CALIDAD DEL ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN FORESTAL

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ITTO ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LAS MADERAS TROPICALES

La presente publicación es parte del proyecto PD 849/17 Rev. 2 (F), "Incremento de la competitividad de la reforestación comercial en Costa Rica" financiado por la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT), mediante las aportaciones voluntarias de los gobiernos de los Estados Unidos de América y Japón. Para conocer más de la OIMT visitar www.itto.int

Diseño e impresión Unidad de Publicaciones. TEC. 08/25

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ITTO ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LAS MADERAS TROPICALES

ISBN Obra independiente: 978-9930-617-96-0

CALIDAD DEL ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN FORESTAL

OLMAN MURILLO | MARIO GUEVARA | YORLENY BADILLA
Escuela de Ing. Forestal. **Instituto Tecnológico de Costa Rica**

RANDALL CASTRO
Sistema Nacional de Áreas de Conservación. **Área de Conservación Huetar Norte**

634.9
M977c Murillo-Gamboa, Olman, autor.
Calidad del establecimiento de la plantación forestal / Olman Murillo-Gamboa, Mario Guevara-Bonilla, Yorleny Badilla-Valverde, Randall Castro-Salazar. -- 1 edición. -- Cartago, Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, 2025.
34 páginas ; 13.97 x 21.59 cm : ilustraciones, fotografías a color.

Incluye bibliografía.
ISBN: 978-9930-617-96-0

1. Silvicultura. 2. Manejo de bosques. 3. Manejo de plantaciones forestales. 4. Árboles -- Cultivo. 5. Plantaciones forestales -- Calidad. 6. Plantaciones forestales -- Costo -- Producción. 7. Sitio forestal. 8. Manuales. I. Guevara-Bonilla, Mario, autor II. Badilla-Valverde, Yorleny, autora III. Castro-Salazar, Randall, autor IV. Título.

Comité Editorial, Escuela de Ing. Forestal
Luis Acosta Vargas
Ruperto Quesada Monge
Dorian Carvajal Vanegas

CALIDAD DEL ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN FORESTAL

Contenidos

Introducción **1**

1. El primer factor de éxito está en la calidad genética de las plantas 2
2. Calidad del establecimiento de la plantación 5
   - 2.1 Evaluación del acceso al sitio de plantación y de seguridad del entorno. 5
   - 2.2 Evaluación de la preparación del sitio de plantación 8
   - 2.3 Evaluación de la calidad de las plantas 12
   - 2.4 Evaluación de la calidad de establecimiento o de la siembra inicial 15
3. Distanciamiento de plantación planeado versus real en campo 20
4. Área Efectiva y Área Neta Plantada 24
   - Área Efectiva. 24
   - Área Neta. 25
   - Área Efectiva x Área Neta plantada. 28

Evaluación final del proyecto **29**

Literatura **31**

Introducción

Este documento pretende servir de guía para la evaluación de plantaciones forestales recién establecidas o en sus primeros 4-6 meses. Tiene como propósito sistematizar el conocimiento técnico que permita fácilmente determinar la calidad inicial de la nueva plantación, las omisiones que puedan ser corregidas y la toma de decisiones temprana. Tema de relevancia tanto para organizaciones estatales de fomento o financiamiento de la reforestación en el país, como también para organizaciones privadas que deseen evaluar la calidad del establecimiento de sus nuevas plantaciones. Un buen inicio de la plantación significa buena parte del éxito de la inversión, donde los gastos asociados al establecimiento oscilan alrededor de un 45% del costo total del proyecto (Garro *et al*., 2025. Murillo *et al*., 2025).

El documento reúne la experiencia de los últimos 30 años en la materia, con la inclusión de elementos asociados a la silvicultura moderna basada en clones o en plantas mejoradas genéticamente. Junto con el otro eje fundamental basado en el principio de eliminación de factores limitantes (Murillo 1991, Murillo & Camacho 1997, Badilla *et al*., 2002, Murillo & Badilla 2004, Murillo *et al*., 2025). La última guía sobre el tema fue publicada en el 2003 (Murillo, Badilla & Gallegos) y desde entonces, los avances en silvicultura han sido sustanciales en temas de mejoramiento genético, manejo y preparación de suelos, control de malezas, sanidad forestal e indicadores de calidad entre otros (Rojas & Murillo, 2000; Murillo 2000, Gamboa 2023, Garro *et al*., 2025, Méndez *et al*., 2021, Méndez *et al*., 2023, Murillo & Badilla en prensa).

El tema del muestreo para la evaluación de plantaciones ha sido materia de sumo interés y revisión en los últimos años. Nuevas metodologías y procedimientos han sido desarrollados que permiten por ejemplo, resolver la dificultad estadística para abordar **plantaciones de pequeña escala y sistemas agroforestales**, donde sobresalen el método de árboles individuales como parcela y las parcelas en forma de "L" (Alfaro 2005, Montoya 2005, Vargas 2005, Murillo *et al*., 2011, Rojas 2014, Murillo & Badilla 2015, Guevara *et al*., 2025).

El manual inicia con la revisión de los temas asociados al uso del mejor material genético disponible y continúa con la verificación del acceso y

transitabilidad hasta el sitio plantado, así como la revisión del entorno que protege al área plantada. Se incluye los temas de preparación del terreno, para continuar con la evaluación de la calidad de plantas y calidad de siembra de los árboles. Finalmente se incluye los procedimientos de verificación del distanciamiento real entre árboles y la estimación del área neta y área efectiva plantada.

1. El primer factor de éxito está en la calidad genética de las plantas

Hoy día no se cuestiona el impacto de la calidad genética de las plantas en el desarrollo de una plantación forestal, concepto esencial cuando se discute sobre temas como productividad, calidad y valoración de los árboles. Más importante aún cuando se habla de tolerancia o resistencia genética a plagas y enfermedades. Como ejemplo en la historia forestal reciente de Costa Rica, se ha logrado descubrir genotipos élite (clones) de melina con alta productividad, que también han sido verificados como altamente tolerantes a la marchitez causada por *Ceratocystis fimbriata*, enfermedad que desbastó las plantaciones en el país en los últimos 20 años (Méndez *et al*. 2021, 2023). El uso de genotipos tolerantes a climas extremos, con un periodo seco más extenso (efectos del cambio climático), tolerante a suelos marginales, son sin duda otros ejemplos donde el material genético certificado aporta seguridad, esencial para alcanzar el éxito en la inversión.

