



**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

**Manual de Buenas Prácticas**  
para el Diagnóstico y Manejo de la  
Fertilidad del Suelo en Plantaciones  
Forestales de Teca (*Tectona grandis* L.f)  
y Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

---

Edwin Esquivel Segura | Mario Guevara Bonilla  
Maribel Jiménez Montero | Silvia Araya Salas

631.42  
E779m

Esquivel-Segura, Edwin

Manual de buenas prácticas para el diagnóstico y manejo de la fertilidad del suelo en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) / Edwin Esquivel-Segura, Mario Guevara-Bonilla, Maribel Jiménez-Montero, Silvia Araya-Salas -- 1 edición. -- Cartago, Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2024.

38 páginas : ilustraciones, fotografías a color, tablas; 13.97x21.59 cm

Referencias

ISBN: 978-9930-617-61-8

1. Muestras para diagnóstico 2. Encalado de suelos 3. Materiales encalantes 3. Acidez del suelo 4. Análisis foliar I. Esquivel-Segura, Edwin, creador, I. Guevara-Bonilla, Mario, creador, I. Jiménez-Montero, Maribel, creadora, Araya-Salas, Silvia, creadora II. Título

# Contenidos

Presentación .....	1
Algunos conceptos clave .....	2
Diagnóstico del sitio .....	3
Factores limitantes para el desarrollo de plantaciones de teca y melina....	3
Estado de la fertilidad del suelo.....	4
Análisis de suelos.....	7
Interpretación de un análisis de suelos.....	7
Ejemplo de interpretación de un análisis de suelo .....	7
Determinación de los factores limitantes de un sitio.....	12
Ejemplo práctico del sistema.....	13
<b>Manejo de la fertilidad .....</b>	<b>16</b>
Neutralización de la acidez del suelo .....	16
¿Qué es el encalado? .....	17
Beneficios del encalado .....	18
Tipos de materiales encalantes.....	18
Métodos y épocas de aplicación.....	19
Pasos para un correcto encalado .....	19
Criterios que ayudan decidir si se realiza o no el encalado .....	20
Cálculo de dosis de encalado .....	20
Ejemplo de aplicación.....	21
Aplicación de fertilizantes en plantaciones forestales .....	24
Aplicación de fertilizantes.....	24

Monitoreo de la nutrición en plantaciones forestales .....	26
Síntomas visuales .....	26
Análisis foliar .....	28
Interpretación de un análisis foliar.....	30
Referencias.....	34

# Presentación

La actividad forestal específicamente el cultivo de madera mediante plantaciones y sistemas agroforestales está expuesta a constantes desafíos, como lo son la necesidad de aumentar la productividad, mejorar la calidad de los árboles, aumentar la eficiencia de uso de los recursos y mantener la sostenibilidad del sistema.

En sistemas silviculturales intensivos el manejo de la nutrición de la planta es un tema clave en donde la aplicación de enmiendas y la fertilización juegan el rol tanto de aumentar la productividad, como de compensar la extracción de nutrientes por parte de los árboles, para así lograr mantener la sustentabilidad del sistema en el tiempo (Fernández-Moya et al, 2017).

Sin embargo, para poder establecer planes de manejo nutricional a corto, mediano y largo plazo, es necesario conocer herramientas para el diagnóstico y monitoreo de la fertilidad de un sitio y la nutrición de los árboles. Ante la necesidad del sector reforestador costarricense de disponer de una guía para el adecuado diagnóstico y manejo de la nutrición de plantaciones forestales, se presenta este documento cuyo objetivo principal es servir de consulta, referencia y guía para estudiantes, productores, técnicos y público en general que pretenda conocer, diagnosticar y manejar la fertilidad y nutrición de plantaciones forestales.

En las siguientes páginas se presentan aspectos básicos acerca de cómo determinar los factores limitantes de un sitio, del muestreo de suelos, así como el uso de herramientas como el análisis de suelo y análisis foliar, y la interpretación de estos.

Con este nuevo manual, el grupo de Silvicultura Intensiva de plantaciones de la Escuela de Ingeniería Forestal pretende aportar a la mejora del sector reforestador costarricense y mesoamericano.

# Algunos conceptos clave

Para una mayor comprensión de la guía, repasamos algunos conceptos:

- **Acidez intercambiable:** es la cantidad de iones aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e hidrogeno ( $\text{H}^+$ ) que pueden intercambiarse en la solución del suelo.
- **Bases intercambiables:** son los iones positivos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ), que se encuentran en el suelo, este intercambio puede afectar la fertilidad del suelo al influir en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- **Clorosis:** deficiencia en la producción de clorofila que hace que las partes normalmente verdes de la planta adquieran una coloración verde claro, amarillo o amarillo blanquecino.
- **Genotipo:** conjunto de los genes y la información genética que caracteriza a un individuo de cualquier especie.
- **Rodal:** grupo de árboles con características similares en cuanto a composición, distribución o condición.
- **Textura:** característica física del suelo que hace referencia al contenido relativo de partículas según su tamaño: arena, limo y arcilla y que determina la facilidad de trabajar el suelo, la aireación, la retención de agua y la reserva de nutrientes.

# Diagnóstico del sitio

## ¿Para qué sirve?

Esta primera etapa en el proceso de producción sirve para conocer cuáles son los requerimientos del cultivo y cuáles son las condiciones agroecológicas con que se cuenta en términos de clima y suelo, todo esto para poder identificar los factores limitantes y tomar decisiones.

Un buen diagnóstico implica no sólo hacer un recorrido por el sitio a plantar sino también buscar información adicional ya sea en documentos escritos o dada por las personas del lugar.

## ¿Qué se debe hacer?

1. Identificar cuáles son los requerimientos del cultivo en cuanto a condiciones climáticas y de suelo.
2. Recorrer el sitio para la observación del lugar y toma de muestras según sea necesario.
3. Determinar la fertilidad del sitio en donde se establecerá la plantación.
4. Identificar cuáles son los factores limitantes del sitio para determinar la capacidad de uso del suelo.

