para minimizar los costos de aprovechamiento, incluyendo disponibilidad de mano de obra.

Un experimento realizado en el Centro Experimenta Forestal Tropical “Ing. Eduardo Sangri Serrano” (antes “El Tormento”)⁸ en Escárcega, municipio El Carmen, Campeche, México en plantaciones de 7 años 11 meses (Juárez y Ramirez 1985) mostró que los mayores crecimientos en diámetro y volumen se presentan en espaciamientos superiores a 2,5 m x 2,5 m, aunque sin diferencias estadísticamente significativas (cuadro 16); los registros para el desarrollo de las curvas de crecimiento en diámetro mostraron que la tendencia de mayor crecimiento se presenta en los espaciamientos 3,0 m x 3,0 m y 3,5 m x 3,5 m, mientras que para los otros dos espaciamientos la curva tiende al eje de las X.

Lo importante respecto al diseño inicial de las de plantaciones es tener claro los objetivos de la misma (no es lo mismo establecer plantaciones para la cosecha de madera comercial, que para obtener biomasa para otros usos), la posibilidad de comercialización de los productos intermedios, antes de la cosecha final y las facilidades de cosecha (completamente mecanizada, semi-mecanizada, con utilización de fuerza animal u otros métodos). Espaciamientos amplios permiten tener mayores crecimientos en diámetro en árboles individuales.

⁸ Centro Experimenta Forestal Tropical “Ing. Eduardo Sangri Serrano” localizado a N 18° 36' 25" y W 90° 43' 55", a 60 msnm, en un clima con temperatura de 24,2° C, precipitación que varía entre 1.100 mm y 1.300 mm, con estación seca entre mayo y octubre; la plantación está sobre suelos poco profundos, de material parental de tipo calcáreo, con problemas de drenaje en la época de lluvias; adicionalmente no se realizaron prácticas de poda ni raleos durante el periodo considerado.

Cuadro 16. Crecimiento de G. arborea en diferentes espacimientos de plantación, a los 7 año 11 meses en Escárcega, México (Juárez y Ramírez 1985).							
Tratamientos	Sobrevivencia	Altura	diámetro	Volumen	IMA h	IMA Dap	IMA V árbol ⁻¹
	%	(m)	(cm)	(m ³)	(m año ⁻¹)	(cm año ⁻¹)	(m ³ año ⁻¹)
A(2,0 x 2,0)	81	9,87	9,1	0,0597	1,24	1,15	0,0075
B(2,5 x 2,5)	84	12,99	12,22	0,1735	1,64	1,54	0,0219
C(3,0 x 3,0)	81	10,54	12,18	0,1219	1,33	1,54	0,0154
D(3,5 x 3,5)	80	10,91	12,99	0,1701	1,38	1,64	0,0215
A(2,0 x 2,0)	Crecimiento en altura en función de la edad	Y = -0,65276509 + 2,11388632 X - 0,09808473 X ² R ² = 0,98					
B(2,5 x 2,5)		Y = -0,88036283 + 2,42226129 X - 0,08317299 X ² R ² = 0,98					
C(3,0 x 3,0)		Y = -0,46773706 + 1,66388970 X - 0,02918886 X ² R ² = 0,99					
D(3,5 x 3,5)		Y = -0,45503647 + 1,83982398 X - 0,04598762 X ² R ² = 0,99					
Y = altura (m); X = edad (años)							
A(2,0 x 2,0)	Crecimiento en diámetro en función de la edad	Y = -0,20466819 + 2,09626847 X - 0,12485142 X ² R ² = 0,91					
B(2,5 x 2,5)		Y = -0,20346028 + 3,33039531 X - 0,22427275 X ² R ² = 0,89					
C(3,0 x 3,0)		Y = -1,12750825 + 2,91406316 X - 0,15731960 X ² R ² = 0,94					
D(3,5 x 3,5)		Y = -3,66705022 + 4,01191176 X - 0,24020740 X ² R ² = 0,96					
Y = diámetro (m); X = edad (años)							
Fuente: adaptado de Juárez y Ramírez 1985							

5.2 Podas

Lamb (1968) reconoce el valor de la poda para obtener madera y postes de buena calidad, sin nudos muertos; es sabido que el objetivo de la poda es mejorar la calidad de la madera, previniendo la formación de nudos muertos, de los arboles seleccionados para la cosecha final. Se realiza durante los primeros años de vida del árbol, cuando las ramas aún son delgadas, aunque Lamb (1968) indicaba que en las condiciones de plantaciones densas puede hacerse innecesaria, ya que la mayoría de las ramas se pierden durante los raleos.

La poda busca eliminar las ramas y hojas que no tienen actividad fotosintética y ramas muertas; según Arias y Arguedas (2004) en Rojas et al. (2004), la poda como operación silvicultural, es una inversión que se hace en los mejores individuos de la plantación y cuya retribución se espera con el mejoramiento de la calidad de la madera. En todo caso siempre se va a obtener de un árbol madera con nudos, lo que se busca con la poda es maximizar la proporción de madera libre de nudos y en las secciones nudosas la obtención de madera con nudos vivos.

Aunque en Costa Rica, de manera general, se acostumbra hacer la primera poda antes que los árboles alcancen los primeros 5 metros de altura (árboles con alturas entre 3 y 5 metros) podando las 2/3 partes del árbol o máximo el 50% de su copa viva (Hawley y Smith 1972; Daniel et al 1975; Matthews 1989); dado que en melina las ramas son gruesas⁹, la experiencia muestra que se hace necesario iniciar la poda a edad

⁹ La relación entre el grosor promedio de las tres ramas más gruesas con respecto al diámetro del árbol, conocida como "índice de grosor de ramas" (Struck y Dohrenbusch, 2000) es alto en el caso de G. arborea; Arias y Arguedas (2004) indican que se estudió el índice de grosor de ramas para las ramas de melina en árboles de 6 años de edad creciendo en la Zona Sur de Costa Rica, encontrando que este puede llegar a representar hasta el 60 % del diámetro a la altura del pecho. Para esta especie se encontró una tendencia de aumento del índice de grosor de ramas conforme mejoran las condiciones del sitio.

muy temprana (hasta 3-4 meses de edad en silvicultura de precisión), para evitar la pérdida de dominancia del tallo principal (figura 17). En la primera poda se pueden utilizar herramientas manuales como tijeras podadoras, sierras o en algunos caso machetes, sin producir desgarros en la corteza.

Se recomienda la operación de poda de ramas vivas en aquellos árboles cuya forma, sanidad y calidad del fuste permiten clasificarlos como los árboles de la cosecha futura. La poda de ramas relativamente gruesas se recomendaría en árboles levemente torcidos, siempre y cuando presenten un crecimiento vigoroso. No se recomienda invertir en la poda de árboles cuyo fuste es de mala calidad o defectuoso, ya que son árboles potenciales para ser eliminados en los aclareos.

La poda debe ser cuidadosa para evitar daños a los árboles; se debe realizar en época seca, para promover la pronta cicatrización y disminuir los riesgos de infecciones. La mejor época para hacer la poda parece ser inmediatamente después del raleo, para evitar stress de los árboles, concentrarla en los mejores ejemplares y permitir la eliminación de ramas de 2,5-3,0 cm de diámetro en la base. Normalmente, como en teca, la poda de ramas gruesas es seguida por la aparición de brotes epicórmicos (provenientes de yemas durmientes), los cuales deben eliminarse (consumen mucha energía, crece muy rápido y no producen madera aprovechable).

La poda debe circunscribirse a las ramas vivas en aquellos árboles cuya forma, sanidad y calidad del fuste permiten clasificarlos como los árboles de la cosecha futura. La poda de ramas relativamente gruesas se recomendaría en árboles levemente torcidos, siempre y cuando presenten un crecimiento vigoroso. No se recomienda invertir en la poda de árboles cuyo fuste es de mala calidad o defectuoso, ya que son árboles potenciales para ser eliminados en los aclareos (normalmente la poda sigue al raleo).

Arias y Arguedas (2004) indican que una consideración importante para la poda en esta especie, es el riesgo de ocasionar retrasos en el crecimiento al reducir el área foliar (fotosíntesis). Algunos reportes en Costa Rica sugieren que una intensidad de poda del 25 % estimuló el crecimiento de los árboles, mientras que intensidades del 50% tuvieron un efecto negativo.



Ejemplo de poda mal realizada en árboles de melina que afecta la superficie de fotosíntesis

Como con otras especies forestales, la poda debe realizarse con un objetivo económico en mente: garantizar la mejor calidad a las trozas de la parte baja del fuste; normalmente se procura disponer de un fuste de 7,5 m libre de ramas, que permitan obtener al menos dos trozas de 3,2 m de largo.



Formación de ramas gruesas en las primeras etapas de crecimiento de la melina



Cuidados al podar: la podar debe hacerse a ras del fuste para permitir el cierre rápido de la herida



Figura 17. La poda es una operación necesaria en *Gmelina arborea* para lograr fustes limpios aptos para producción de madera de aserrío, tableros y otros usos, evitando la formación de nudos muertos.

Fuente: elaboración propia

5.3 Raleos

En ecología, la densidad se ha definido comúnmente como el número de individuos por unidad de área; sin embargo, en el campo forestal esta definición no es de mucha utilidad, ya que en una plantación los árboles cambian de dimensiones y compiten por los recursos disponibles (luz, agua, nutrimentos). Han surgido varios métodos para evaluar y controlar la densidad de un rodal, entre los más conocidos se pueden mencionar: el área basal, el índice de espaciamiento relativo, el índice de densidad del rodal y el factor de competición de copas. En la práctica forestal de nuestro país ya se han realizado algunos trabajos que evalúan estas metodologías (Pineda 1990).

Dado que en el siglo XX fue común el uso de densidades altas de plantación (hasta 1.600 árboles ha⁻¹, y aun en algunas ocasiones hasta 2.500 árboles ha⁻¹), una práctica común era la disminución del número de árboles para estimular el crecimiento en diámetro, al poder, los árboles, aprovechar en forma más eficiente los recursos disponibles.