De igual manera debe siempre tenerse presente, que **la calidad genética del material utilizado no es suficiente** por si sola para garantizar el éxito de una plantación. Es esencial aplicar las mejores prácticas silviculturales de manejo del suelo, control de malezas, u otras acciones que logren eliminar factores limitantes para el desarrollo de la plantación.

Con respecto a la calidad genética se podría resumir en investigar el origen o procedencia genética de las plantas, es decir la **Fuente Semillera** que dio origen al proyecto de inversión. Importante determinar si las plantas se obtuvieron de algún programa certificado de mejoramiento genético, donde se conozca el grado de mejoramiento genético alcanzado (primera o segunda generación de mejoramiento). En nuestro medio los programas más avanzados de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) son de primera y segunda generación de mejoramiento

genético. La Oficina Nacional de Semillas (ONS) es el ente oficial que regula y ordena el comercio nacional e internacional de semilla sexual o clonal agrícola y forestal. La ONS registra y categoriza las fuentes semilleras activas en el país, clasificadas por su grado de mejoramiento genético según la norma técnica (Oficina Nacional de Semillas 2012). Por tanto, es relevante determinar si las plantas se obtuvieron por producción clonal en invernadero, procedente de material élite de algún programa de mejoramiento registrado ante la ONS. La certificación de las plantas debe llegar a ser una costumbre, una norma en un sector forestal organizado, con el propósito de que sirva de respaldo técnico al productor forestal. En el Cuadro 1 se describe las categorías de fuentes semilleras forestales disponibles o en desarrollo en el país.

Cuadro 1. Calificación de la categoría genética de la Fuente Semillera para el establecimiento de plantaciones forestales (Basado y modificado de: Reglamento Técnico para la Certificación de Semillas y Plántulas de Especies Forestales. Oficina Nacional de Semillas. 2da Versión. 2012. San José, Costa Rica).

Fuente Semillera o calidad genética de las plantas	Inferior (20%)	Baja (40%)	Media (60%)	Alta (80%)	Superior (100%)
Certificada A. Clones élite de ensayos de progenie de segunda generación. Semilla de 3era generación ensayos de progenie de 2da generación, con raleos genéticos.					x
Certificada B plus. Clones élite de árboles plus de primera generación, comprobados superiores genéticamente en el país.				x	

Fuente Semillera o calidad genética de las plantas	Inferior (20%)	Baja (40%)	Media (60%)	Alta (80%)	Superior (100%)
Certificada B. Semilla de 2da generación, de ensayo clonal, ensayo de progenie o huerto semillero clonal, aislado y con raleos genéticos (*roguing*). Incluye, clones sin evaluación.			x		
Autorizada A. Semilla de 2da generación sin comprobación. Procedente de ensayo clonal, ensayo de progenie o huerto semillero clonal sin aislamiento o sin raleo genético (*roguing*).		x			
Autorizada B. Semilla de lotes mixtos de procedencias de alta calidad, rodal semillero aislado con raleos.	x				

2. Calidad del establecimiento de la plantación

La calidad del establecimiento de la plantación debe ser considerado como uno de los pasos de mayor relevancia en los protocolos de evaluación. En particular si se tiene presente que en el establecimiento se invierte entre un 40 y 45% del costo total. La aplicación de buenas prácticas de establecimiento puede repercutir en una reducción de costos posteriores, cuando se ejecute por ejemplo el encalado, la fertilización, el control de malezas inicial, así como en un buen crecimiento inicial. Las condiciones del terreno y los factores limitantes deben ser considerados para decidir cuáles opciones de preparación de terreno son viables a un costo razonable. Debe también valorarse la inclusión de obras de conservación de suelo, especialmente en sitios con pendiente pronunciada (> 15%).

La calidad del establecimiento de la plantación se compone de al menos cuatro principios:

2.1 Evaluación del acceso al sitio de plantación y de seguridad del entorno

2.2 Evaluación de la preparación del sitio

2.3 Evaluación de la calidad de las plantas

2.4 Evaluación de la calidad de establecimiento o de la siembra inicial

2.1 Evaluación del acceso al sitio de plantación y de seguridad del entorno.

El concepto de plantación debe incluir no solo el espacio donde se siembran los árboles, sino también la posibilidad de acceso todo el año al sitio exacto de plantación dentro de la propiedad. Así como una revisión del sector circundante por tener elementos de protección. Se debe entonces evaluar de manera general los siguientes cuatro criterios:

2.1.1 Estado de los **caminos principales** y secundarios **dentro de la propiedad**, que permitan el acceso al sitio de plantación. Este criterio se divide en tres categorías; muy buen acceso, aceptable e ineficiente. Su evaluación se basará en la transitabilidad del camino durante el año y su estado de mantenimiento (Forestal Arauco 2017). Un camino será calificado como de **muy buen acceso** cuando permita el tránsito durante todo el año, posea alcantarillas en buen estado cuando estas

sean requeridas, posea una inclinación lateral (bombeo) en sitios planos, drenajes que eviten el encharcamiento, drenaje lateral en ambos lados que encaucen el agua y con lastre los tramos con pendiente > 10%. Un camino **aceptable** es aquel que permite el acceso parcial en periodo lluvioso o solo durante periodo seco, no presenta alcantarillas en sectores determinantes, no posee un bombeo ni drenajes laterales (Figura 1). Un camino **inaceptable** es aquel con acceso muy limitado y solamente en el periodo seco, no tiene alcantarillas en numerosos tramos de los caminos, hay lomas con pendiente > 10%, sin lastre y sin inclinación lateral (bombeo), no hay drenajes laterales.

Figura 1. Camino sin inclinación lateral (bombeo), sin drenajes ni cunetas laterales, que permitan evacuar el agua acumulada por lluvia. Este camino es de categoría aceptable, transitable gracias a su pendiente <10%. De no recibir el mantenimiento adecuado puede degenerar en categoría inaceptable.

2.1.2 Construcción y mantenimiento de drenajes, alcantarillas y cunetas laterales en los pasos de agua de los caminos. Se evalúa la presencia y estado de los drenajes, las alcantarillas y las cunetas, obras para el desvío o reducción de la velocidad del paso de agua, el encauce de aguas, que contribuyan a que el camino mantenga su transitabilidad durante todo el año. El camino debe tener una pendiente ligera hacia los lados (2-5%), conocida como bombeo, que permitirá que el agua no se encharque sobre la superficie. Las cunetas deberán permanecer libre de sedimento para evitar encharcamiento. Se califica como presente/ausente.

2.1.3 Presencia de cercas de protección en los linderos con vías públicas o en las colindancias con fincas ganaderas vecinas. Se califica como presente/ausente.