## Factores limitantes para el desarrollo de plantaciones de teca y melina

La productividad de una plantación forestal se define como la capacidad de producción de un rodal en términos de volumen de madera o biomasa ( $m^3$ ) por unidad superficie ( $ha^{-1}$ ). La productividad está determinada por factores bióticos y abióticos. Entre los factores bióticos se incluyen la especie seleccionada y sus distintos genotipos, aparición de plagas y enfermedades y la competencia con algunas arvenses. Los elementos abióticos comprenden variables climáticas y propiedades de suelo. Estos factores pueden afectar la capacidad de las especies forestales para crecer y desarrollarse, por lo que es crucial considerarlos para maximizar la productividad y sostenibilidad de la plantación (Rubilar et al. 2020).

La teca (*Tectona grandis*) prefiere suelos moderadamente profundos (>90 cm), bien drenados, de textura media, planos o con pendiente suave, localizados en regiones de temperatura media anual de 28°C (Drechsel y Zech, 1994; Jha, 1999; Fonseca, 2004). Deben evitarse las siguientes condiciones:

- Suelos mal drenados.
- Suelos poco profundos o con mucha pedregosidad.
- Cimas de pendientes muy secas o ventosas.
- Sitios donde la precipitación media anual sea menor a los 1800 mm.
- Regiones donde los niveles de acidez del suelo sean muy altos.

En el caso de la melina (*Gmelina arborea*), en Costa Rica esta crece bien en suelos profundos, bien drenados, de texturas francas, de topografía plana a ondulada (pendientes inferiores al 25%) y con pH entre 6,0 y 6,5. Preferiblemente en sitios de altitud menor a los 500 msnm, y con precipitaciones entre 2000 y 2500 (Martínez 2015). Deben evitarse las siguientes condiciones:

- Suelos mal drenados con un nivel freático alto.
- Suelos con baja fertilidad, poco profundos y bajo contenido de materia orgánica.

## Estado de la fertilidad del suelo

Para la determinación de la fertilidad de un suelo previo al establecimiento de la plantación, el primer paso que debe realizarse es un muestro del suelo.

Una buena muestra permitirá tener información certera sobre el sitio a plantar y conocer si existen limitantes y las posibles formas de mejora conociendo la importancia de esta fase, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones para la toma correcta de una muestra de suelos:

Se debe recorrer el sitio a plantar y dividirlo en áreas o lotes de muestreo con características similares. Se establecen lotes diferentes cuando hay

variaciones en la topografía (sitio plano y sitio en pendiente), edades diferentes o cuando hay límites naturales como una quebrada o río.

En cada lote, se debe tomar entre 16 y 20 submuestras de suelo a dos profundidades (0 a 20 cm y 20 a 40 cm) para luego combinar todas las submuestras de una misma profundidad en una muestra compuesta que se llevará al laboratorio de suelos. Una sola muestra compuesta puede representar entre 1 y 20 ha de extensión, siempre y cuando estas sean homogéneas.

Para el muestreo se debe contar con un palín o un barreno y dos baldes o bolsas grandes identificadas con cada una de las profundidades de muestreo.

Para el muestreo de cada lote debe:

- Limpiar la zona donde va a tomar cada submuestra de suelo, eliminando la vegetación existente (Figura 1.1 y 1.2).
- Con el palín o barreno tomar una muestra de 0 a 20 cm de profundidad y otra muestra separada de 20 a 40 cm. Colocar cada una de las submuestras de forma separada en el balde o bolsa respectiva (Figura 1.3)
- Recorrer todo el sitio para tomar de 16 a 20 submuestras por lote.

En cada lote, una vez que se han tomado todas las submuestras se procede a mezclar bien el contenido de cada balde o bolsa. Esa mezcla se divide en cuatro partes, que es lo que se conoce como "cuarteo"; una de las cuatro partes será la muestra compuesta que es la que se envía al laboratorio para análisis. Esta debe ser de entre 0,5 y 1 Kg (Figura 2.4).

Cada muestra compuesta se debe colocar en una bolsa plástica y se debe rotular indicando la fecha de muestreo, la profundidad, el sitio de donde procede y el cultivo que hay presente (Figura 2.5 y 2.6).



**Figura 1.** Paso para una correcta toma de muestras de suelo en plantaciones forestales. 1. Limpieza de la zona que va a extraer la muestra. 2.Extraer la muestra con el barrero o pala. 3. Colocar las submuestras en una bolsa o balde. 4. Cuarteo de las submuestras. 5. Colocar la muestra compuesta en una bolsa. 6. Rotular la muestra.

### Otros aspectos para tomar en cuenta son:

- a) Época del año en que se realiza el muestreo. La mejor condición para tomar una muestra de suelo es cuando el suelo está húmedo que es en época lluviosa. Sin embargo, se debe evitar el hacer el muestreo en el momento en que está lloviendo pues la muestra podría tener mucha agua.
- b) Prácticas de manejo realizadas de forma reciente. Si se conoce que en el sitio se ha aplicado cal, fertilizantes o abonos orgánicos debe dejarse pasar algún tiempo de manera tal que no se esté muestreando el efecto de la aplicación realizada. Este tiempo suele ser cercano a un mes dependiendo del tipo de producto aplicado.

## Análisis de suelos

Una vez tomadas las muestras de suelo, estas deben enviarse a un laboratorio especializado para su respectivo análisis.

Existen varios tipos de análisis de suelos, sin embargo, el análisis de los componentes químicos y de la materia orgánica es el de mayor uso y recomendado en el sector forestal. Sin embargo, se puede complementar con un análisis de textura y con un análisis biológico para tener información de las características físicas y microbiológicas de este.

## Interpretación de un análisis de suelos

Para la correcta interpretación de un análisis de suelos se deben realizar los siguientes pasos:

1. **Identificación de los problemas de acidez:** primeramente, se debe observar el valor de pH y revisar los valores de acidez intercambiable y de porcentaje de saturación de acidez (%SA).
2. **Estado de las bases intercambiables y sus relaciones:** Se debe analizar los contenidos de Calcio, Magnesio y Potasio y las relaciones existentes entre ellos.
3. **Identificación de otros elementos deficientes:** poner atención a elementos como el fósforo y el boro (para el caso de teca).

Finalmente, una completa interpretación tomará en cuenta con la identificación de los recursos cercanos a la propiedad como abonos orgánicos, desechos agroindustriales potencialmente mejoradores de suelo para realizar una recomendación de mejora de fertilidad sustentable.