En Costa Rica se reconoce la utilidad de los raleos, especialmente en plantaciones que han sido establecidas con un número alto de árboles; se han utilizado diferentes metodologías para determinar los raleos; la escuela de ingeniería forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica ha promovido la utilización del Índice de Densidad de Raleo (IDR) como metodología para la definición de la intensidad de raleo, sin embargo otros centros de investigación y técnicos promueven la utilización de porcentajes de raleo.

Ohland (2000), citado por Arias y Arguedas (2004), propone un esquema de aclareos para melina partiendo de una densidad inicial de 1080 árboles ha⁻¹:

- i. el esquema 50-50-50% sugiere aplicar un primer aclareo del 50% cuando la plantación alcance un diámetro promedio de 10,4 cm y la altura media del rodal sea de 9,4 m, lo que equivale a un IDR=189.
- ii. Un segundo aclareo del 50 % será aplicado cuando el diámetro promedio de la plantación alcance 22 cm y la altura media sea de 16 m, o cuando el IDR=419.
- iii. El tercer aclareo eliminará la mitad de la masa remanente cuando el diámetro promedio alcance 32 cm y la altura del rodal sea de 19,4 m, con un IDR cercano a 441. Este esquema sugiere una cosecha final basada en 135 individuos por hectárea con diámetros promedio de 45 cm y una altura media del rodal de 22 m.

Otros autores sugieren para plantaciones establecidas a 3 x 3 m, un primer aclareo del 50 % de la masa cuando la plantación alcance una altura promedio entre 7 y 9 m (Salazar y Pereira, 1998; Muziol y Sánchez, 1992). Para plantaciones en la región de Guanacaste se sugiere un segundo aclareo nuevamente del 50 % de la masa remanente cuando la plantación alcance una altura promedio entre 14 y 16 m. Empresas reforestadoras como Los Nacientes han llevado a cabo el segundo aclareo cuando el diámetro promedio de la plantación alcanza los 20 cm, aplicando una intensidad de aclareo entre 33 y 50% (Salazar y Pereira, 1998).

Centeno (1997) recomienda la aplicación de un segundo aclareo cuando la altura dominante del rodal alcance entre 17 y 18 m, lo cual considera consistente con las experiencias en el manejo silvicultural de melina en Centroamérica.

Jiménez (2014) propone, para plantaciones con una población inicial 1.110 árboles ha⁻¹ (3 m x 3 m), un régimen silvícola: 50% - 33% - 33%; para 816 árboles ha⁻¹ (3,5 m x 3,5 m) o (3 m x 4 m) , un régimen 50% - 50%

Un estudio reciente (Vallejos et al. 2015) encontró, en plantaciones establecidas inicialmente con una densidad de 1111 árboles ha⁻¹, de 8 años, en el Cantón de Pococí, Provincia de Limón, Costa Rica¹⁰, sometidas a intensidades de raleo de 60%, 70% y 80%, que el diámetro del duramen y la densidad de la madera fueron similares en las intensidades de 70% y 80%, mientras que el diámetro a la altura del pecho fue ligeramente menor para la intensidad de 60%. La densidad de la madera para los árboles del 60% fue mayor que en las densidades 70% y 80%. El diámetro del duramen y su área relativa fue mayor en la intensidad 80%, pero no se encontraron diferencias significativas entre las intensidades 60% and 70% (diámetro del duramen y porcentaje del mismo). Finalmente, los defectos de secado no fueron influenciados significativamente por la intensidad de raleo. El cuadro 17, tomado de Vallejos (2015), presenta los resultados de crecimiento a los 8 años de edad. El volumen resultante está en función directa del número de árboles remanentes y el diámetro de los mismos

Tratamiento		Mortalidad inicial (%)	N (arb ha ⁻¹)**	Dap (cm)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha ⁻¹)
Resultante	Previo*					
T1 (60%)	35% - 30%	2,2	366	27,69	22,29	207,08
T2 (70%)	35% - 35%	2,8	302	34,28	28,33	255,49
T3 (80%)	40% - 40%	4,2	175	33,91	16,22	150,99
* Raleos realizados a los 3 y 6 años de edad						
** Densidad resultante (árboles ha ⁻¹) a los 8 años						
Fuente: tomado de Vallejos et al. (2015).						

En la ejecución de raleos se ha identificado que uno de los principales problemas está relacionado con el marcado de los árboles a cortar (Ohland, 2000). Normalmente el primer aclareo es del tipo selectivo, lo que significa que el marcado se concentra en aquellos individuos de mala forma, bifurcados, dañados, enfermos, suprimidos. Los aclareos buscan garantizar una distribución uniforme de los árboles remanentes, que permita a cada árbol disponer de espacios similares de crecimiento. Para facilitar esta labor se han recomendado diferentes técnicas prácticas, como las llamadas “cajas de raleo” o “marcado por cajas”, siendo las más populares las denominadas “caja de cuatro” o “caja de nueve”. Si se define que la intensidad del aclareo es del 50% significa que en una caja de cuatro árboles se deben eliminar dos (los que ofrezcan menos garantía de brindar un producto de calidad). Si el aclareo busca reducir el 25% de la masa, de cada cuatro individuos se buscará eliminar el más defectuoso; en cajas de nueve, una intensidad del 30% - 33% implica la eliminación de tres de cada nueve árboles, distribuyéndoles en forma equidistante con los remanentes y tomando en cuenta la “caja” vecina.

¹⁰ La Rita, Pococí, Limón, Costa Rica: N 10° 17' 50,24" W 83° 46' 14", con precipitación que varía entre 3116 y 7000 mm año⁻¹, sin meses secos, con temperatura media anual de 22° C y 27° C y 200-400 msnm, con topografía plana.

Cuando se trabaja con plantaciones clonales, los individuos tienden a ser similares, por lo que se facilita la ejecución de raleos sistemáticos, orientados más a disminuir la población que a seleccionar por forma (fenotipos); los productos de estos raleos tienden a tener mercado, por lo que los costos pueden ser financiados por la propia operación. Una práctica utilizada en algunas ocasiones es la ejecución de raleos “por lo alto”, para extraer los ejemplares de mayores dimensiones, trayendo como consecuencia la disminución de calidad del rodal remanente. Según Arias y Arguedas (2004), una consideración especial es la capacidad de rebrote que tiene la especie. No es conveniente permitir el desarrollo de rebrotes en plantaciones que están siendo manejadas para fines industriales, ya que se altera el control que se tiene de la densidad y la calidad de los productos a obtener. Se considera que los árboles eliminados en los primeros aclareos son genéticamente inferiores y no vale la pena mantener remanentes de este tipo.

La presencia de semillas en el piso de una plantación, después del aprovechamiento de un rodal adulto, produce gran cantidad de regeneración (más de 10.000 plántulas ha⁻¹), como resultado de la llegada de la luz al suelo (figura 18); dependiendo de la calidad del rodal inicial, puede ser deseable la permanencia de esta regeneración. En estos casos es necesario bajar la concentración de árboles, mediante selección de los mejores ejemplares. Esta operación debe hacerse de manera gradual para evitar que el viento arrase (tumbe) los árboles remanentes. La figura 18 ilustra una experiencia de este tipo.

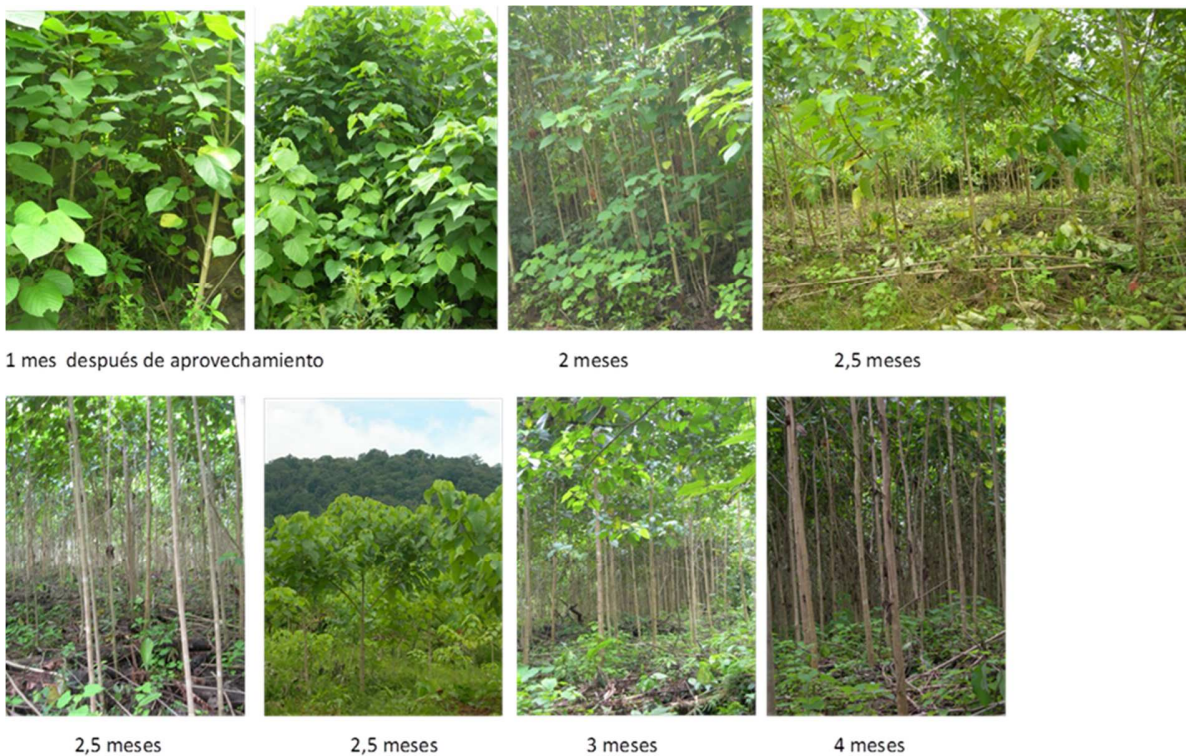


Figura 18. Manejo de regeneración natural en una plantación de 22 años cosechada en Rio Claro, Costa Rica (meses después de cosecha)
Fuente: colección personal del autor

5.4 Crecimiento

Diversos autores (Lamb, (1968); Webb et al. 1984; CATIE (1986); Martínez (1981)) consideran a *Gmelina arborea* como una especie de muy rápido crecimiento. Freezailah and Sandrasegaran (1966), citados por Lamb (1968) reportaban para rodales de 8 años en India, incrementos medios anuales de $15,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (cuadro 18).