2.1.4 Presencia de rondas o franjas cortafuegos. Se evalúa su presencia principalmente en regiones con historial y riesgo de incendios forestales, como el Pacífico Norte y Central, así como parte de la Zona Norte de Costa Rica y Valle Central. Consiste en franjas de al menos 4m de ancho que se mantienen sin combustible en el periodo seco (charral o pasto alto), ubicadas en sectores críticos de la plantación (colindancia con fincas vecinas, caminos públicos, otros). En la región Caribe y en algunos sectores del Pacífico Sur por lo general no hay riesgo evidente de incendios forestales. Se califica como presente/ausente.

2.1.5 Calificación general del acceso. Finalmente, se procede a determinar la calidad general que será excelente (100) cuando los cuatro criterios han sido evaluados positivamente. En el Cuadro 2 se puede observar varios ejemplos de cómo calificar el criterio de accesibilidad al sitio de plantación dentro de la propiedad, así como elementos de protección.

Cuadro 2. Criterios de calificación del acceso al sitio de plantación y de elementos de protección o del entorno.

Criterio	Orotina (Pacífico central)	Guácimo (Caribe)	Los Chiles (Zona Norte)
Camino principal y secundarios, grado de transitabilidad anual **(60%)**	Excelente acceso durante todo el año. Pendiente leve, excepto rampa final con pendiente de 20% y sin grava 50%	Excelente acceso durante todo el año. Pendiente < 10%, sin grava o lastre 50%	Acceso limitado durante periodos muy lluviosos, sin lastre 30%
Drenaje, alcantarillas, cunetas y bombeo de caminos **(20%)**	No aplica 20%	No hay alcantarillas, ni cunetas, pero si drenajes 10%	Algunas alcantarillas, drenajes y puentes. No hay bombeo ni cunetas 10%
Cercas de protección **(10%)**	En estado aceptable en colindancia 5%	No aplica, si colinda con vía pública 10%	No aplica, si colinda con vía pública 10%
Cortafuegos **(10%)**	No hay 0%	No aplica 10%	No hay 0%
Calificación general	**75%**	**80%**	**50%**

2.2 Evaluación de la preparación del sitio de plantación

Esta verificación se subdivide en tres categorías, como se muestra a continuación.

Con el desarrollo de las tecnologías espaciales y el uso de imágenes obtenidas a partir de vuelos de dron, se podrá aportar desde una perspectiva aérea el estado de la preparación del sitio y se complementará con la información tomada en campo. El manual de Capacidad de Uso de la tierra podrá ser de utilidad para revisar otros criterios de evaluación.

Figura 2. Monitoreo aéreo de preparación de sitio para el establecimiento de una plantación clonal de melina, Pital, Zona Norte de Costa Rica.

2.2.1. Muy buena o excelente preparación del terreno corresponde con sitios completamente limpios, libre de residuos de gran volumen, no hay presencia de charrales, ni de plantaciones anteriores o de actividad agrícola previa. La vegetación anterior está debidamente organizada en franjas pequeñas, que no sacrifican más de un 10% del área neta de la nueva plantación y hay presencia de árboles remanentes con sombra de bajo efecto. Sitios con drenajes bien establecidos cuando corresponda y con una preparación del suelo acorde con las limitaciones presentes. Dentro de la preparación del suelo se incluyen actividades como el subsolado y el uso de rastras para reducir procesos de compactación y el lomillado en sitios excesivamente húmedos y con suelos de poca

profundidad efectiva (Figura 3). Adicionalmente se considera positiva la aplicación de enmiendas (cal) en sitios con problemas de acidez.

Importante también, la inclusión de obras de conservación de suelos en sitios con pendiente superior al 10-15% (gavetas o trincheras, trampas de agua Figura 4), miniterrazas alrededor del árbol, líneas de vegetación o residuos distribuidos de forma transversal a la pendiente, entre otras acciones.

Importante mencionar que existen suelos de uso agrícola que son sometidos a reforestación. En estos casos puede ocurrir que las condiciones de fertilidad natural del suelo, acidez, compactación, no signifiquen una limitante para el desarrollo de la plantación. Por tanto, los criterios de evaluación de la calidad de preparación del terreno se deben orientar hacia la eliminación de otros factores limitantes, como presencia de drenajes en terrenos planos, obras de conservación de suelos, entre otros.

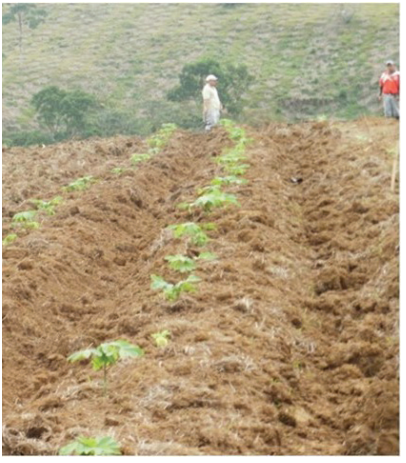

Figura 3. Plantación de almendro (*Dipteryx oleifera*) con preparación de terreno total y lomillado para el control de la humedad excesiva del suelo en Sarapiquí, Zona Norte de Costa Rica con 4000 mm de precipitación anual (Foto Ernesto Prado, BaumInvest)

Figura 4. Gaveta o trampa para reducir la velocidad del paso del agua en terrenos con pendiente > 10% (foto ilustrativa en plantaciones de café, Valle Central de Costa Rica).

2.2.2. Preparación buena o aceptable se define como aquel sitio donde aún se observa presencia de vegetación, residuos en menos de un 15% del área neta, árboles remanentes de regeneración natural que ejercen alguna sombra (Figura 5), sitios compactados donde no se pudo realizar alguna labor de subsolado o de rastreado del terreno. Se incluye aquí sitios que han sido plantados mediante el uso de hoyadora.

En la Figura 5 se puede observar una plantación con buena limpieza de terreno en condiciones de difícil acceso y con una labranza mínima. En el sitio permanecen algunos árboles aislados de regeneración natural en los pastizales, con copa pequeña que no representa una sombra limitante para el desarrollo de la nueva plantación.

En esta categoría se incluye sitios que no hayan incluido obras de conservación de suelo.

Figura 5. Sitio con preparación buena o aceptable para plantar. Se puede observar presencia de algunos árboles remanentes en pie, un pasto bajo en la entrecalle y una muy buena rodajea química. Sarapiquí, Zona Norte de Costa Rica. El sitio fue previamente encalado.