## Ejemplo de interpretación de un análisis de suelo

A continuación, se muestra un análisis de suelos de un sitio localizado en Pital de San Carlos, con un uso anterior de cultivo de piña (cuadro 1). En este sitio posterior al análisis de suelos fue establecida una plantación clonal de melina (*Gmelina arborea*).

**Cuadro 1.** Ejemplo de reporte de análisis químicos de un suelo en Pital de San Carlos.

<b>ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS</b>														
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L				%				mg/L			mS/cm
KCl-Olsen Modificado	ID LAB	H <sub>2</sub> O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE
<b>ID USUARIO</b>		<b>5,5</b>	<b>0,5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>	<b>5</b>		<b>10</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>1,5</b>
LOTE PIÑA - 0-20 cm.	S-18-05192	4,7	2,78	1,43	0,31	0,23	4,75	59	3	4,0	16	117	96	0,1
LOTE PIÑA - 20-40 cm.	S-18-05193	4,6	3,16	1,16	0,23	0,12	4,67	68	1	3,8	18	138	106	0,1

## **Paso 1. Identificación de los problemas de acidez**

Tal cual se mencionó anteriormente, se revisan los resultados de pH, acidez y %SA, siguiendo las recomendaciones del laboratorio y para el caso específico de %SA lo recomendado para la especie. Para la teca se recomiendan porcentajes de saturación de acidez menores al 5% mientras que para melina valores iguales o menores al 10%.

Basado en estos tres parámetros este sitio debe recibir una enmienda que controle la acidez. Tal como se mencionó al verificar las bases se determina que el Mg es menor a 0,8 cmol(+)/L por lo que se recomienda aplicar una enmienda como dolomita que contiene Mg.

La interpretación de análisis de suelo general de los valores del cuadro 2 se realiza de la siguiente manera:

- Si la distribución de un elemento del suelo analizado se encuentra en el rango “bajo” se considera para generar una recomendación de aplicación de un fertilizante que contenga dicho elemento- Del mismo modo, el sí pH del suelo es bajo, se sugiere la aplicación de encalado como una medida para corregir la acidez.
- Si la distribución de un elemento del suelo analizado se encuentra en el rango “medio”, la respuesta al fertilizante que contiene dicho elemento puede ser impredecible y no estar relacionada con la cantidad de fertilizante aplicado.
- Si la distribución es “óptimo” o “alto”, la respuesta de la aplicación del fertilizante que contenga este elemento no habrá efecto.

En situaciones donde uno o varios elementos se encuentran en un rango alto el crecimiento de las plantas se podría ver afecto por una posible intoxicación del cultivo. Por ejemplo; en el caso de la acidez intercambiable y la saturación de acidez (%). La alta concentración de un elemento puede afectar de manera negativa en la absorción de otro elemento, en algunos casos se da el antagonismo entre los elementos calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K).

**Cuadro 2.** Tabla de interpretación de análisis de suelo (Molina y Meléndez, 2002).

		Bajo	Medio	Óptimo	Alto
pH	cmol/L	<5	5 - 6	6 - 7	>7
Calcio (Ca)	cmol/L	<4	4 - 6	6 - 15	>15
Magnesio (Mg)	cmol/L	<1	1 - 3	3 - 6	>6
Potasio (K)	cmol/L	<0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 0,8	>0,8
Acidez	cmol/L		0,3 - 1	< 0,3	>1
Saturación acidez (S.A.)	%		10 - 30	< 10	>30
Fósforo (P)	mg/L	<12	12 - 20	20 - 50	>50
Hierro (Fe)	mg/L	<5	5 - 10	10 - 50	>50
Cobre (Cu)	mg/L	<0,5	0,5 - 1	1 - 20	>20
Zinc (Zn)	mg/L	<2	2 - 3	3 - 10	>10
Manganeso (Mn)	mg/L	<5	5 - 10	10 - 50	>50
Boro (B)	mg/L	<0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1	>1
Azufre (S)	mg/L	<12	12 - 20	20 - 50	>50
Materia orgánica (Mo)	%	<2	2 - 5	5 - 10	>10
Relaciones		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca + Mg) K
Catiónicas		2 - 5	5 - 25	2,5 - 15	10 - 40

Tomando como referencia los puntos críticos indicados en el cuadro 2, se cuenta con una hoja de cálculo para la interpretación mediante colores de los rangos en que se encuentran los elementos de un determinado suelo a partir del análisis químico, tal como se muestra en la cuadro 3.<sup>1</sup>

1 Para tener acceso a la hoja de cálculo puede contactar al grupo de Silvicultura Intensiva del TEC a los correos [maguevara@itcr.ac.cr](mailto:maguevara@itcr.ac.cr) y [eesquivel@itcr.ac.cr](mailto:eesquivel@itcr.ac.cr).

**Cuadro 3.** Ejemplo de interpretación de un análisis de suelos mediante hoja electrónica creada por el grupo de Silvicultura Intensiva de la Escuela de Ingeniería Forestal.

Interpretación del análisis de suelos													
Muestra	pH	cmol(+)/L			%			mg/L					Bajo
		Acidez	Ca	Mg	K	Sat.Al	P	Zn	Cu	Fe	Mn	Medio	
S-18-05192	4,70	2,78	1,43	0,31	0,23	59,00	3,00	4,00	16,00	117,00	96,00	Óptimo	
S-18-05193	4,60	3,16	1,16	0,23	0,12	1,00	1,00	3,80	18,00	138,00	106,00	Alto	

Relación entre bases			Relación entre bases			
Muestra	Relación		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K				
S-18-05192	4,61	6,22	1,35	7,57		
S-18-05193	5,04	9,67	1,92	11,58		

## **Paso 2. Estado de las bases intercambiables**

Como se observa en el análisis de suelos, se requiere una intervención, ya que algunos macroelementos y microelementos presentan valores menores a los recomendados y solo la mitad de las relaciones entre las bases se encuentra entre los rangos recomendados.

Con la aplicación de la enmienda que se recomienda en el paso 1 se pueden corregir las relaciones entre bases y aumentar la disponibilidad de estos nutrimentos para los árboles.