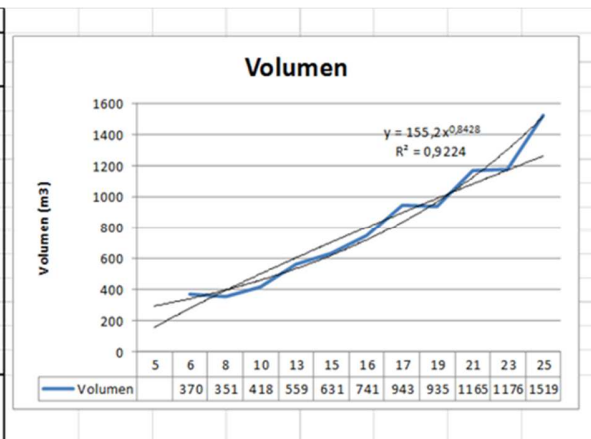
Rodal	m x m	Arb ha^{-1} al corte	Edad (años)	Altura (m)	Área basal m^2	Volumen árbol $^{-1}$	Vol m^3 rodal	IMA (m^3)
1	3 x 3	996	7	23,5	10,87	0,255885	254,81	14,78
2	3 x 3	956	8	23,8	12,26	0,312912	299,23	15,83
3	3 x 3	914	9	24,4	12,73	0,279395	255,44	12,57
4	3 x 3	558	11	25,6	13,47	0,313332	174,98	11,53

Fuente: Adaptado de Freezailah and Sandrasegaran (1966). citado por Lamb (1969).

Onyekwelu *et al.* (2003) informan sobre el crecimiento de melina en el suroeste de Nigeria, indicando sobre incrementos de hasta $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (cuadro 19). Los datos muestran que la especie tiene un incremento rápido del diámetro ($3,0$ a $2,1 \text{ cm año}^{-1}$) hasta el año 8 y a partir de este momento va disminuyendo hasta estabilizarse en $1,4 \text{ cm año}^{-1}$; en cuanto al desarrollo en altura la especie muestra un crecimiento rápido hasta los 10 años y a partir de allí el crecimiento es más lento.

Edad (años)	Densidad (N/ha)	DAP (cm)			Altura media (m)	Área basal $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$	Volumen $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	IMA m^3 año^{-1}
		Mínimo	Medio	Máximo				
5	1232	5,0	15,1	31,4	14,1	21,4	242,7	48,5
6	1291	3,8	15,6	33,0	16,4	28,4	370,3	61,7
8	1259	4,3	16,4	34,7	15,8	30,8	350,7	43,8
10	1147	5,0	18,0	37,5	17,0	33,8	418,0	41,8
13	1189	3,8	18,8	41,4	18,0	39,8	559,0	43,0
15	1184	6,0	21,1	53,0	18,0	48,3	630,7	42,0
16	1024	4,7	23,3	47,7	17,8	51,9	741,3	46,3
17	992	4,5	25,5	62,3	20,6	60,7	943,0	55,5
19	837	9,8	28,7	57,0	21,4	61,0	935,3	49,2
21	864	7,1	30,2	61,3	22,9	71,5	1165	55,5
23	891	6,9	31,6	63,6	22,7	79,1	1176,3	51,1
25	874	7,0	33,6	71,2	23,2	89,5	1519,3	60,8

Fuente: Onyekwelu, J. C., Peter Biber, Bernd Stimm. 2003. Thinning scenarios for *Gmelina arborea* plantations in south western Nigeria using density management diagrams. Food, Agriculture & Environment Vol. 1(2), April 2003, pp. 320-325



Arias y Arguedas (2004), citando a Cubero y Rojas (1999), presentan información sobre crecimiento de melina en el área de Hojancha (cuadro 20), la cual muestra diferencias entre sitios, pero incrementos inferiores a los indicados por Onyekwelu *et al.* (2003), mostrando una de las características de la especie: respuesta diferenciada en crecimiento de acuerdo a las condiciones de los sitios.

Edad (años)	Sitio	Árboles ha ⁻¹	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	Incremento medio		
					dap (cm año ⁻¹)	altura (m año ⁻¹)	Volumen (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)
4	A	570	16,17	89,68	4,76	4,2	22,42
4	B	540	8,08	27,90	3,21	2,94	6,97
8	A	230	20,55	246,81	4,19	3,66	30,85
8	B	373	16,31	121,47	3,11	2,51	15,18
10	B	260	14,93	119,03	2,65	2,16	11,90
12	B	307	18,63	146,09	2,33	2,33	12,17

Fuente: Cubero y Rojas (1999) citado por Arias y Arguedas (2004)

Un inventario de existencias en la finca Guaycará, en Río Claro, Puntarenas, propiedad de la desaparecida Plywood Costarricense, en plantaciones de 20 años, sobre una topografía desde plana y suavemente ondulada, hasta ondulada, en entisoles con pH de 6,2, en plantaciones de 20 años de edad, mostró que las mismas tuvieron un incremento promedio anual varió entre 10,8 y 12 m³ha⁻¹año⁻¹ (Camacho, 2008); el cuadro 21 muestra la evaluación de los activos biológicos realizada en 2009.

Estimación del valor de madera en pie en Guaycará						Valor madera en pie \$
Sitio	Área (ha)	<20 cm	20-30 cm	> 30 cm	TOTAL	Inventario
La Mona	30	1.224,00	629	5.397,00	7.250,00	166.404,53
Plano	60	2.183,70	2.200,00	8.445,00	12.828,70	364.424,78
Semi-Ondulado	35	1.110,30	1.119,00	4.814,00	7.043,30	253.337,59
Total	125	4.518,00	3.948,00	18.656,00	27.122,00	784.166,90
Valor madera en pie \$/m3		31,21	34,33	37,45		
PMT¢		50,00	55,00	60,00		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Camacho (2008)

La evaluación de parcelas de melina en dos sitios de Costa Rica mostró que el incremento medio anual en diámetro varía desde 1,8 cm año⁻¹ hasta 6,7 cm año⁻¹, dependiendo de las condiciones locales (cuadro22).

Cuadro 22. Crecimiento de plantaciones de melina en dos sitios de Costa Rica

Sitio	Edad	Diámetro	Altura	IMA d	IMA h
Hojancha	1,8		3,6		2,1
Hojancha	1,8	9,0	7,3	4,9	4,0
Hojancha	2,0	13,4	11,9	6,7	5,9
Hojancha	2,0	15,6	13,9	7,8	7,0
San Carlos	2,0	6,1	4,9	3,1	2,5
San Carlos	2,0	5,3	4,6	2,6	2,3
San Carlos	2,0	6,2	5,8	3,1	2,9
San Carlos	2,0	8,1	7,0	4,1	3,5
San Carlos	2,0	6,3	5,7	3,2	2,9
Hojancha	2,2	7,8	6,6	3,6	3,1
Hojancha	2,2	10,1	8,6	4,7	4,0
Hojancha	2,8	13,1	11,0	4,6	3,9
Hojancha	2,9	6,0	6,5	2,1	2,2
Hojancha	3,0	16,0	14,7	5,3	4,9
San Carlos	3,0	14,0	11,1	4,7	3,7
Hojancha	3,1	10,9	11,4	3,5	3,7
Hojancha	3,9	9,8	8,8	2,5	2,2
Hojancha	3,9	13,9	11,4	3,6	2,9
Hojancha	4,0	18,1	16,4	4,5	4,1
Hojancha	4,1	12,7	13,8	3,1	3,4
Hojancha	5,1	15,2	14,9	3,0	2,9
San Carlos	9,0	20,6	15,5	2,3	1,7
San Carlos	9,5	15,0	15,8	1,6	1,7
San Carlos	9,5	12,7	13,2	1,3	1,4
San Carlos	9,5	17,5	10,7	1,8	1,1
San Carlos	9,5	26,6	10,5	2,8	1,1

Fuente: elaboración propia

Hughel (1991), con base en información de América Central, desarrolló una tabla preliminar de rendimientos para melina (cuadro 23), tomando como base tres índices de sitio: IS = 28 m, en sitios planos, con suelos profundos, bien drenados y pH mayor a 6,0 o más; IS = 21, en sitios ondulados, suelos profundos pero con imperfecciones en drenaje o presencia de impedimentos para el desarrollo de las raíces, pendientes de hasta 20% y pH de 5,0; IS = 14 en sitios con limitaciones para el desarrollo de la especie. De acuerdo al modelo desarrollado por Hughell, la especie puede alcanzar incrementos medios anuales de $33,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los mejores sitios, solo $19,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en sitios intermedios y $7,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en sitios con problemas.

Cuadro 23. Tabla de rendimiento para Gmelina arborea en América Central para índices de sitio 28, 21, 14.