2.2.3. Preparación de sitio no aceptable corresponde con aquellos proyectos donde se observa vegetación o residuos en más de un 25% del área, que reducen el área neta plantable. No se observa ninguna

práctica de preparación o enmienda (encalado) del suelo, ni obras de conservación de suelos en sitios con pendiente moderada o mayor al 10%. El control de malezas es insuficiente aun cuando se haya realizado alguna labor de chapea, se observa presencia abundante de gramíneas (pasto).

En el Cuadro 3 se muestra varios ejemplos de cómo calificar la preparación del sitio de plantación, basado en experiencias en tres regiones del país.

Cuadro 3. Criterios de calificación de la preparación del sitio para plantar.

Criterio	Orotina (Pacífico central)	Guácimo (Caribe)	Los Chiles (Zona Norte)
Preparación del suelo (subsolado, rastreado, lomillado), también hoyado con máquina (30%)	Sin preparación 0%	Sin preparación. Sitio de uso agrícola sin limitaciones de compactación. No aplica 30%	Preparación completa (Figura 3) 30%
Control de malezas. Aplicación pre-emergente en toda el área, también con rodaja química amplia (1m de radio) (25%)	Aplicación de pre-emergente en toda el área 25%	Rodajea química de 1 m de radio. Pasto fue reducido previamente con ganado (Figura 5) 15%	Aplicación de pre-emergente en toda el área (Figura 3) 25%
Limpieza completa del terreno o presencia baja de residuos ordenados en hileras. Presencia baja de árboles remanentes (15%)	Terreno barrido con maquinaria, vegetación acumulada en orillas. Sin árboles remanentes 15%	Vegetación eliminada y acordonada en hileras cada 25-30m. Permanecen algunos árboles remanentes con copa alta 10%	Vegetación movilizada del área efectiva y reducida con fuego controlado 15%
Reducción de Área Neta causada por presencia de vegetación, residuos, árboles de sombra (15%)	Pérdida de área neta producto de residuos acumulados en orillas 7,5%	Pérdida baja de área neta causada por residuos acordonados en hileras 10%	Sin pérdida de área neta 15%
Obras de conservación de suelos y construcción de drenajes (10%)	Sin obras de conservación de suelos. Terreno con pendiente <10% 10%	Sin obras de conservación de suelos. Construcción de drenajes 10%	Sin obras de conservación de suelos, ni drenajes 0%
Encalado (5%)	Sin encalado 0%	Sin encalado, análisis de suelos determina que no fue necesario 5%	Sin encalado 0%
Calificación	**57,5%**	**80%**	**85%**

2.3 Evaluación de la calidad de las plantas

2.3.1 Procedimiento de muestreo

El muestreo se puede realizar con parcelas temporales en forma de "L" como se muestra en la Figura 6, que permite registrar 20 posibles plantas, que es una buena cantidad de observaciones por parcela (Murillo & Badilla 2015). Tiene como ventajas la ausencia de efecto de borde, no requiere cinta de medición de apoyo y captura árboles tanto en las hileras, como en las filas (alta representatividad). Este método consiste en establecer una parcela por hectárea a partir de algún procedimiento de inicio aleatorio y luego continúa de manera sistemática (cada 100m). Para ubicar la primera parcela el técnico se debe posicionar en una esquina u orilla de la plantación a la par del árbol más próximo. Se elige un número aleatorio del 1 al 9, por ejemplo # 7; se procede entonces a avanzar contando los árboles presentes hasta localizar al árbol # 7. Este será el punto de inicio o vértice de la parcela "L" (en color amarillo) La siguiente parcela de muestreo se ubicará cada 25 plantas o 100 m de distancia. Este tipo de parcela se podrá utilizar mientras no se haya efectuado un raleo. En plantaciones de mayor edad se deberá utilizar el método de árboles individuales para lotes pequeños (< 6 ha, Murillo *et al*., 2011) o parcelas convencionales de 500 m^2 (20 x 25m) para lotes de mayor superficie.

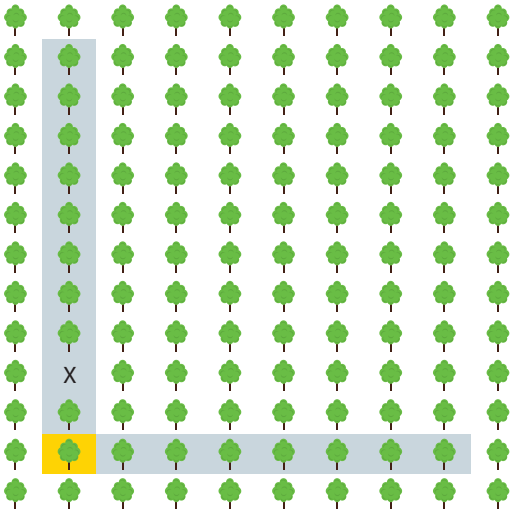

Figura 6. Parcela de de muestreo en "L" modificada con 10 árboles en la columna y 9 en la fila, para una sobrevivencia en este ejemplo de 19/20 o un 95% (Rojas 2014). En recuadro amarillo, árbol esquinero de la parcela.

2.3.2 Calificación de la calidad de planta inicia con la evaluación de su origen genético o certificación del grado de mejoramiento genético (Cuadro 1), para luego revisar en campo la calidad de la planta que llegó al sitio de plantación. Ocurre con frecuencia que la planta salió con buenas características del vivero o invernadero, y sufrió daños físicos durante el transporte o durante la manipulación al momento de plantarla en el terreno.

A cada planta incluida en la muestra se le evalúan todos los criterios tal y como se indica en el Cuadro 4. Los primeros cinco criterios de izquierda a derecha son para verificar la calidad de la planta que llegó a campo, que se califican con un "1" en cada variable cuando es una planta idónea. Se procede entonces a evaluar cada una de las cinco variables, para luego obtener una única calificación denominada **Calidad de Planta (**Figura 7, Cuadro 4**)**. Esta se convierte en una nueva variable que se califica en una escala de 1 a 3. Donde un valor de "1" corresponde con una planta de la más alta calidad o idónea y un valor de "3" para una planta no aceptable para plantar, que deberá ser desechada.

Se inicia con la evaluación del tamaño de la planta; si esta supera 30-35 cm de altura puede dañarse durante el transporte y en las labores de plantación. Una planta excesivamente pequeña (< 15 cm) tiene un riesgo alto de mortalidad prematura a pesar de haber sido lignificada de manera adecuada. El tamaño inadecuado de planta se califica como "2" por no ser de gravedad y recuperable con el tiempo.

Con respecto a los tres pares de hojas nuevas se asegura una alta capacidad de crecimiento inicial. Con una cantidad menor se deberá calificar como "2" a la variable global Calidad de Planta.