## **Paso 3. Identificación de otros elementos deficientes**

Se observa que los valores de fósforo (P) son menores a los recomendados por lo que se recomienda la aplicación de un fertilizante rico en fósforo posterior a la aplicación de las enmiendas (al menos 1 mes después). Por facilidad se podría aplicar una fórmula completa como 10-30-10 o 12-24-12 aunque existen opciones como MAP o DAP.

## **Determinación de los factores limitantes de un sitio**

Para asegurar el buen desarrollo de una plantación de teca o melina es importante escoger un sitio que sea adecuado para el desarrollo de la especie, sin embargo, en algunos casos ya se cuenta con la finca o sitio, el cual, como todo lugar, tiene ventajas y desventajas. Estas desventajas podrían constituir limitaciones a la productividad que pueden o no ser modificadas, por lo que determinar estas limitaciones y saber cómo contrarrestar los posibles efectos negativos en el rendimiento productivo de la especie a establecer es una labor fundamental.

Una de las formas para lograr una evaluación imparcial de un determinado sitio es mediante el uso de la Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras Agroecológicas de Costa Rica, oficializada en el Decreto Ejecutivo N° 41960-MAG-MINAE.

Con la aplicación de la metodología es posible clasificar el sitio dependiendo de cuál es el factor más limitante según cuatro factores: erosión, suelo, drenaje o clima.

Para ello, durante el reconocimiento del sitio, es necesario cuantificar o describir algunas características del lugar necesarias para poder aplicar la metodología, tales como pendiente, erosión, profundidad de

suelo, pedregosidad, neblina y viento. Otra información requerida como lo es fertilidad, toxicidad de cobre, salinidad, textura del suelo, zona de vida, drenaje, riesgo de inundación y época seca, se pueden obtener del análisis de suelos, de mapas y de personas que conocen el lugar.

Una vez que se tienen cuantificados o descritos los parámetros, se procede a darles una categoría a cada uno de ellos de acuerdo con lo que indica la metodología.

Con la evaluación de cada uno de los parámetros se logra conocer cuáles son las limitaciones del sitio y posteriormente con una debida interpretación se pueden contar con posibles propuestas de mejora para estas limitaciones. Es importante mencionar que algunos de los parámetros no son mejorables, sin embargo, si se pueden realizar obras que mejoren las condiciones con las que se cuenta en esa finca y, por consiguiente, aumentar los rendimientos de la plantación.

## Ejemplo práctico del sistema

Siguiendo el mismo ejemplo del lugar en el que se hizo el análisis de suelos, a continuación, se muestra las condiciones encontradas en el sitio necesarias para identificar los factores limitantes:

Pendiente dominante: 10%

Erosión efectiva: Sin evidencias de erosión

Profundidad efectiva: Mayor a 120 cm

Textura del suelo: 0-30 cm: Arcillo Limosa (AL).  
31-60 cm: Arcillo Limosa (AL)

Pedregosidad: Las piedras que hay no interfieren en la preparación del suelo.

Fertilidad: Ver pH, acidez, CICE y %SA en análisis de suelos

Toxicidad: Ver cobre (Cu) en análisis de suelos

Salinidad: Menor a 4 dS/m.

Drenaje: El agua se elimina del suelo moderadamente rápido

Riesgo de inundación: Los suelos no presenten algún riesgo de inundación

Zona de vida: Bosque muy húmedo premontano (bmh-P).

Periodo seco: Sin período seco

Neblina: No se presenta evidencia de efectos de neblina (musgo en árboles).

Viento: No se presenta evidencia de efectos del viento (ramas quebradas deformación de árboles)

Con esta información y con la ayuda de la norma se procede a categorizar cada uno de los parámetros y a determinar en cuál clase se ubica cada uno de ellos. En el ejemplo y de acuerdo con la metodología vigente, la pendiente al ser de un 10% cae en la categoría de “ligeramente ondulada” que ubica este factor en la clase II. La erosión al ser nula, ubica esta categoría en la clase I. Y así sucesivamente se procede a categorizar todos los factores e identificar la respectiva clase, según se detalla en el siguiente cuadro:

**Cuadro 4.** Determinación de los factores limitantes de la capacidad de uso de la tierra.

<b>Factor</b>	<b>Limitantes</b>	<b>Sub clase limitante</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Categoría</b>	<b>Clase</b>
<b>Erosión</b>	Pendiente	e <sup>1</sup>	10%	Ligeramente ondulada	II
	Erosión activa	e <sup>2</sup>		Nula	I
<b>Suelo</b>	Profundidad efectiva	s <sup>1</sup>	Mayor a 120 cm	Muy profundo	I
	Textura 0-30 cm	s <sup>2</sup>	AL	Fina	II
	Textura 31-60 cm	s <sup>2</sup>	AL	Fina	II
	Pedregosidad	s <sup>3</sup>	0	Ausente	I
	Fertilidad	s <sup>4</sup>		Baja	<b>IV</b>
	Toxicidad cobre	s <sup>5</sup>		Nula	I
	Salinidad	s <sup>6</sup>		Nula	I
<b>Drenaje</b>	Drenaje	d <sup>1</sup>		Bueno	I
	Riesgo de inundaciones	d <sup>2</sup>		Nulo	I
<b>Clima</b>	Zona de vida	c <sup>1</sup>		Bmh-P	II
	Período seco	c <sup>2</sup>		Ausente	II
	Neblina	c <sup>3</sup>		Ausente	I
	Viento	c <sup>4</sup>		Moderado	II

Note que, en cada una de las limitantes, se indica la simbología que establece la metodología ( $e^1$ ,  $e^2$ ,  $s^1$  etc.).

Para determinar la capacidad de uso de la tierra se deben realizar los siguientes pasos:

1. **Determinar la clase de uso.** Se debe registrar cuál es la clase mayor que se encontró en la evaluación. Para este ejemplo se obtiene que las tierras de esta parcela son de clase **IV**.
2. **Determinar las subclases de capacidad de uso.** En esta parte se deben agregar todos los factores en donde se registraron valores que no corresponden a clase I. Para este ejemplo las subclases son **e s c**.
3. **Determinar las unidades de manejo.** Se deben escribir las limitantes encontradas en el sitio (todas aquellas limitantes en donde no se registró una clase I) Para este ejemplo las unidades de manejo son:  **$e_1 s_{24} c_{124}$** . Adicionalmente se debe subrayar la o las que fueron las determinantes de la Clase de Uso:  **$e_1 s_{24} c_{124}$**
4. **Definir la clase de uso de la tierra.** Para este ejemplo la respuesta definitiva es **IV  $e_1 s_{24} c_{124}$**  en donde la limitante condicionante que definió la clase de capacidad de uso es la fertilidad catalogada como baja.