Edad (años)	Árboles ha ⁻¹	Altura (m)	dap (cm)	Área basal (m ²)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	Árboles ha ⁻¹	Área basal (m ²)	dap (cm)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	Vol acum (m ³ ha ⁻¹)	IMA (m ³ ha ⁻¹)	ICA (m ³ ha ⁻¹)
Índice de Sitio = 28												
2	989	7,9	11	9,5	28,9					29,9	14,4	14,4
4	549	14,7	19,4	16,2	72,8	440	9,5	16,5	49,1	121,9	30,5	46,5
6	549	19,3	23,7	24,1	154,5					203,6	33,9	40,9
8	399	22,4	29,9	28	177	150	5,9	22,4	43,9	270	33,7	33,2
10	399	24,4	31,6	31,3	239,3					332,3	33,2	31,2
12	299	25,7	36,8	31,8	221,5	100	5,5	26,6	45,6	360	30	13,9
14	299	26,4	39,9	32	258,1					396,7	28,3	18,3
Índice de Sitio = 21												
2	989	5,9	8,3	5,3	12,9					12,9	6,4	6,4
4	989	11	14,4	14,4	58,6					58,6	14,6	22,8
6	609	14,5	17,1	17,1	76,6	380	7,3	15,7	38	114,6	19,1	28
8	609	16,8	21,2	21,2	120,7					158,8	19,8	22,1
10	409	18,3	20,5	20,5	109,6	200	6,4	20,1	39,6	187,3	18,7	14,2
12	409	19,2	21,5	21,5	135,4					213	17,7	12,9
14	409	19,8	24,6	24,6	157,8					235,4	16,8	11,2
Índice de Sitio = 14												
2	989	3,9	5,5	2,4	4,1					4,1	2,1	2,1
4	989	7,3	9,1	6,4	18,8					18,8	4,7	7,3
6	989	9,7	11,8	10,9	40					40	6,7	10,6
8	639	11,2	14,9	11,2	40,7	350	4,1	12,2	17,1	57,8	7,2	8,9
10	639	12,2	15,8	12,5	55					72,1	7,2	7,2
12	439	12,8	18,4	11,7	46,7	200	3,3	14,4	15,3	79,1	6,6	3,5
14	439	13,2	18,5	11,7	54,4					86,8	6,2	3,9

Fuente: Hughell 1991

5.5 Plagas y enfermedades

Se ha reconocido la susceptibilidad de melina al ataque de plagas y enfermedades; ya desde mediados de la primera mitad del siglo XX se habían detectado ataques (Homfray, 1937; Allsop, 1945, citados por FAO 2009). en América Latina las hormigas defoliadoras (de los géneros *Atta* spp. y *Acromyrmex* spp.) son los mayores problemas a calidad del fuste y el crecimiento de los mismos en las primeras etapas de las plantaciones (Greaves, 1981; Arguedas (2004); Arguedas (2007) indica que larvas de gran tamaño de satúrnidos (*Eacles imperialis decoris*) producen severas defoliaciones en forma esporádica en *G. arborea*.

Un patógeno que afecta regularmente las hojas en el área de distribución natural es el *Pseudocercospora rangita*. El hongo pertenece a un grupo de patógenos que parasitan hospederos específicos de *Mycosphaerella*, que han sido reportados en África, Brasil (Gibson 1975; Shanna et al. 1985; Ferreira 1989). Evaluaciones realizadas en México, Colombia y Venezuela han identificado la presencia del hongo en estos países (Wingfield, sin publicar); Arguedas (2007) agrega los ataques provenientes de *Cercospora rangita*.

Aepytyus sp. es la plaga más común en el fuste de la melina, durante los primeros años de establecimiento. Su presencia se detecta por la presencia de un vestíbulo o bolsón, adherido al tronco y a menudo asociado con las axilas de las ramas. Al levantar el vestíbulo se observa un área de la corteza consumida y la perforación de entrada del túnel, el cual se extiende en el xilema o en la médula hacia arriba y puede medir hasta 15 cm de longitud. La larva madura puede medir hasta 5,5 cm de longitud; es de color crema, con la cabeza redondeada y muy oscura, tiene una especie de placa rojiza en la parte superior del

protórax. Pupa dentro de la galería. El adulto tiene una envergadura alar de 4,2 cm; las alas anteriores son color pardo anaranjado y las posteriores anaranjado claro (CATIE, 1991; Ford, 1981; Moreno, 1989).



Figura 19. *Aepytus* sp.: bolson y larva (Tomado de Arguedas 2004).

Arguedas (2007) ha identificado gran cantidad de insectos, patógenos y algunos vertebrados que han producido daños en plantaciones de melina en diferentes partes del país (cuadro 24); una de los mayores problemas que afectan las plantaciones en la actualidad es *Nectria*, sobre la que se está trabajando en el diseño de medidas preventivas y de control.

Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007)					
Especie	Familia	Orden	Parte atacada	Sitio	Provincia
<i>Insectos</i>					
Aeputus sp.	Hepialidae	LEP	Fuste	Cañas	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
				Buenosaires	P
Apatelodes sp.	Apatelodidae	LEP	Follaje	San Carlos	A
Atta sp.	Formicidae	HY	Follaje	Pérez Zeledón	SJ
				San Mateo	A
				Orotina	A
				San Carlos	A
				Upala	A
				Los Chiles	A
				Guatuso	A
				Liberia	G
				Bnicoya	G
				Santa Cruz	G
				Carrillo	G
				Cañas	G
				Abangares	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
Punta Arenas	P				
Buenosaires	P				
Osa	P				
Pococí	L				
Siquirres	L				
Guácimo	L				
Automeris rubescens	Saturnidae	LEP	Follaje	Siquirres	L
Coptotermes testaceus	Rhinotermitidae	ISO	Fuste	Pérez Zeledón	SJ
				San Carlos	G
				Los Chiles	G
				Nicoya	G
				Cañas	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
				Buenosaires	P
				Pococí	L
Siquirres	L				

Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007) -continuación-					
Especie	Familia	Orden	Parte atacada	Sitio	Provincia
Eacles imperialis decoris	Saturnidae	LEP	Follaje	Pococí	L
Hylesia sp.	Saturnidae	LEP	Follaje	Turrialba	C
Nasutitermes corniger	Termitidae	ISO	Fuste	Pérez Zeledón	SJ
				San Carlos	G
				Los Chiles	G
				Nicoya	G
				Cañas	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
				Buenosaires	P
				Pococí	L
				Siquirres	L
Lonomia electra	Saturnidae	LEP	Follaje	Siquirres	L
Phyllophaga sp.	Sacarabaeidae	COL	Raíz	Abangares	G
				Hojancha	G
Schistocerca piceifrons	Acrididae	SALT	Follaje	Santa Cruz	G
Tarchon sp.	Lymantridae	LEP	Follaje	Paraiso	C
Zanola impedita	Apatelodidae	LEP	Follaje	Paraiso	C
Especie no identificada	Cossidae	LEP	Fuste	Palmar Sur	P
Especie no identificada	Scolytidae	COL	Fuste-corteza	Sarapiquí	H
Especie no identificada	Microlepidoptera	LAP	Follaje	Turrialba	C

Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007) -continuación-					
Especie	Familia	Orden	Parte atacada	Sitio	Provincia
<i>Patógenos</i>					
Agrobacterium tumefaciens			Fuste	Turrailaba	C
Aspergillus sp.			Semilla		
Botryodiplodia sp.			Fuste	Orotina	A
				San Carlos	A
				Sarapiquí	H
				Hojancha	G
Botryosphaeria sp.			Fuste	Los Chiles	A
Colletotrichum sp.			Follaje	Los Chiles	A
				Sarapiquí	H
Corticium salmonicolor			Fuste	Upala	A
Nectria sp.			Fuste	Pérez Zeledón	SJ
				San Carlos	A
				Upala	A
				Los Chiles	A
				Sarapiquí	H
				Buenosaires	P
				Osa	P
				Pococí	L
Penicillium sp.			Semilla		
Phomosis sp.			Plántula	Los Chiles	A
Pseudocercospora rangita			Follaje	Siquirres	L
				Pococí	L
				Guácimo	L
				Puntarenas	P
				Buenosaires	P
				Osa	P
				San Mateo	A
				Orotina	A
				San Carlos	A
				Upala	A
				Los Chiles	A
				Guatuso	A
				Liberia	G
				Nicoya	G
				Santa Cruz	G
				Carrillo	G
				Cañas	G
				Abangares	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
Rosellinia sp.			Raíz	Turrailaba	C
				Nicoya	G
				Hojancha	G
Especie no identificada	(bacteria)		Fuste	Siquirres	L

Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007) -continuación-					
Especie	Familia	Orden	Parte atacada	Sitio	Provincia
<i>Vertebrados</i>					
Aloutta palliata	Cebidae	PRI	Follaje	Sarapiquí	H
				Santa Cruz	G
				Hojancha	G
Aratinga canicularis	Psittacidae	AVE	Semilla	Hojancha	G
Basiliscus basiliscus	Iguanidae	SAU	Pseudoestacas	Sarapiquí	H
				Santa Cruz	G
Coendou mexicanum	Erethizontidae	ROD	Fuste-corteza	Siquirres	L
Dasyopus vomemcintus	Dasypodidae	EDE	Pseudoestacas	Sarapiquí	H
Odocoileus virginianus	Cervidae	ART	Fuste-corteza	Hojancha	G
				Sarapiquí	H
Sigmodon hispidus	Cricetidae	ROD	Fuste-corteza	Hojancha	G
Sylvilagus brasiliensis	Leporidae	LAG	Pseudoestacas	Sarapiquí	H

5.6 Cosecha

El aprovechamiento o cosecha forestal incluye la corta, extracción o arrastre de los fustes comerciales a un lugar de carga (patios intermedios y/o orillas de caminos), troceo y apilado de trozas, carga de las mismas (normalmente de igual longitud) y transporte de las trozas en camiones, para su posterior industrialización y comercialización. La planificación previa al aprovechamiento debe tomar en cuenta el área a aprovechar, la pendiente y disponibilidad de maquinaria y mano de obra. Aspectos importantes a tomar en cuenta en esta fase son:

- a. Red vial: primera etapa operativa del sistema de aprovechamiento, concebida antes de establecer la plantación; está compuesta por todos los caminos y pistas de extracción entre el bosque y la industria. Su objetivo es hacer el transporte de los productos de la plantación a la industria. Compuesta, además de los caminos principales, por los caminos secundarios o
- b. Pistas de arrastre, trochas temporales distanciadas 100-150 metros. Deben establecerse antes de iniciar la corta ya que esta debe dirigirse con base en la localización de estas pistas y la red vial de caminos existente. Las pistas de arrastre deben marcarse en función de:
 - Tipo de raleo; sistemático (en hileras) o selectivo.
 - Concentración de la madera.
 - Forma del terreno.
 - Dirección del arrastre.
 - Método de arrastre a utilizar (manual, animal, mecanizado).

Estas pistas de arrastre deben ser del ancho del método de extracción (bueyes, tractor agrícola) y libres de obstáculos como troncos, ramas grandes, piedras, etc. (figura 9, caso C).
- c. Las pistas de saca (sólo la carga viaja por la pista -como en los métodos de arrastre con winches o cable y winches-) pueden ser menos anchas que las pistas de arrastre (ancho de la carga).

d. Patios de acopio: dado que la red de caminos internos, generalmente, es de tipo “parte alta de la loma o cima”, es decir, sobre las partes altas y más planas del terreno, los patios en su mayoría se deberían establecer en las orillas de los caminos y tomando en cuenta los siguientes aspectos.