Siguiendo el orden de evaluación, una planta recién establecida no debe haber llegado bifurcada de vivero y se califica con "2", dado que en muchas especies es posible recuperarla mediante una poda de formación temprana.

La planta con deficiencia nutricional visible recibirá una calificación de "2", dado que es una situación corregible.

Finalmente, la sanidad de la planta es de suma relevancia y discriminante, que podrá afectar la calificación hasta bajar a Calidad de Planta 2 o 3, dependiendo de la gravedad. A edad temprana se puede presentar ataque

de grillo y hormiga, que podría ser tan severo como para amenazar la sobrevivencia de la planta. El técnico deberá valorar la gravedad del problema de sanidad y decidir en calificar como 2 o 3.

En la Figura 7 se muestra plantas clonadas de alto valor genético y con buenas características deseables para ir a campo.

Figura 7. Planta clonal de melina (*Gmelina arborea*) **(izq.)** y de pilón (*Hieronyma alchorneoides*) **(der.)** de alta calidad para su plantación en campo. Plantas con buen tamaño (15 a 25cm), al menos tres pares de hojas nuevas, sin deficiencias nutricionales, sanas, muy buen sistema radical, entre otros criterios.

En el Cuadro 4 se puede observar la información que puede ser recopilada durante la evaluación del establecimiento del proyecto. En la sección superior se registra la información general de la plantación y del entorno de la propiedad.

2.4 Evaluación de la calidad de establecimiento o de la siembra inicial

Se determina mediante la evaluación de los cinco criterios tal y como se muestra del lado derecho en el Cuadro 4.

De igual manera, en cada planta dentro de la muestra o parcela se evalúa cada uno de estos criterios que al final se integran en una variable denominada **Calidad de Establecimiento**, con valores de 1 a 3. La calificación de "1" corresponderá con plantas donde los cinco criterios se cumplieron correctamente. Si alguno de los criterios recibió una calificación de "2", la variable **Calidad de Establecimiento** recibirá un valor de "2" o de "3", dependiendo de la gravedad del criterio. Una calificación de calidad de establecimiento "2" implica un error menor de siembra que la planta podrá superar al poco tiempo. Por el contrario, una planta calificada con un valor de "3", implica que fue establecida de manera inaceptable, no recuperable, por tanto, una planta que no contribuirá con los objetivos de producción.

El procedimiento inicia con la presencia/ausencia de la rodajea, preferiblemente con al menos 1m de diámetro alrededor de la planta. En la Figura 5 se puede observar un excelente ejemplo de rodajea química. Se continúa con la revisión de la rectitud de la planta, donde una inclinación severa es un criterio descalificante (Figura 8 arriba-derecha y abajo-izquierda). El daño mecánico se refiere a una planta quebrada o deshojada como resultado de la manipulación durante el transporte o la siembra. Se calificará con un "2" si el daño mecánico se podrá recuperar con el tiempo. La planta sembrada en riesgo de inundación deberá calificarse con un valor de "3", ya que el agua se podrá encharcar y provocar muerte prematura (Figura 9). La planta con el Jiffy expuesto evidencia que el hoyado se realizó a muy baja profundidad y posiblemente, se asocie con una planta floja, que también debe considerarse como criterio descalificante por su alto riesgo de muerte prematura.

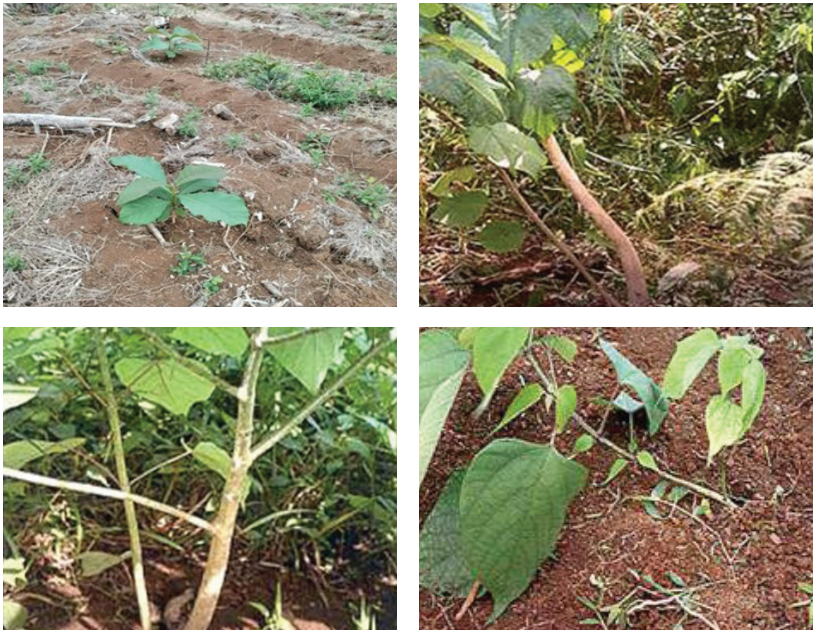

Figura 8. (Izq. superior) Plantas de teca (*Tectona grandis*) bien establecidas en campo. Puede observarse que no presenta daño mecánico (deshojado, descopado), no están inclinadas ni con daño en el ápice, no presentan riesgo aparente de inundación por encharcamiento. (Der. superior) Planta severamente torcida con **Calidad de Establecimiento** "3". (Izq. Inferior) planta de melina (*Gmelina arborea*) bifurcada (calidad 3) que requerirá de poda de formación. (Der. inferior) planta pisoteada y dañada (calidad 3).

Cuadro 4. Criterios de evaluación de la calidad de plantas y de la calidad del establecimiento de plantaciones forestales (adaptado de Murillo, Badilla & Gallegos 2003).

Finca: La Unión	**Lugar: Río Jiménez, Guácimo, Caribe**
Propietario: Sergio Arias	Técnico: Yorleny Badilla
Parcela: #1 Lote: Monoclonal	Área lote: **1,5 ha** Especie: **melina** (Gmelina arborea)
Fecha de Plantación: 13 Febrero 2024	Fecha de evaluación: 13 Marzo 2024
Acceso y entorno: excelente	Preparación de sitio: aceptable
Origen de plántulas: **Invernaderos del TEC San Carlos, Zona Norte**	
Origen genético de las plantas: **clones de melina (categoría Certificada B plus)**	
Distancia entre 6 árboles (Hilera): 20,5 m	Distancia entre 6 árboles (Fila): 17,75m

Planta	Altura (cm)	Pares hojas	Bifurcación 1 o 2	Deficiencia Nutricional 1o 2	Sanidad 1 a 3	Calidad planta 1 a 3	Rodajea 1 o 2	inclinado 1 o 2	Daño mecánico 1 o 2	Riesgo Inundación 1 o 2	Planta Floja 1 o 2	Calidad del Establecimiento 1 a 3
1	18	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	12	3	1	1	1	3	1	1	2	1	1	2
3	17	3	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
4	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
5	16	3	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
6	17	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	18	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	19	3	2	1	1	2	1	1	2	2	1	3
20	18	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total						n=11 n2=7 n3=1						n=13 n2=5 n3=1

Figura 9. (Izq.) Planta de teca con el Jiffy expuesto. (Der.) Planta de teca con Jiffy expuesto y con agua encharcada alrededor (riesgo de inundación).