# Manejo de la fertilidad

## ¿Para qué sirve?

El manejo de la fertilidad es necesario para garantizar que la planta dispone del tipo y cantidad de nutrientes necesarios para su desarrollo y producción.

## ¿Qué se debe hacer?

- Interpretar de forma correcta los resultados del análisis de suelos.
- Determinar el tipo de enmiendas o fertilizantes que nos necesarios y la cantidad adecuada según los requerimientos del cultivo.
- Planificar el momento indicado y el modo de aplicación de las enmiendas o de los fertilizantes que se necesitan.

## Neutralización de la acidez del suelo

La acidez del suelo es uno de los problemas más comunes en los suelos tropicales. Se entiende por acidez del suelo la condición de este, en la cual existe el pH es ácido y tiene una acumulación de elementos tóxicos como el aluminio, hierro y manganeso que se asocia comúnmente a una fertilidad natural baja (Alvarado y Raigosa 2012).

Esta condición de suelo disminuye la disponibilidad de nutrimentos en el suelo restringen el crecimiento y el desarrollo de los árboles que estén plantados en ese suelo. Entre los efectos de la acidez del suelo visibles a simple vista están la disminución del crecimiento de los árboles cambios en la calidad de los árboles aún en material genéticamente mejorado, problemas de sanidad, entre otros. Esto se traduce en un menor volumen y en una menor ganancia para el productor. Para corregir el problema de suelos ácidos se utiliza la técnica del encalado.

## ¿Qué es el encalado?

El encalado es el método más común y efectivo para corregir suelos con pH inferiores a 5,5 que presenta problemas de acidez. Consiste en la aplicación o incorporación de enmiendas calcáreas, como por ejemplo el carbonato de calcio; las fuentes carbonatadas tienen un efecto residual prolongado, con el objetivo proporcionar mejoras a corto y largo plazo se lograr neutralizar la acidez del suelo (Figura 2).



**Figura 2.** Encalado de un sitio previo al establecimiento de los árboles

El uso del encalado para la corrección de la acidez del suelo debe considerar varios factores como: pH del suelo, tipos de cal, tamaño de la partícula del encalante, solubilidad, método de aplicación, época correcta de aplicación y dosis a aplicar.

## Beneficios del encalado

Algunos de los beneficios del encalado en plantaciones de melina y teca son:

1. Corrige la acidez del suelo y eleva el pH a niveles óptimos para el cultivo de árboles evitando así los problemas de toxicidad.
2. Mejora la disponibilidad de nutrientes como fósforo (P), potasio (K) y molibdeno (Mo) en el suelo para que sean utilizados por los árboles.
3. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC).
4. Mejora la estructura del suelo, mejorando la aireación e infiltración.
5. Mejora la actividad y desarrollo de la macro y microfauna responsables de descomponer la materia orgánica del suelo.

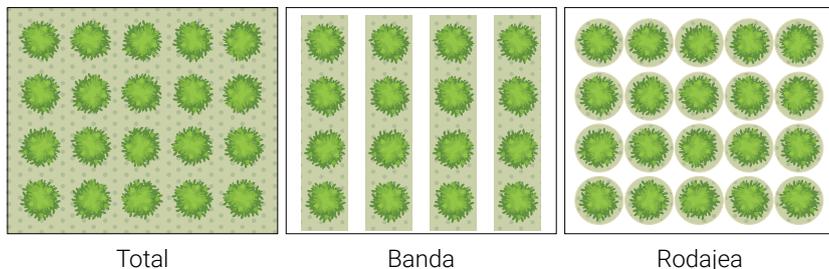
## Tipos de materiales encalantes

Entre los materiales de encalado más comunes y de mayor facilidad de compra en el mercado se encuentran:

- Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ): es el producto más común y generalmente el de menor costo. Mayormente insoluble en agua, pero su solubilidad se incrementa en condiciones ácida (contiene un máximo de 40% de Ca).
- Cal dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ : incluye magnesio además del calcio, se importa y tiene un costo mayor en el mercado. Mayormente insoluble en agua, pero su solubilidad se incrementa en condiciones ácidas (contiene entre 2 a 13% de Mg).
- Sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ): yeso, penetra mejor en el horizonte del suelo y logra un efecto de mayor plazo.
- Óxido de calcio (CaO): cal viva reacciona con agua formando cal hidratada-
- Cal líquida: penetra mejor en el horizonte del suelo, reacciona más rápido, de mayor costo.

## Métodos y épocas de aplicación

Las formas de aplicación de cal son en rodajas, en la línea de los árboles (banda) o en la totalidad del terreno (figura 3). La forma más efectiva de aplicación de cal es la incorporación del material en los primeros 15-20 cm de suelo para asegurar un contacto máximo del producto con el suelo en la capa arable.



**Figura 3.** Formas de aplicación de cal en plantaciones forestales establecidas.

La cal debe aplicarse al menos un mes antes de fertilizar para garantizarse que haya hecho efecto en el suelo. La época más apropiada para aplicarla es al inicio de las lluvias o un poco antes.

## Pasos para un correcto encalado

1. Para encalar se debe de realizar previamente un muestreo y análisis de suelo en la zona que se piensa establecer la plantación o sistema agroforestal.
2. Basado en el análisis de suelo y en el presupuesto disponible, se toma una decisión de cuál material encalante aplicar y cuál va a ser su dosis. Para saber cuál es la dosis óptima de cal por hectárea es indispensable consultar a su profesional forestal.
3. En caso de que sea necesario, realizar un adecuado control de las malezas ya que estas podrían competir con el crecimiento de los árboles.

4. Se debe seleccionar la forma de aplicación de la enmienda que sea adecuada para el tamaño del cultivo y represente los menores costos.
5. Aplicar la dosis correspondiente teniendo cuidado de no humedecer la cal antes de aplicarla.