Actualmente, en plantaciones de diferentes especies en Costa Rica, dependiendo del tamaño de la operación (área a aprovechar, tipo de producto, volumen, distancia, topografía, disponibilidad de maquinaria) se utilizan diferentes sistemas de extracción: bueyes, tractores agrícolas, o sistema combinados de estas formas.

El uso de bueyes se ha popularizado para distancias cortas de arrastre (de 60 a 80 m, aunque en ocasiones pueden ser 150 a 200 m). Los bueyes usados en la práctica forestal se caracterizan por ser de contextura fuerte, cuello corto y grueso. El peso de cada buey fluctúa entre 500 y 700 kilogramos. De acuerdo a Otavo y Gayoso (1984) los bueyes se desplazan a una velocidad de 1,4 a 1,8 km/hora tanto en viaje vacío como cargado, con una fuerza de tiro de 11 a 29% del peso corporal, lo que en arrastre ladera abajo se traduce en una capacidad de carga de hasta 1,5 toneladas.

El arrastre con bueyes tiene la ventaja de disminuir el impacto sobre los suelos, se dispone de boyeros y personal entrenado para extracción y sus costos es accesible en operaciones medianas y pequeñas (figura 20).

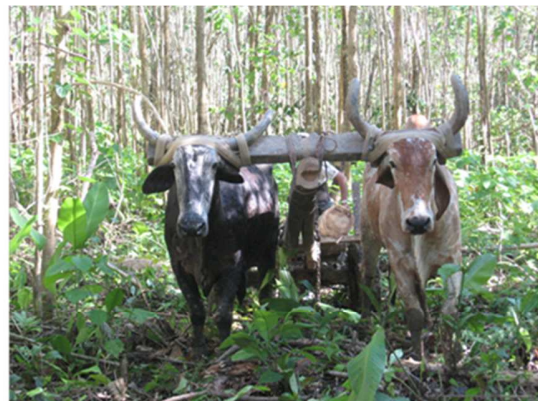


Figura 20. Utilización de bueyes en extracción de melina

Otra forma de extracción utilizada es el arrastre con tractores agrícolas (adaptados a las operaciones forestales. En Costa Rica se está incrementando el uso de tractores agrícolas, a los que se les hacen adaptaciones como sulkys (triángulos para elevar las trozas y evitar el arrastre directo sobre los suelos), para facilitar la extracción, uso de winches para arrastre, uso de garras o palas cargadoras adaptadas, para desempeñar una doble función; adicionalmente sirven para el arrastre de carretas para carga de madera de dimensiones pequeñas. Las ventajas del tractor agrícola, adaptado a las operaciones forestales son su relativo bajo costo, facilidad de operación y ductilidad para adaptarse a condiciones difíciles.

Las ventajas de la utilización de tractores agrícolas son su gran versatilidad, habilidad para trabajar en terrenos con pendientes suaves a ondulados, presencia de lluvias, disponibilidad de maquinaria en el medio local y necesidad de extracción rápida. También se utilizan tractores forestales (skidders), aptos para trabajos en pendientes y altas tasas de rendimiento, aunque sus costos de adquisición y operación es alto, la operación forestal puede combinarse con el uso de retroexcavadores para carga o arrastre de madera.

Los tractores se combinan con la utilización de otra maquinaria para carga y extracción (figura 21).



Figura 21. Utilización de maquinaria en extracción de melina (trozas)



5.7 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión

El establecimiento de plantaciones de melina, una vez se ha seleccionado el sitio adecuado, el material a utilizar (semillas de huertos semilleros, clones desarrollados por la propia empresa o proveniente de productores especializados) y se dispone del conocimiento sobre las propiedades de los suelos en el sitio, incluye actividades comunes a otras especies: limpieza y protección del área, preparación del suelo (incluyendo limpieza, drenajes, subsolado, arado, rastrillado, alomillado, si fueren necesarios); corrección de acidez (si necesaria), fertilización, preparación de hoyos para establecimiento de las plántulas, etc.

No se dispone de información pública sobre costos específicos de establecimiento de plantaciones de melina en Costa Rica. La Oficina Nacional Forestal, con datos de 2004, calculaba que establecimiento de plantaciones (de melina y especies similares) alcanzaba los \$2455,0 en la zona norte del país (que equivale a \$3040,0 actualmente).

Un estudio reciente de costos de establecimiento en Colombia (2012) para las especies más plantadas en este país con apoyo de los Certificados de Inversión Forestal (el equivalente al apoyo PSA de Costa Rica) encontró los costos indicados en el cuadro 25, comparados con los costos indicados por ONF para Costa Rica.

Costos promedio de establecimiento y mantenimientos consolidados (2012)					CR 2012	
Actividad	Eucaliptos	Pinos	Teca	Gmelina		
Establecimiento	1213,97	1172,51	1263,81	1355,01		1271,77
Valor CIF 2012	483,85	483,85	483,85	483,85		459,47
% cubierto por CIF	39,9%	41,3%	38,3%	35,7%		36,1% PSA
Mantenimiento año 1	290,81	279,87	276,38	323,07		330,80
Mantenimiento año 2	362,93	332,06	366,95	344,31		255,89
Mantenimiento año 3	296,35	298,62	270,51	234,43		303,21
Mantenimiento año 4	246,03	184,35	159,27	169,26		135,95
Subtotal mantenimiento	1196,12	1094,91	1073,11	1071,06		1025,85
Valor CIF 2012	389,84	389,84	389,84	389,84		459,47
% cubierto CIF	32,6%	35,6%	36,3%	36,4%		44,8% PSA
Subtotal establecimiento + mantenimiento años 1-4	2410,09	2267,42	2336,93	2426,08		2297,62
Costo mantenimiento año 5 en adelante	488,46	1143,83	1200,15	759,93		493,86
Total costos del ciclo	2898,54	3411,25	3537,08	3186,01		2791,48
Administración + asistencia técnica	189,15	226,09	502,29	185,39		245,65
Costo total	3087,69	3637,34	4039,38	3371,40		3037,13

Fuente: Adaptado de CONIF 2012

El anexo 1 presenta una experiencia conducida por el autor en Puerto Viejo de Sarapiquí, aunque se hace necesario disponer de datos concretos en condiciones concretas, que no han estado disponibles para esta investigación.

Literatura consultada

- ADEKUNLE, V.A.J.; ALO, A.A.; ADEKAYODE, F.O. 2011. Yields and nutrient pools in soils cultivated with *Tectona grandis* and *Gmelina arborea* in Nigerian rainforest ecosystem. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2011) 10, 127–135.
- ADU-ANNING, C.; SAFO, E.Y.; ABENEY, E.A. 2005. Litter-fall and nutrient return in *Gmelina arborea* short rotation woodlot: Implications for site productivity. *Ghana Journal of Forestry* Vol. 17 & 18 2005: pp. 44-55
- AGUS, C. 2001. Net primary production and nutrient absorption of fast growing *Gmelina arborea* Roxb. (yemane) at tropical plantation forest. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences* (2001), 1, 46-52. Green Digital Press.
- AGUS, C.; KITA, S.; HAIBARA, K.; TODA, H.; KARYANTO, HARDIWINOTO, S. 2001. Nutrient Circulation Characteristics with Different Site Index for Fast Growing Species of *Gmelina arborea* Roxb. Plantation Forest in Tropical Region. Proceeding Seminar on Forest Biomass. GMU-JIFPRO. Yogyakarta.
- ALFARO, M. M.; De CAMINO, R.V.; 2002. Melina (*Gmelina arborea*) in Central America. Forest Plantations Working Paper 20. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome (*unpublished*).
- ALI, A.; ESAYAS, A.; BEYENE, S. 2010. Characterizing soils of delbo wegene watershed, wolaita zone, Southern Ethiopia for planning appropriate land management. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 1 (8) (2010), pp. 184–191.
- ARIAS A, D.; ARGUEDAS, M. 2004. Manejo de plantaciones. In ROJAS R., F. et al. 2004. Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico. pp. 163-202
- AZOFEIFA, M.; MURILLO, O.; BADILLA, Y. 2003. Síntomas de deficiencias nutricionales en especies forestales utilizando sistemas hidropónicos. IV Congreso Forestal Nacional, 17-19 de septiembre, 2003. Ponencia 5. San José, Costa Rica. 19 p.
- BARRIOS, A.; LOPEZ, A.M.; NIETO, V.; BURGOS, N.; YAYA, M.; GONZALEZ, I. 2011. Efecto del control de malezas y fertilización sobre el crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. en el departamento del Tolima, Colombia. *Colombia Forestal* Vol. 14(1): 31-40 - Enero-Junio, 2011.
- CALVO, J.C.; ARIAS, D; RICHTER, D.D. 2007. Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 242:227–235.
- CAMACHO, M. 2008. Evaluación de las plantaciones de Botica Francesa en Guaycará, Rio Claro Puntarenas. Tibás, Costa Rica, Plywood Costarricense, informe interno.
- CENTENO, J. C. 1997. El manejo de las plantaciones de teca. OIMT. *Actualidad forestal tropical* 5: 10-12.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central; resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnicos No. 86. 220 p.