El formulario de campo podría ser simplificado como se muestra en el Cuadro 5, una vez que el personal técnico esté debidamente calificado.

Cuadro 5. Evaluación de **Calidad de Planta** y **Calidad de Establecimiento** de la plantación forestal.

Árbol	Altura total (cm)	Calidad planta 1 a 3	Calidad Establecimiento 1 a 3
1	18,0	1	1
2	12,0	3	1
3	17,0	1	1
4	X	X	X
5	16	2	3
...	...	...	...
n1=		11	13
n2 =		7	5
n3 =		1	1

Con los resultados puede realizarse un análisis simple para determinar tanto la Calidad de Planta como la Calidad de Establecimiento.

La Calidad de Planta en este ejemplo será entonces

$$\frac{n1 * 1 + n2 * 2 + n3 * 3}{n1 + n2 + n3} = \frac{11 * 1 + 7 * 2 + 1 * 3}{19} = 1{,}47$$

Que en la escala de 1 a 100 será = **(1+(1-1,47)/2)*100 = 76,5** que puede considerarse como aceptablemente buena.

Mientras que la Calidad de Establecimiento, para el mismo ejemplo, se evalúa de la siguiente manera:

Donde n1 = 13; n2 = 5 y n3 = 1:

Donde n1 = 13; n2 = 5 y n3 = 1: $= \frac{15 * 1 + 5 * 2 + 1 * 3}{19} = 1{,}37$

Si transformamos este valor de 1,4 en una escala de 1 a 100 para facilidad de análisis e interpretación = **(1+(1-1,37)/2)*100 = 81,5,** que es una calificación muy buena.

3. Distanciamiento de plantación planeado versus real en campo

Esta variable es de gran utilidad para identificar otro tipo de problemas, como el del cumplimiento con el diseño planificado de la plantación. El distanciamiento de una plantación busca establecer diferentes niveles de competencia entre los árboles (manejo de la densidad), con lo cual se pretende lograr una determinada tasa de crecimiento, dimensiones de los árboles y calidad del fuste. Por lo tanto, es importante asegurar que se cumpla el distanciamiento planificado, sin duda un importante criterio de calidad. Por ejemplo, una diferencia entre un espaciamiento de 4 x 4m y 4 x 3,5m, puede tener un impacto mayor al esperado. Esta ligera diferencia de tan solo 0,5 m de distancia entre árboles, significan 90 árboles/ha de diferencia o un 14,5%. Si se plantan 90 árboles más por hectárea repercutirá en un menor crecimiento del DAP, mayor calidad de fuste y provocar la necesidad de un raleo un año previo a lo planeado, con menor valor comercial. Más árboles implicará también una mayor cantidad de plantas y mayor costo de establecimiento. El efecto contrario ocurrirá cuando se plantan menos árboles a lo planeado. El mayor crecimiento del DAP posiblemente no compense el faltante de árboles en la productividad. Un buen criterio es que una plantación logre plantar un +/- 95% del número de árboles por hectárea planificado.

Otro fenómeno asociado ocurre en terrenos con pendiente moderada a fuerte (> 20%), que puede dificultar mantener la fidelidad en la distancia de siembra entre árboles y entre calles. Esta distorsión requiere de una corrección en la distancia de plantación conocida como banqueo, que por lo general no se acostumbra que se practique. Si se mantiene el mismo distanciamiento sin corrección y se plantan los árboles sobre la pendiente, aumentará la cantidad de árboles por hectárea (Cuadro 6). Esto podría causar una distorsión aunque leve en la densidad de plantación planificada.

Con base en estos criterios es también posible analizar el distanciamiento inicial promedio con criterios de tolerancia y rechazo. En el Cuadro 7 se muestra los criterios de tolerancia sugeridos, con respecto al número de árboles por hectárea y al espaciamiento inicial, para diferentes opciones de distanciamiento planeadas.

Cuadro 6. Efecto de la pendiente del terreno en el aumento de la cantidad de árboles por hectárea (N) en un espaciamiento de 4 x 3,5m.

Pendiente (%)	Número adicional de plantas por ha
10	3-4
15	7-9
20	12-16
25	19-25
30	28-36

La distancia de plantación promedio entre árboles se determina con base en la medición entre 6 individuos (Figura 10) y se realiza tanto entre hileras como entre filas. Los árboles pueden estar presentes o ausentes.

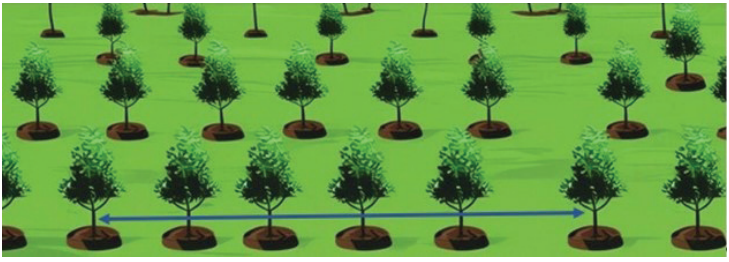

Figura 10. Determinación de la distancia promedio de plantación con base en 6 plantas, medido de centro a centro entre los individuos en ambos extremos

Cuadro 7. Criterios de tolerancia y rechazo de plantaciones con respecto al número de árboles por hectárea y al espaciamiento inicial planeado, donde la tolerancia no debe sobrepasar el 10% (Adaptado de Murillo *et al*., 2003).