## Criterios que ayudan decidir si se realiza o no el encalado

1. **Acidez intercambiable mayor a 0.5 cmol<sub>(+)</sub> L<sup>-1</sup>**, inadecuada para los cultivos, debido a que las plantas puede presentar problemas moderados de crecimiento y desarrollo. .
2. **Suma de bases (Ca+Mg+K) menor de 5 cmol<sub>(+)</sub> Kg<sup>-1</sup>**, produce bajo rendimiento y se relaciona con suelos de baja fertilidad. La interpretación de análisis de suelos se considera las relaciones entre los cationes Ca, Mg y K para determinar un hay presencia de antagonismo o desequilibrio.
3. **Porcentaje de saturación de aluminio (Al<sup>3+</sup>) o acidez intercambiable mayor de 10%**, el valor ideal es menor que 10 para la mayoría de los cultivos, pero los valores pueden cambiar según la especie.

## Cálculo de dosis de encalado

Existen distintas fórmulas para calcular la cantidad de cal necesaria que se debe aplicar para corregir problemas de acidez. El criterio más utilizado se basa en el porcentaje de saturación de acidez y para ello se utilizar la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Ton}}{\text{ha}} \text{ de material encalante} = \frac{1,5 (\%SA-RAS) \times CICE}{100} \times \frac{100}{PRNT}$$

Donde

%SA = Porcentaje de saturación de acidez presente en el análisis de suelos.  
Si no está presente de debe calcular de la siguiente manera: %SA = (acidez/ CICE) \*100.

CICE = suma de las bases más la acidez (Ca+Mg+K) + Acidez intercambiable (Al+H).

RAS = Porcentaje de saturación de acidez deseado o tolerado por el cultivo.

PRNT = Poder relativo de neutralización total del material encalante.

## Ejemplo de aplicación

Se seleccionó un sitio en Pital de San Carlos para el establecimiento de una plantación clonal de melina. El análisis de suelo correspondiente se muestra a continuación (cuadro 5).

**Cuadro 5.** Ejemplo de reporte de análisis de suelo de una plantación de melina, en Pital de San Carlos.

<b>ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS</b>														
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L					mg/L						
			H <sub>2</sub> O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
<b>KCl-Olsen Modificado</b>	<b>ID LAB</b>	5,5	0,5	4	1	0,2	5			10	3	1	10	5
PITAL - 0-20 cm.	S-17-08563	5,0	1,56	2,87	1,60	0,22	6,25	25	1	2,9	11	187	154	

Con base en el análisis se realizan los siguientes pasos:

**Paso 1: Identificación de problemas de acidez.** Como se ve en el análisis de suelos y se explicó en una sesión anterior, el sitio presenta un pH ácido y el porcentaje de saturación de acidez (SA%) es excesivo por lo que se necesita realizar una corrección de la acidez.

**Paso 2. Definición del material encalante a utilizar:** Para este caso en particular el valor de Ca es menor al mínimo recomendado, mientras que el valor de Mg es superior al valor recomendado. Por tal motivo se recomienda aplicar carbonato de calcio. El producto por aplicar tiene un Poder relativo de neutralización total del material encalante de 84,8%.

**Paso 3. Definición del porcentaje de saturación de acidez deseado (RAS).** De acuerdo con Alvarado y Raigosa (2012) un porcentaje de saturación de acidez del 10% es adecuado para el establecimiento de plantaciones de melina.

**Paso 4. Aplicación de fórmula**

$$\frac{\text{Ton}}{\text{ha}} \text{ de material encalante} = \frac{(1,5 (25 - 10) \times 6,25)}{100} \times \frac{100}{84,8}$$
$$\frac{\text{Ton}}{\text{ha}} \text{ de material encalante} = 1,65$$

Se necesitan 1,65 toneladas de cal para disminuir el porcentaje de saturación de acidez de un 25% a un 10%.

### **Sobre encalado**

Se comprende por sobre encalado cuando se realiza aplicaciones de dosis mayores de cal de las dosis recomendadas para neutralizar el aluminio (Al) intercambiable. Actualmente se conoce que los suelos tropicales ácidos pueden recibir de 5 a 10 toneladas por hectárea sin que esto cause un efecto negativo en sus propiedades químicas y físicas.

La aplicación por realizar de enmiendas no debe superar las 1,5 ton/ha por aplicación y deben distanciarse al menos un mes antes o después de la aplicación de fertilizantes. Las aplicaciones de enmiendas se deben realizar con el suelo húmedo, pero evitando periodos de fuertes aguaceros que causen escorrentía superficial y que laven el producto.

## Aplicación de fertilizantes en plantaciones forestales

Los fertilizantes son materiales que contienen nutrimentos y pueden ser aplicados directamente al suelo, en el agua de riego o mediante una aplicación foliar. Entre los principales beneficios que se obtienen con la aplicación de fertilizantes se encuentran:

1. Mantener o mejorar la fertilidad del suelo.
2. Suplir deficiencias nutricionales de los árboles.
3. Restituir los nutrientes extraídos en el aprovechamiento (esto es importante en segundas rotaciones).
4. Aumentar la productividad de las plantaciones.

La mayoría de los fertilizantes son productos sintéticos, y estos pueden ser simples, cuando está compuestos de un único elemento, o bien pueden ser compuestos, cuando aportan al suelo una variedad mayor de nutrientes en un mismo producto. Otra forma de incorporar nutrientes al cultivo es mediante el uso de abonos de origen natural o abonos orgánico.

## Aplicación de fertilizantes

1. Aplicación al voleo: Esta técnica consiste en aplicar el fertilizante de forma superficial en toda el área de plantación. Esta forma de aplicación permite cubrir menor área en menor tiempo, sin embargo, para que sea una práctica eficiente debe existir un adecuado control de malezas.
2. Aplicación mediante espeque: Se utiliza cuando no es posible asegurar un eficiente control de malezas o cuando no se quieren tener pérdidas por volatilización. Esta práctica se realiza usualmente en plantaciones menores a los dos años.
3. Aplicación en "semiluna" o banda. En esta técnica consiste en aplicar el fertilizante ya sea alrededor de la planta cubriendo el área de proyección de copa o aplicada sobre la hilera de plantación en la banda de control de malezas.
4. Aplicación de fertilizantes foliares. Esta aplicación se utiliza mayoritariamente en árboles recién establecidos que presentan deficiencias nutricionales visibles.

1 **Al voleo.**



2 **Espeque.** Hacer dos hoyos y echar fertilizante.