- CONIF (Corporación Nacional de Investigación Forestal Colombia). 2012. Apoyo a los componentes de evaluación del CIF (Costos de establecimiento de plantaciones forestales). Bogotá, Colombia, CONIF, Compilado por Francisco Torres Romero. 38 p.
- COMMONWEALTH FORESTRY INSTITUTE. 1968. *Gmelina arborea*. Compilado por Lamb, A. F. A. Oxford, Inglaterra, CFI Commonwealth Forestry Institute, Department of Forestry, University of Oxford. Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics No. 1. 31 p
- DANIEL, P.W.; HELMS, U.E.; BAKER, F.S. 1975. Principles of silviculture. New York, USA, Mc-Graw Hill Book Co.
- ESPINOZA, J. A. 2003. Site selection, Site Preparation, and Weed Control for *Gmelina arborea* in Western Venezuela. In Recent advances with *Gmelina arborea* (eds. W. S. Dvorak, G. R. Hodge, W. C. Woodbridge and J. L. Romero). CD-ROM. CAMCORE, North Carolina State University, Raleigh, NC. USA.
- EVANS, J. 1979. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. Plant and Soil 52:547-552
- EVANS, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. Oxford university Press, Oxford. 2nd edition. 403 p.
- EVANSJ, J.; TURNBULL, J.W. 2004. Plantation forestry in the tropics. Oxford University Press, Oxford. 3th edition. 467 p.
- FAO Global . FAO Forestry Papers (Book 156)
- FLORIDO, L.V.; CORNEJO, A.T. 2002. Yemane *Gmelina* arbórea Roxb. In Issues and Facts on Yemane. Compiled by Concepcion M. Palaypayon and Jose M. Batalon. Research Information Series on Ecosystems. Volume 14 No. 3 September – December 2002.
- GALLOWAY, G., UGALDE, L. and VÁSQUEZ, W. 2001. Importance of density reductions in tropical plantations: Experiences In Central America. Forests, Trees and Livelihoods Vol. 11, p. 217-232.
- HAAG, H.P. (ed.) 1983. Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil. Fundação Cargill. Campinas, Brasil. 202 p.
- HAWLEY, R.C; SMITH, D.M. 1972 Silvicultura práctica. Barcelona, España; Ediciones Omega
- HIJOYO, S. 1993. Applied procedure in vegetative propagation of *Gmelina arborea*. In: Proceedings of the regional symposium on recent advances in mass clonal multiplication of forest trees for plantation programmes; 1992 December 1-8; Cisarua, Bogor, Indonesia. Food and Agriculture Organization/RAS/91/004 Field Document 4. Manila, Philippines: [Publisher unknown]: 305-309
- HOR, Y. L.; PUKITTAYACAMEE, P. 1993. Seed testing for selected tropical trees in ASEAN region. Review Paper 3. Muak-Lek, Saraburi, Thailand: Association of Southeast Asian Nations Canada Forest Tree Seed Centre Project. 83 p.
- HUGHELL, D. 1991. Modelo preliminar para la predicción del rendimiento de *Gmelina* arbórea Roxb. en América Central. Silvoenergía (C.R.) no. 44: 1-4.

- JIMENEZ A., L.D.; VAZQUEZ, W.; VIQUEZ, E. 2008 *Gmelina* arbórea: una especie con amplias posibilidades para el desarrollo de reforestaciones industriales. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Presentación en diapositivas. 27 diapositivas
- JIMENEZ A., L.D. 2014. Manejo de plantaciones forestales: énfasis en *Tectona grandis* y *Gmelina arbórea*. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Seminario Internacional: Avances en el manejo y mejoramiento genético de teca y melina. Presentación en diapositivas. 39 diapositivas.
- JUAREZ G., V.M.; RAMÍREZ M., H. 1985. Crecimiento de *Gmelina* arbórea Roxb. en cuatro espaciamientos. Centro de Investigaciones Forestales del Trópico Húmedo CIFTROH-INIF-SF-SARH, Escárcega, Mexico. 17 p.
- KIJKAR, L. 2004. *Gmelina* arborea Roxb. Familia Verbenacea. Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN). Centro de Semillas Forestales, Tailandia. 3 p.
- LAMB, A.F.A. 1968. *Gmelina* arborea, Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics. Oxford. UK, University of Oxford, Commonwealth Forestry Institute. 42 p.
- LAURIDSEN, E. B.; KJAER, E. D. 2002. Provenance research in *Gmelina arborea* Linn., Roxb. A summary of results from three decades of research and a discussion of how to use them. *International Forestry Review* 4(1) 15 p.
- MARTINEZ H., H. 1981. Evaluación de ensayos de especies forestales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 172 p.
- MATTHEWS, J.D. 1989. *Silvicultural systems*. Oxford, England. Clarendon Press. Oxford Science Publications. 284 p.
- MURILLO. R.; ALVARADO, A. 2012. NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DE *Gmelina* arbórea. *In* Alvarado, A.; raigosa, J. 2012 (eds). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Asociación Costarricense de la Ciencia de Suelo. pp. 385-298
- MUZIOL, C.; SÁNCHEZ, O. 1992. Manejo de plantaciones forestales. Manual técnico del proyecto COSEFORMA. Costa Rica. 24 p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1980. *Firewood Crops; Shrub and Tree Species for Energy Production*. Washington, D.C. pp 46-47
- NIEMBRO R., R.A. 1983. Estructura y clasificación de semillas de especies forestales mexicanas. *In* Reunión sobre problemas en semillas forestales tropicales (Ciudad de México, 1983). Subsecretaría Forestal/Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Publicación Especial No. 40 p. 77-119
- NWOBOSHI, L.C. 1981. Growth and biomass production of *Gmelina arbórea* in conventional plantations in Ghana. *Ghana Journal of Forestry* Vol.1 1994.
- NWOBOSHI, L.C. 2000. The Nutrient Factor in Sustainable Forestry. Ibadan University Press, Ibadan, Nigeria (2000) p. 303.
- OGBONNAYA, C. I. 1993. Effects of nitrogen sources on the wood properties of *Gmelina arborea* relevant to pulp and paper production. *Forest Ecology and Management* 56:211-223.

- OGBONNAYA, C. I.; KINAKO, P.D.S. 1993. Growth and mineral nutrition of *Gmelina arborea* Roxb. Seedlings fertilized with four sources of nitrogen on a latosolic soil. *Tree Physiology* 12(3):291-299.
- OGBONNAYA, C. I.; NWALOZIE, M. C.; NWAIGBO, L. C. 1992. Growth and wood properties of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) seedlings grown under five soil moisture regimes. *American Journal of Botany* 79(2):128-132.
- OGUNYEBI, A. O.; OMOLE, A. O.; BADA, S. O. 2012. Seasonal variation in litterfall in an age series *Gmelina arborea* plantation in a Nigerian rain forest. *Asian Journal of Science and Technology* Vol. 4, Issue, 11, pp.001-005, November, 2012.
- OHLAND, C. 2000. Recomendaciones para el manejo de *Gmelina arborea*. MINAE-ITCR COSEFORMA- CCF-GTZ. Costa Rica. 53 p.
- ONYEKWELU, J.C. 202. Growth characteristics and management scenarios for plantation-grown *Gmelina* and *Nauclea* in SW Nigeria. Hieronymus Verlag, Munich, Germany (2002) p. 196
- OTSAMO, A.; ÅDJERS, G.; HADI, T.S.; KUUSIPALO, J.; TUOMELA, K.; VUOKKO, R. 1995. 1995. Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. Dominated grasslands. *Forest Ecology and Management* 73(1):271-277.
- PINEDA, N. M. 1990. Métodos de raleo cuantitativo para determinar la intensidad de raleo en plantaciones de *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugan y *Tectona grandis* Linn. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 56 p.
- ROJAS R., F.; ARIAS A., D.; MOYA R., R.; MEZA M., A.; MURILLO G., O.; ARGUEDAS G., M. 2004. Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico. 320 p.
- SALAZAR, L. A.; PEREIRA, M. 1998. Resumen: El fortalecimiento de una empresa forestal en base de la producción de *Gmelina arborea* en la Zona Norte de Costa Rica. Procedimientos del Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, El Manejo Sostenible de los Recursos Naturales: Retos para el Siglo XXI. Valdivia, Chile. 7 p.
- SOERIANEGARA, R.H.; LEMMENS, M.J. 1993. Plant resources of South-East Asia No 5(1). Timber trees: Major commercial timbers. Prosea. Bogor.215-220.
- STUHRMAN, M.; BERGMANN, C.; ZECH, W. 1994. Mineral nutrition, soil factors and growth rates of *Gmelina arborea* plantations in the humid lowlands of northern Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 70(1-3):135-145
- TEWARI, D. N. 1995. A monograph on Gamari (*Gmelina arborea* Roxb.). International Book Distributions, Dehra Dun, India, 125 p.
- TROUP, R.S. 1921. The silviculture of Indian trees. Oxford, UK, Oxford University Press. Vol 2, leguminosue (Caesalpinieae) to Verbenaceae. 778 p.
- VALLEJOS, B.O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, Edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Gmelina*

arborea Roxb. en Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 147 p.

VALLEJOS, J.; MOYA, R.; SERRANO, R. 2015. Effects of thinning on diameter, heartwood, density and drying defects of *Gmelina arborea*. *Maderas-Cienc Tecnol* 17(3):2015

VASQUEZ W.; UGALDE, L. A. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea*, en Guanacaste, Costa Rica. CATIE/ IDA/ FAO/ HOLANDA. Proyecto Madelaña-3. Turrialba, Costa Rica. 33 p. Serie Técnica, Informe Técnico, N° 256

WEBB, D.B, WOOD PJ, SMITH JP, HENMAN GS. 1984. A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. Trop. For. Pap. 15. Oxford, UK: Oxford University, Commonwealth Forestry institute, Unit of Tropical Silviculture. 256 p.

WIJOYO, F. S. 2000. A Study of Genetic Parameters of *Gmelina arborea* Roxb. From Thailand Growth in 5 Countries and Financial Consideration for Operational Deployment of *Gmelina arborea* in Indonesia. Thesis of Degree of Master of Science. Forestry Department. NCSU. Raleigh – USA.

YAP, S. K.; WONG, S. M. 1983. Seed biology of *Acacia mangium*, *Albizia falcataria*, *Eucalyptus* spp, *Gmelina arborea*, *Maesopsis eminii*, *Pinus caribaea*, and *Tectona grandis*. *Malaysian Forester*. 46:26-45.

ZEAZER, D. 2000. La utilización de nutrientes por melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en plantaciones industriales en el Pacífico Sur de Costa Rica. In: CONARE/OPES. Memorias Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica., junio 2000. pp. 26-38.

ZEAZER, D.; MURILLO, R. 1992. Evaluación de los factores limitantes al crecimiento temprano de melina (*Gmelina arborea*) plantado en Inceptisoles en la Región Brunca de Costa Rica. In II Congreso Nacional Forestal. San José, agosto 1992. San José, Costa Rica. pp. 55-57.

ZECH, W. 1994. Metodología práctica para la identificación de sitios para reforestación en la Zona Norte de Costa Rica en especial con melina y laurel. COSEFORMA. 53 p. Documento del Proyecto, N° 39.

ZECH, W; DRECHSEL, P. 1992. Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. *Forest Ecology and Management* 48:121-143.