Espaciamiento inicial planeado (m)	Número de árboles/ha (N)			Distanciamiento promedio tolerable entre hileras o entre árboles (m), con un 10% de error		
	Teórico	Ideal (5% error)	Aceptable (10% error)	Mínimo (m)	Máximo (m)	
3,0 x 3,0	1 111	1055-1167	1000-1222	2,70	3,30	
3,5 x 3,5	817	776-858	735-899	3,15	3,85	
3,0 x 4,0	833	792-875	750-916	2,70 x 3,6	3,30 x 4,40	
3,5 x 4,0	714	678-750	642-785	3,15 x 3,6	3,85 x 4,40	
4,0 x 4,0	625	594–656	562-688	3,60	4,40	
4,0 x 5,0	500	475–525	450-550	3,6 x 4,5	4,4 x 5,5	
5,0 x 5,0	400	380–420	360-440	4,60	5,50	
6,0 x 3,0	555	527-583	500-611	5,40 x 2,70	6,60 x 3,30	

La evaluación de este criterio se basa en determinar si el distanciamiento real en campo se ubica dentro de los márgenes de tolerancia (Cuadro 7). Si por ejemplo una plantación se planificó que fuera establecida a un distanciamiento de 3,5m x 4m, pero en campo se tiene un espaciamiento promedio real de 3,55m x 4,10m, del cuadro 7 se puede observar que ambos valores están dentro de los límites de confianza o aceptables para un error de un 10%.

Otra manera práctica es determinar si la cantidad de árboles por hectárea para este distanciamiento se mantiene entre los 678-750 (5% de error) o entre los 642-785 (10% de error). Con este ejemplo se obtiene 3,55m x 4,10m = 14,55 m^2 como área de superficie por árbol. Entonces en una hectárea habrá 10000 m2/14,55 m^2 que resulta en N = 687 árboles, que se ubica dentro de los límites del 5% de error que se considera como excelente.

Caso contrario si el distanciamiento promedio medido en campo resultara en 3,10m x 4,10m, con una superficie por árbol de 12,71 m^2,

donde corresponde con una densidad inicial de N = 10000m^2/12,71m^2 = 787 árboles/ha que supera N = 785, como límite de tolerancia con un 10% de error. En este caso se debe calificar como deficiente.

La calificación de este criterio puede realizarse con la siguiente escala:

Excelente (dentro del 5% de tolerancia) = 100

Aceptable (dentro del 10% de tolerancia) = 75

No aceptable (fuera del 10% de tolerancia) = 50

4. Área Efectiva y Área Neta Plantada

Área Efectiva.

En todo programa de reforestación, tanto para una empresa, una organización como para el Estado, es vital poder estimar ¿cuál es la superficie real efectiva plantada en cada proyecto, año, región, etc?. La mayoría de los proyectos presentan en realidad una menor área efectiva plantada de la que aparece en los registros oficiales. El desconocer este valor es perjudicial para el sistema de incentivos que promueve el Estado, al utilizar cifras sobreestimadas de lo reforestado, que pueden conducir a la formulación de planes de desarrollo forestal no realistas. Para el dueño de la plantación o la organización de productores puede ser aún peor, ya que el registro de un Área Efectiva sobreestimada provocará un faltante de madera al momento del raleo o cosecha.

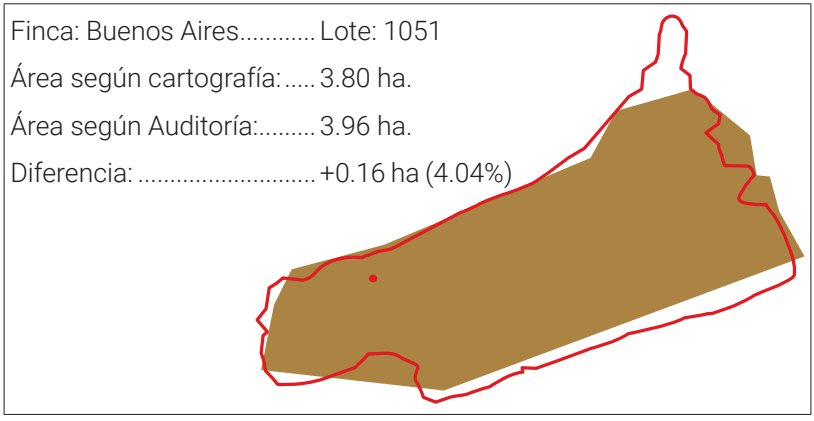

Figura 11. Verificación de área efectiva plantada en un lote de teca en una empresa forestal (Gamboa 2023).

La estimación del Área Efectiva plantada se realiza hoy día de manera práctica y precisa con ayuda de los GPS o del dron (VANT). Se recorre la periferia del lote o área reforestada para determinar el área efectiva del polígono. En la figura 11 se muestra en un lote de teca evaluado por auditoría (área oscura), donde la verdadera forma y superficie plantada en campo había sido subestimada en un 4%.

Por lo general es difícil que un proyecto logre plantar más de un 85% del terreno designado para reforestación, aún en lotes con topografía plana o plana ondulada que estuvieron previamente bajo uso agrícola o ganadero.

Área Neta.

Esta se define como la superficie de plantación **dentro** del Área Efectiva que está **cubierta con plantas**. Se excluye entonces la superficie destinada a caminos, drenajes naturales o artificiales, pequeños claros, mortalidad y cualquier otra vegetación o utilización del espacio dentro del área efectiva, que no esté ocupada con plantas (Figura 12). Podría decirse que el área neta cubierta con plantas es el estimado más cercano de la producción real a obtener de una plantación forestal a futuro. Este criterio es relevante y puede ser razón principal para explicar por qué en la cosecha se obtiene menos volumen comercial que el esperado. Con un sistema de inventario basado solamente en parcelas permanentes de medición, difícilmente se logrará determinar el área neta plantada. El uso de las tecnologías basadas en drones podrá ser de gran utilidad para estimar el área neta plantada. Su estimación se puede determinar de varias maneras.

a) Mediante el método de muestreo por plantas individuales. Este método es funcional en lotes menores a 5-6 ha, aunque hay experiencias con mayor superficie (Rojas 2014). Este método sistemático permite determinar directamente el área neta plantada de manera precisa. El muestreo inicia aleatoriamente con un número del 1 al 9, que corresponde con una planta en cualquier parte de la plantación. Para este ejemplo se utilizó el # 5, que es la planta de inicio del muestreo, localizada en la esquina superior izquierda de la Figura 12 (**"X"**). En estudios previos para el desarrollo de esta metodología, se demostró que con una muestra de un 4% de la población presente se obtiene un error de muestreo inferior al 5% (Murillo *et al*. 2013). Por tanto, desde este punto de arranque **X** se continúa evaluando cada 25 individuos (4% de la población) que se define como la Frecuencia de Muestreo (FM). Las 4 plantas iniciales anteriores a la **planta de inicio "X"** se contabilizan como saldo inicial. Se continúa avanzando bajando por la columna contabilizando únicamente las plantas en pie (las celdas con "x" son plantas faltantes) hasta llegar a la 25ava planta que será nuestra primera muestra **#1**. En cada planta incluida en la muestra se contabiliza cuántas

de las 8 vecinas siguen vivas. Obsérvese que en la muestra #1 hay 6 plantas vecinas. Se continúa avanzando hasta el final de la columna y se regresa por la siguiente columna hasta recorrer toda la plantación. Para este ejemplo se localizaron 28 individuos (n). El número total de plantas vivas del lote (censo) será entonces 28 muestreados por 25 (FM) + 4 iniciales + 3 de saldo final = 700 + 7 = 707 plantas.