3 **Media luna.** Hacer una media luna y echar fertilizante.

4 **Foliar.** Con bomba de espalda a las hojas.



# Monitoreo de la nutrición en plantaciones forestales

## ¿Para qué sirve?

Los requerimientos nutricionales de las plantaciones forestales varían de acuerdo con la especie y la edad. Uno de los principales problemas asociados al manejo de la nutrición de plantaciones forestales consiste en encontrar el mejor método para determinar los factores que limitan la producción (Alvarado y Raigosa 2012). Se pueden utilizar varias técnicas para reconocer deficiencias de nutrientes en plantaciones forestales.

1. Cuando se evidencia un problema en nuestra plantación y ya pasó más de un año del último muestreo. Por ejemplo, hojas con coloraciones amarillas o con colores fuera de lo normal para la especie.
2. Al menos un año después de haber realizado el primer análisis de suelos.
3. Cuando se evidencien valores de diámetro y altura menores a los reportados en la literatura o a los exigidos por el FONAFIFO.

## ¿Qué se debe hacer?

En esta guía nos enfocaremos en:

1. Síntomas visuales de las plantas
2. Análisis foliar

## Síntomas visuales

Al igual que las plantas, los árboles necesitan de ciertos elementos para tener un desarrollo normal y completar su ciclo de vida. En total son 16 elementos los esenciales para un adecuado crecimiento y desarrollo de un árbol. Estos elementos son: carbono (C), nitrógeno (N), calcio (Ca), cobre (Cu), boro (B), hidrógeno (H), fósforo (P), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), oxígeno (O), potasio (K), azufre (S), zinc (Zn) y molibdeno (Mo).

Los síntomas visuales más comunes incluyen:

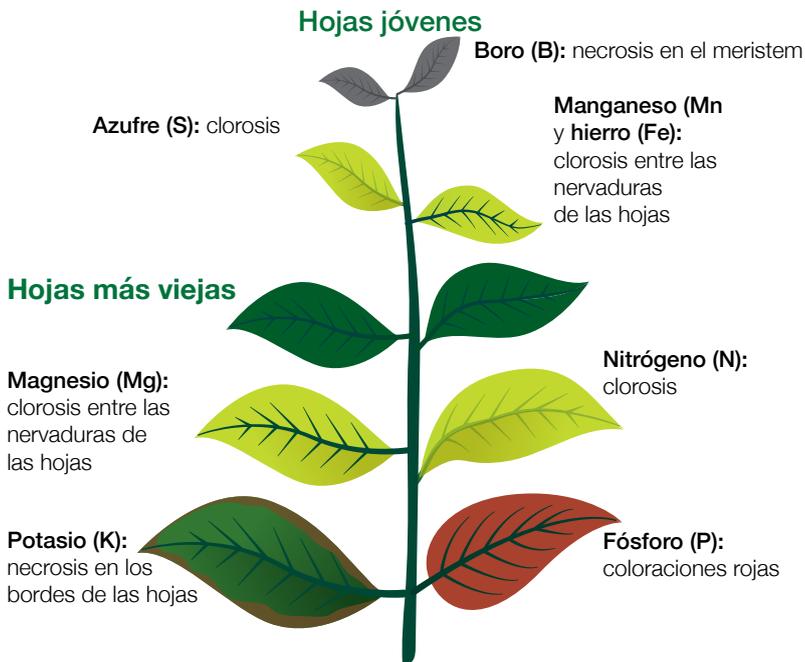
1. Cambios en el tipo de crecimiento
2. Cambio en el color de las hojas
3. Cambios en la anatomía del árbol



**Figura 4.** Árboles con plantados con deficiencias nutricionales visibles con Magnesio y Nitrógeno.

Una manera sencilla de reconocer deficiencias de forma visual es conociendo la movilidad de los nutrimentos dentro del árbol. Se consideran elementos móviles el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio mientras que algunos elementos inmóviles son el boro, azufre, manganeso y hierro.

Las deficiencias de elementos móviles se manifestarán en hojas viejas o en las hojas de la parte inferior mientras que deficiencias de boro, azufre, manganeso y hierro se manifestarán en hojas jóvenes (figura 5).



**Figura 5.** Guía para el reconocimiento de deficiencias nutricionales en árboles recién establecidos.

## Análisis foliar

Los análisis foliares permiten saber la concentración de los elementos existentes en el suelo que fueron tomados por las hojas de la especie forestal plantada. Es importante recordar que en muchas ocasiones los elementos presentes en el suelo no están en forma disponible para las plantas.

1. Se debe recorrer la plantación y dividirla en áreas o lotes de muestreo con características similares. Se establecen lotes diferentes cuando hay variaciones en la topografía (sitio plano y sitio en pendiente), edades diferentes o cuando hay límites naturales como una quebrada o río.
2. Tomar una muestra foliar de al menos 25 hojas en el caso de melina y 10 en el caso de teca, deben estar sanas, ubicadas en la mitad de la copa del árbol a la mitad de las ramas que se ubican a la mitad de la copa y de edad media y no tomar hojas nuevas (figura 6). Esta muestra debe ser compuesta para captar la variabilidad propia de los sitios y de los genotipos plantados. En plantaciones monoclonales podría tomarse una muestra menor, pero siempre se aconseja que sea compuesta.



**Figura 6.** Recolección de muestras de hojas para posterior análisis foliar

3. Identificar la muestra anotando la fecha de recolección, la procedencia y la especie recolectada.
4. Es importante que la muestra sea transportada con cuidado al laboratorio, evitar que quede expuesta al sol en el carro que se transporta o que quede en el piso recibiendo el calor del motor. Por ello es aconsejable que se transporte en hieleras y se lleven al laboratorio lo más pronto posible. Si las hojas son tomadas secas (no están mojadas por la lluvia) y se transportan en una condición controlada es preferible que sea en bolsas de papel, de lo contrario si se tiene que tomar estando húmedas (mojadas por la lluvia) o se sabe que transcurrirán más de 8 horas desde la toma hasta la llegada al laboratorio es preferible transportarlas en bolsas plásticas.