Anexo 1. Costos y rendimientos estimados en una plantación de melina

Costos establecimiento ha ⁻¹	Unitario	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Total							
Habilitación terreno																		
Desmalezado (jornales)	11,42	137,01										137,01	Jornales /ha para limpias; costo considerando cargas sociales					
Subsolado (horas tractor)	35,43	106,30										106,30	Costo tractor/hora; 3 horas de tractor para apertura de 29 surcos de 100 m					
Arado y alomillado(horas tractor)	35,43	141,73										141,73	29 surcos de arado y alomillado					
Herbicida pre-emergente (jornales)	11,42	22,83										22,83	Valor de aplicación					
Herbicida pre-emergente (lt)	60,00	24,00										24,00	Costo del herbicida/ha					
Plántulas	0,25		224,40									224,40	Costo de plántulas+10% para reposiciones (producción propia)					
Plantación (jornales)	11,42		46,58									46,58	Jornales para establecimiento plantación (apertura hoyos y siembra)					
Replante (jornales)	11,42		4,66									4,66	Jornales para replante					
Costo tractor traslado plántulas	29,53		44,29									44,29	Costo uso de tractor para traslado plántulas					
Traslado de plántulas	11,42		6,42									6,42	Jornales para traslado planta (en tractor)					
Control hormigas (jornales)	11,42		22,83									22,83	Jornales control de hormigas/año					
Formicidas (l)	16,00		16,00									16,00	Costo de insecticida/ha					
Encalado 1 (jornales)	11,42		62,11	37,27	18,63							118,01	Jornales para primera encalada (corona)					
Mezcla cal (300 gm/planta)	0,06		30,60	18,36	18,36							67,33	Costo de cal/ha (mezcla; 2 veces año 1; 2 veces año 2, 1 vez año 3)					
Control malezas 1 (jornales)	11,42		37,27									37,27	Costo de control de malezas/ha manual (plateo)					
Control malezas 2 (jornales)	11,42		37,27									37,27	Costo de control de malezas/ha manual (plateo)					
Costo uso tractor chapeas	29,53		59,06	59,06	29,53							147,64	Costo tractor/ha con guadaña; 3 horas de tractor limpieza entre surcos					
Poda (jornales)	11,42		93,17	46,58	46,58							186,33	Jornales poda árboles remanentes					
Raleo (árboles que salen)	0,07			186,97		609,05		995,06		4349,08	6140,16	Jornales raleo						
Vigilancia	11,42	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	246,61	Jornales vigilancia/ha/año						
Transporte	0,09			240,39		783,06		1279,37		5591,67	7894,50	Costo transporte/m3 producto aserrado						
Total costos		459,28	712,06	616,03	140,51	1419,52	27,40	2301,84	27,40	9968,15	15672,18	Sumatoria de costos						

Costos y beneficios de plantaciones forestales		Rotación 8 Año 2012 IMA					Nha ⁻¹ inicial 816				
Especie: melina											
Tierra		Primer raleo productivo a edad					Cosecha final a edad				
Valor de la tierra (US\$ha ⁻¹)		Intensidad	m ³ ha ⁻¹	Volumen %	US\$ ha ⁻¹	Transporte	Intensidad	m ³ ha ⁻¹	Volumen %	US\$ ha ⁻¹	Transporte
Area disponible (ha)		326	12,335	100	587,62	100	240	286,926	100	20875,58	100
Valor total tierra											
% área plantable		Segundo raleo productivo a edad					Costo de aprovechamiento US\$ m³				
		Intensidad	m ³ ha ⁻¹	Volumen %	US\$ ha ⁻¹	Transporte	Operación	R1	R2	R3	Cosecha
		147	40,181	100	2714,62	100	Extracción	186,97	609,05	995,06	4349,08
		Tercer raleo productivo a edad					Transporte				
		Intensidad	m ³ ha ⁻¹	Volumen %	US\$ ha ⁻¹	Transporte	Total	427,36	1392,11		
Costos establecimiento plantación		103	65,648	100	4776,31	100					
Preparación previa	431,87										
Establecimiento	365,19										
Encalado 1	92,72										
Desmalezado 1	133,59										
Vigilancia inicial	27,40										
Vigilancia anual	27,40	Edad	Plantación	Raleo %	Poda	Raleo	Remanente	Volumen m ³ ha ⁻¹			
Encalado 2	55,63	0					Total	Extraído	Remanente		
Desmalezado 2	105,64	1				816	6,16				
Encalado 3	37,00	2		40%	408	326	490	34,26	12,57	21,69	
Desmalezado 3	76,11	3			408		61,52				
Poda 1	93,17	4		30%		147	343	133,94	36,93	97,01	
Poda 2	46,58	5					166,29				
Poda 3	46,58	6		30%		103	240	218,83	61,09	157,74	
Raleo 1	186,97	7					212,24			212,24	
Raleo 2	609,05	8					286,93				
Raleo 3	995,06										
Cosecha	4349,08										
Fransporte 1	240,39										
Transporte 2	783,06										
Transporte 3	1279,37										
Transporte 4	5591,67										

Costos anuales		Actividad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Manejo	90,66	Adquisición tierra	0									0
Arrendamiento tierra	500,00	Costo desarrollo	459,28									459,28
Mantenimiento	64,13	Establecimiento		365,19								365,19
Seguro incendios y otros	32,07	Encalado		92,72	55,63	37,00						185,34
Protección	32,07	Desmalezado		133,59	105,64	76,11						315,34
Cercado	20,00	Vigilancia		27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	219,21
Inventarios y medición	15,00	Podas		93,17	46,58	46,58						186,33
Certificación	12,00	Costo anual		830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	6647,44
Investigación y desarrollo	15,00	Extracción			186,97		609,05		995,06		4349,08	6140,16
Apoyo social	20,00	Transporte			240,39		783,06		1279,37		5591,67	7894,50
Costos legales y adminst	30,00	Total costos	459,28	1542,99	1493,54	1018,02	2250,45	858,33	3132,77	858,33	10799,08	22412,79
TOTAL	830,93	Ingresos										
		PSA	918,95	459,47	183,79	137,84	91,89	45,95				918,95
		Venta madera			587,62		2714,62		4776,31		20875,58	28954,1363
		Otros ingresos										
		Total ingresos		459,47	771,41	137,84	2806,52	45,95	4776,31	0,00	20875,58	29873,09
		Ingresos-Costos	-459,28	-1083,51	-722,13	-880,18	556,07	-812,38	1643,55	-858,33	10076,49	7460,30
		IRR										22%
		VPN	(\$ 51,03)	(\$ 120,39)	(\$ 80,24)	(\$ 97,80)	\$ 61,79	(\$ 90,26)	\$ 182,62	(\$ 95,37)	\$ 1.119,61	\$ 828,92

Anexo 2. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas

1. Antecedentes

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), es el responsable legal del financiamiento del sector forestal costarricense. Esta labor la realiza a través de dos modalidades a saber: pago por servicios ambientales y el crédito dirigido a pequeños y medianos productores. De acuerdo con los Términos de Referencia (TdR)¹¹ el FONAFIFO es el punto focal del REDD + y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP); se ha definido como una de las acciones estratégicas para REDD+, el aumento de la producción y consumo sostenible de madera, como una forma, entre varias, de aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Por su lado, la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal Nº 7575 para promover el desarrollo forestal del país, está constituida por 40 organizaciones de pequeños y medianos productores, industriales y comerciantes de la madera, grupos ecologistas, artesanos y productores de muebles.

Las dos instituciones han aunado sus esfuerzos para la ejecución de las tareas del RP y dentro de éste, la consultoría orientada a identificar los aspectos relevantes para estimular la reforestación comercial, ya sea mediante el empleo de prácticas tradicionales o el uso de sistemas agroforestales (SAF), incluyendo los sistemas silvopastoriles (SSP) para aumentar la producción de madera y por tanto la captura de carbono, necesario para la formación y acumulación de madera. Como resultado de la consultoría indicada, la estrategia REDD+ financiaría la ejecución de un proyecto coordinado por FONAFIFO y dirigido por la Oficina Nacional Forestal, (ONF) para el **“Fomento de la Reforestación comercial para la mejora y conservación de las Reservas de carbono”**, como parte de la estrategia para aumentar los acervos de carbono, una acción estratégica de REDD+.

Objetivos

De acuerdo con los TdR, la consultoría tiene como objetivo general “Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono”, lo cual implica conocer las motivaciones de los productores actuales y potenciales para el establecimiento y manejo de plantaciones, utilizando diferentes métodos de plantación, incluyendo los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los objetivos específicos son:

- Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.

¹¹ FONAFIFO/FCPF/Donación TF012692. 2014. Términos de referencia para la contratación de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, San José, Costa Rica, FONAFIFO. 7 p.

- Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

Dentro del objetivo dirigido al desarrollo de paquetes tecnológicos, una de las tareas de la consultoría es la elaboración de un mapa de áreas potenciales para el cultivo de madera, para lo que se han planteado las siguientes tareas:

- a. Recopilar información cartográfica: suelos y fertilidad, lluvias y duración de sequía, uso actual y potencial, infraestructura, desarrollo social y desarrollo humano, PEA y disponibilidad de PEA;
- b. Elaborar diferentes capas con información cartográfica a escala 1:200.000 para obtener zonificación para las especies seleccionadas;
- c. Elaborar los mapas escala 1:200.000 con la zonificación para especies priorizadas

Una tarea previa a la elaboración del mapa fue el análisis de las especies utilizadas para proyectos de reforestación en Costa Rica. Se elaboró el documento “Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, que hizo el análisis de las principales especies utilizadas en el país para los diferentes proyectos de reforestación, desde los de carácter industrial (de tamaño grande y especies con mercado relativamente establecido) hasta pequeños proyectos familiares; el análisis incluyó los proyectos financiados tanto por la iniciativa privada, como aquellos que han contado con el pago por servicios ambientales por parte del FONAFIFO, o con financiamiento mixto.

Paralelo a la preselección de las especies se inició un estudio para evaluar la disponibilidad de madera en las plantaciones forestales establecidas hasta la fecha, mediante un muestreo de campo.

Un segundo análisis previo a la elaboración del mapa fue la determinación de las barreras para el establecimiento de plantaciones y reforestación a nivel nacional, dando como resultado el documento “Barreras que desalientan el cultivo de madera”.