## Interpretación de un análisis foliar

Para comparar los niveles foliares de nutrimentos encontrados en un sitio o lote de una plantación particular, se utilizan valores desarrollados para las distintas especies. Para ello se comparan los valores del análisis foliar presentado en el cuadro 6 con los reportados en la literatura para la especie que se vaya a analizar (cuadros 7 y 8).

**Cuadro 6.** Ejemplo de reporte de análisis químico foliar de distintas muestras

<b>ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR</b>												
<b>ID USUARIO</b>	<b>IDLAB</b>	% masa						mg/kg				
		<b>N</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>
PM-1	P-19-01899	2,91	0,13	0,95	0,13	1,06	0,14	121	7	23	729	96
PM-2	P-19-01900	3,09	0,13	1,18	0,14	0,93	0,14	105	6	23	668	83
PM-3	P-19-01901	3,07	0,09	1,54	0,55	0,30	0,14	79	7	31	225	38
PM-4	P-19-01902	3,19	0,11	1,85	0,60	0,35	0,16	90	7	28	400	46
PM-5	P-19-01903	3,33	0,13	1,53	0,34	0,68	0,16	118	9	26	250	30
PM-6	P-19-01904	2,34	0,07	1,31	0,39	0,29	0,11	62	5	27	263	24
PM-7	P-19-01905	3,13	0,11	1,15	0,36	0,46	0,14	93	7	25	245	26
PM-8	P-19-01906	3,18	0,12	1,52	0,35	0,56	0,16	123	8	30	341	40

**Cuadro 7.** Interpretación de niveles foliares de nutrimentos en plantaciones de melina (adaptado de Drechsel y Zech, 1991; Boardman et al., 1997).

Elemento	Deficiencia	Marginal	Adecuado
N (%)	1,39	2,00	2,01 - 3,92
P (%)	0,05	0,08 - 0,11	0,12 - 0,36
K (%)	0,29	0,49 - 0,70	0,71 - 1,60
S (%)			0,10
Ca (%)			0,53,2,20
Mg (%)			0,19 - 0,94
Cu (mg/kg)			4 - 19
Zn (mg/kg)	6	14 - 19	20 - 80
Mn (mg/kg)			22 - 205
Fe (mg/kg)			40 - 600
Al (mg/kg)			68 - 183
B (mg/kg)	3 - 10		20 - 64

En esta comparación se puede apreciar como algunos elementos se encuentran en los niveles adecuados y otros en los niveles marginales, cabe destacar por ejemplo los niveles de Mn que se llega a niveles de toxicidad. Al interpretar los resultados se puede concluir que los niveles de toxicidad de algunos elementos están relacionados a niveles altos de acidez y que por otra parte disminuye la disponibilidad de otros elementos. En conclusión, para este análisis foliar fue continuar aplicando enmiendas y realizar aplicaciones de fertilizantes o abonos que mejores los niveles de fósforo.

Los análisis foliares pueden ayudar a identificar deficiencias o excesos de nutrientes, lo que permite tomar medidas correctivas para mejorar la salud y productividad de los árboles. La interpretación de los resultados de los análisis foliares de melina se realiza comprando los niveles de nutrientes obtenidos en el análisis con los rangos considerados adecuados para esta especie. Estos rangos pueden variar dependiendo de la edad de los árboles, la fase de crecimiento y las condiciones específicas del suelo y clima.

**Cuadro 8.** Interpretación de niveles foliares de nutrimentos en plantaciones de teca (adaptado de Drechsel y Zech, 1991; Boardman et al., 1997).

Elemento	Deficiencia	Marginal	Adecuado	Alto
N (%)	<1,20	1,20-1,51	1,52-2,78	
P (%)	<0,10	0,10-0,13	0,14-0,25	0,40
K (%)	<0,50	0,50-0,79	0,80-2,32	2,33
S (%)	<0,08	0,08-0,10	0,11-0,23	
Ca (%)	<0,55	0,55-0,71	0,72-2,20	
Mg (%)	<0,10	0,10-0,19	0,20-0,37	
Cu (mg/kg)			10-25	
Zn (mg/kg)		11-19	20-50	
Mn (mg/kg)	<30	30-49	50-112	
Fe (mg/kg)			58-390	379-1074
Al (mg/kg)			85-320	340-480
B (mg/kg)			15-45	

El incremento en el grado de saturación de aluminio (Al) en el suelo puede tener un impacto negativo en el crecimiento de la melina. El aluminio tóxico afecta principalmente el sistema radicular de las plantas, reduciendo su capacidad de absorber agua y nutrientes. Esto puede provocar un crecimiento deficiente, amarillamiento de las hojas y, en casos severos, la muerte de las plantas.

En caso de no tener un patrón de comparación sobre los niveles nutricionales como por ejemplo los que publicados por Alvarado y Raigosa (2012), se pueden construir tomando muestras y registrando sus valores en el tiempo.

# Referencias

- Alvarado, A. y Raigosa J. (2012). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. Asociación Costarricense de Ciencias del Suelo. San José, Costa Rica. 411 p.
- Drechsel, P., & Zech, W. (1994). DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* Lf) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management*, 70(1-3), 121-133.
- Espinosa Bancalari, M., Acuña, C., García Sandoval, J., Rodríguez Leiva, R., & Rubilar Pons, R. A. (2017). *Silvicultura de bosques plantados con fines productivos*. Universidad de Concepción.
- Fernández-Moya, J., Alvarado, A., Fallas, J., Miguel-Ayanz, A. S., & Marchamalo-Sacristán, M. (2017). NPK fertilization of teak (*Tectona Grandis*) plantations: a case study in Costa Rica. *Journal of tropical forest science*, 417-427.
- Fonseca, G. W. (2004). Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 121 p.
- Jha, K. K. (1999). *Teak (Tectona grandis) farming*. IBDC Publishers.
- Martínez, H. (2015). Melina (*Gmelina arborea* Roxb.): condiciones para su cultivo "Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono". FONAFIFO, Moravia, Costa Rica.
- Méndez, J. C., & Bertsch, F. (2012). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. ACCS, San José, Costa Rica.



The image shows a person in a field, possibly a farmer or researcher, wearing a light-colored t-shirt, dark pants, and boots. They are holding a long, thin rod or tool. The background is filled with dense foliage and trees. The entire image is overlaid with a semi-transparent blue filter. In the center, there is a white square containing the letters 'TEC' in a serif font.

TEC