Un tercer nivel de análisis fue una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre las especies seleccionadas por el Comité Evaluador del Proyecto, tanto en el ámbito nacional como a nivel externo.

Con la información aportada por estas etapas previas, se seleccionaron los principales indicadores para las especies, que permitieran priorizar áreas para el establecimiento de plantaciones (comerciales, sistemas agroforestales y silvopastoriles). Los indicadores seleccionados fueron: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas protegidas y otras áreas con bosque; no fue posible obtener información cartográfica de la tenencia (catastro); con la información se espera disponer de un mapa preliminar del área potencia para cada una de las especies seleccionadas (5 mapas a escala 1:200.000), los cuales, complementados con la información en paquetes tecnológicos diseñados para cada una de las especies, permitirían tomar decisiones respecto a la factibilidad de una especie en un sitio determinado. El trabajo de análisis cartográfico fue realizado con el apoyo del Ingeniero Freddy Argotty, consultor privado.

Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en la consultoría, fue necesario diseñar un modelo de pesos ponderados el cual permite desarrollar un análisis multicriterio entre varios rasters. Análisis de este tipo generan resultados más robustos puesto que permiten darle mayor importancia a variables de significativa importancia que definen el establecimiento de las especies.

Se trabajó con ocho variables (altitud, pendiente, capacidad de uso, temperatura, precipitación, pH, suborden de suelos y meses secos). Todas las capas vectoriales se convirtieron en rasters manteniendo un marco de trabajo similar en todas las capas¹². La resolución espacial fue seleccionada de acuerdo al raster con resolución más fina (altitud: 30 m).

1. Capa de información: Altitud

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model).

Descripción: La información fue obtenida a partir del modelo de elevación digital (DEM), de 30 metros de resolución espacial actualizado a 2011. Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y se proyectó a coordenadas CRTM05. Datos de elevación faltantes fueron calculados a partir de interpolación espacial zonal.

2. Capa de información: Pendiente

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)

Descripción: A partir del DEM y bajo la herramienta “*slope*” del analista espacial de ArcGis fue generada esta capa para Costa Rica. Se determinó como unidad de medida de salida el porcentaje de pendiente.

3. Capa de información: Capacidad de Uso del Suelo 2004

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Se hizo una revisión de las categorías de capacidad de uso de suelo para Costa Rica. Las categorías VII y VIII se consideraron como limitante para el establecimiento de plantaciones puesto que se caracterizan por ser tierras que no reúnen las condiciones mínimas requeridas para cultivo o pastoreo, y solo se pueden utilizar en protección total. En esta capa existe el parámetro de áreas protegidas el cual fue restringido en el modelo. Esta información ha cambiado respecto a su distribución en el país, por lo que análisis posteriores permitirán extraer información más actualizada.

4. Capa de información: Temperatura

Formato: shape

¹² Un marco de trabajo en común es jerárquicamente significativo cuando se trabaja con rasters provenientes de diferentes fuentes y escalas, siendo a menudo prerrequisito para mejorar tareas de geo-procesamiento

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

5. Capa de información: Precipitación

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

6. Capa de información: pH

Formato: shape

Fuente: Harmonized World Soil Database V1.0

Descripción: el HWSD es un raster (30 arc-segundo) con cerca de 15000 diferentes unidades de mapeo de suelo que combina información actualizada a nivel regional y nacional y a escala 1:5000000. Las fuentes de esta capa son SOTER, ESD, Soil Map of China, ISRIC-WISE, FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO, 1971-1981). Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y proyectados a coordenadas CRTM05.

7. Capa de información: Mapa digital de suelos de Costa Rica 2013

Formato: shape

Fuente: CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas)

Descripción: en 2009 empieza el cambio de información de suelos de formato analógico al digital y en 2013 se lanza el mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a escala 1:200000, el cual cuenta con una base de dato de 450 perfiles de suelo.

8. Capa de información: Meses secos

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo, pero bajo el proyecto TERRA el número de meses secos para Costa Rica se separa y transforma a formato shape.

Fue necesario reclasificar todas las variables convirtiendo la información en datos "enteros".

Para determinar el número de clases, se optó por conservar la información fuente, esto debido principalmente a que se quiso mantener las características de las capas originales bajo la resolución más fina (30 m).

Bajo parámetros técnicos, se asignó a cada variable y para cada especie diferentes pesos de acuerdo a su importancia relativa usando una escala común¹³ (cuadro 1).

Para mejorar la distribución de la condición bajo la cual se establecen las especies, además de incluir las ocho variables y sus pesos de acuerdo a su importancia relativa, se determinó tres escenarios bajo los

¹³ Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

cuales se desarrollarían las especies (optimo, medio y deficitario) (Anexo 1). Cabe aclarar que los pesos para los tres escenarios se mantienen.

Cuadro 1. Pesos de acuerdo a la importancia relativa de las variables para teca.

Especie	Variable	Peso
Tectona grandis	Altitud	20
	Meses secos	15
	pH	13
	Sub orden de suelos	12
	Pendiente	11
	Capacidad de uso	11
	Precipitación media anual	10
	Temperatura media anual	8
Total		100

La selección de la mejor condición para Teca (*Tectona grandis*) se visualiza para cada variable de acuerdo a la figura 1 (se realizó el mismo procedimiento para cinco especies diferentes, incluyendo melina). Cabe aclarar que las áreas seleccionadas para reforestación con teca, no pueden sustituir áreas cubiertas con bosques (primarios o secundarios), así como tampoco estarán en áreas protegidas, razón por la cual este informe preliminar es una orientación de las áreas potenciales y a partir de un análisis posterior se permitirá conocer y seleccionar las áreas efectivas que representen la condición respectiva para cada especie.

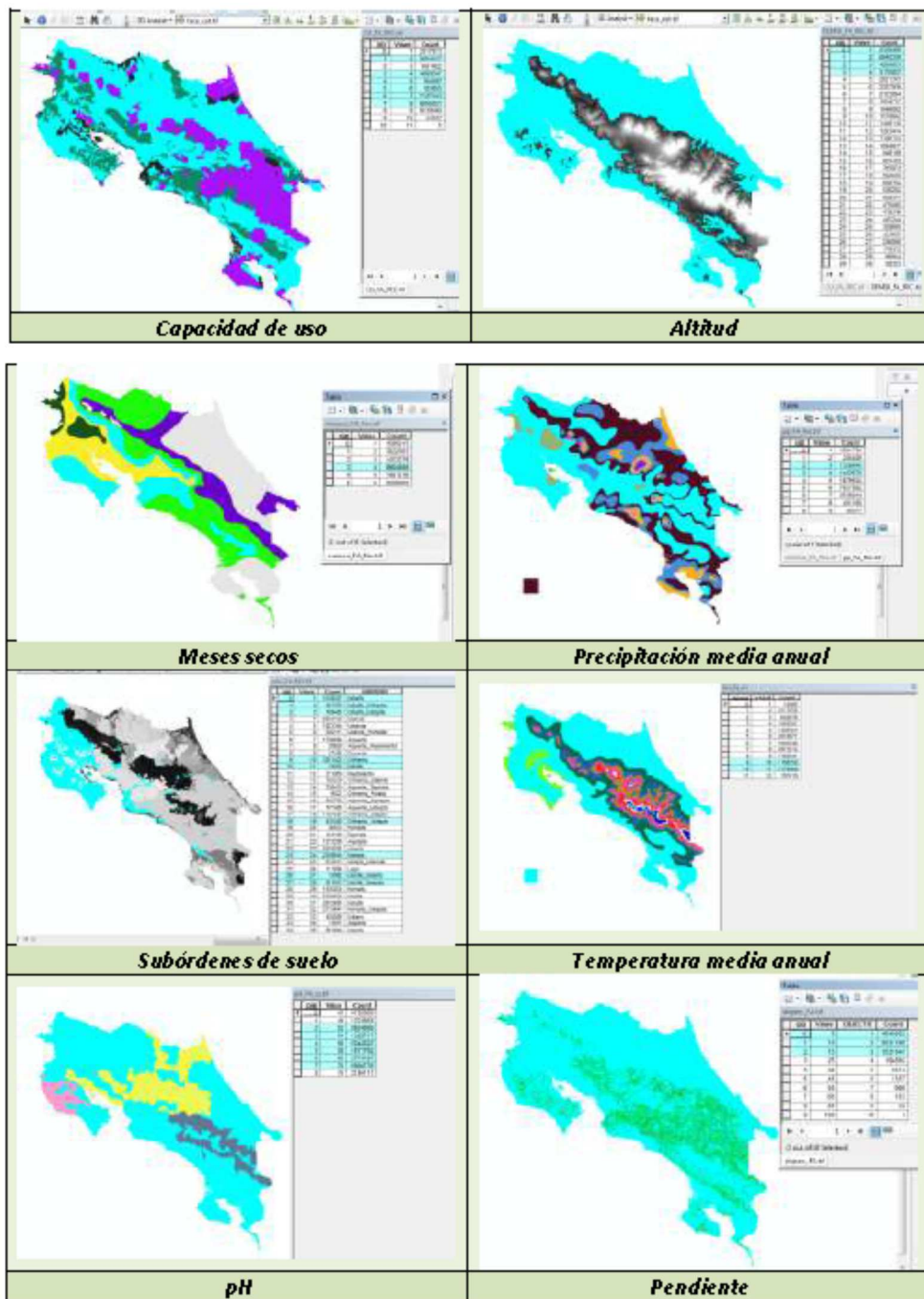


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Óptima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica

Condición		Optimista						Medio						Deficitario							
Especie	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23
Pino	sin restricción	5,0-6,5	<30%	<500	1000-2000	4	24-30	sin restricción	4,0-6,5	<35%	<800	1000-3200	2-6	22-30	sin restricción	<4,0	>35%	>800 hasta 1000	<1000 o >3200	>6	<22
Eucalipto	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,0-6,5	<25%	<600	1000-2500	1-3	22-30	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,8-6,5	25%-30%	500-800	1500-3000	1-3	22-32	sin restricción	<4,8	30-35	<1000	<1500 o >3000	>4	<22
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults	>5,2	<25	<600	1200-1800	2-4	22-28	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,0-6,2	25%-30%	400-800	1800-2500	3-4	20-30	sin restricción	<5,0	30%-35%	<1000	<1200 o >2500	>4	<20