Puede observarse que el método de forma precisa excluirá sectores con mortalidad, con lo que permitirá obtener al final un muy buen estimado de Área Neta cubierta con plantas.

El conteo de las plantas vecinas alrededor de cada planta muestreada estimará la mortalidad, mediante la relación n/9 en plantaciones regulares y n/6 en distribución en tresbolillo. Por ejemplo, si se obtuvo en promedio que había 6,35 plantas alrededor de cada una de las 28 muestreadas, entonces de 6,35 + 1 (árbol muestra) = 7,35 vivas de 9 plantas originales. Por tanto, esta plantación registra una sobrevivencia del 81,7%.

Si el espaciamiento inicial fue de 4 x 3m = 12 $m^{2,}$ se puede entonces obtener un estimado del área ocupada por árboles en el lote o Área Neta (AN), que para este caso fue de 707 plantas x 12 m^2 = 8 484 m^2. Para estimar el Área Efectiva se debe ajustar el Área Neta por la sobrevivencia que fue de un 81,7%. Por tanto, el Área Efectiva (AE) originalmente plantada fue de (100 * 8 484m^2) / 81,7 = 10 384 m^2.

En sitios donde no se establece con claridad las líneas de plantación, o se planta de manera irregular con distanciamientos variables, el uso de este procedimiento basado en árboles individuales podría tener limitaciones. Lo mismo sucederá cuando la maleza existente limite el paso fluido dentro de la plantación. En esos casos, el procedimiento de muestreo debe ser realizado con parcelas convencionales de superficie conocida (ejemplo, 20 x 25m o 500 m^2). Se debe entonces establecer al menos una parcela de muestreo por ha.

b) Mediante el uso de imágenes de satélite o de drones (Figura 13), se puede determinar la superficie efectivamente plantada y excluir todos los espacios no ocupados con plantas. En esta figura se puede observar una mortalidad severa en la plantación, donde ocurrió una pérdida de plantas por sectores que redujeron el Área Neta en aproximadamente un 20%.

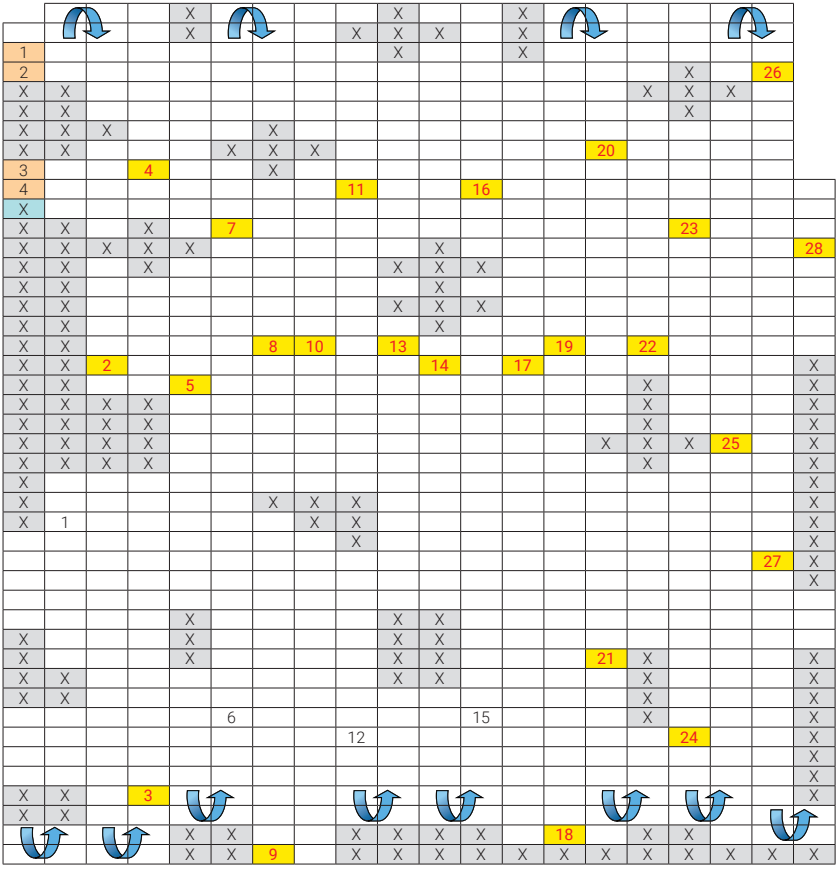

Figura 12. Procedimiento de muestreo con árboles individuales recomendado para plantaciones o lotes con una superficie menor a 5-6 ha (Rojas 2014, Murillo & Badilla 2015). Los espacios con **"x"** corresponde a árboles faltantes.

Área Efectiva x Área Neta plantada.

Surge de este análisis de manera obvia, la posibilidad de utilizar ambos criterios, que podrían crear un criterio de gran valor en materia del inventario forestal en proyectos de reforestación. Para un inversionista o un productor debe ser de interés determinar con mayor precisión la superficie real que tiene bajo plantación, y dentro de ésta, cuánto realmente está creciendo como un cultivo de madera. Si se estima como un buen ejemplo, que una finca logra plantar una Área Efectiva de un 60% de la propiedad, y dentro de ésta un 80% está realmente cubierta con árboles productivos, se obtiene que un 48% o menos del 50% de la propiedad está realmente en producción forestal. El desconocimiento de esta información puede ser una de las causas de sobreestimación en los proyectos de inversión forestal.

Figura 13. Obsérvese la pérdida de área neta con plantas causada por mortalidad dentro del área efectiva, en una plantación de laurel (Cordia alliodora), Zona Norte de Costa Rica.

En el Cuadro 8 se muestra cómo interpretar la calificación de un lote plantado en relación con la proporción de Área Neta plantada.

Cuadro 8. Criterios de calificación de la calidad de una plantación con base en la proporción de área neta cubierta con árboles.

Mayor al 90%	De 80 a 90%	De 70 a 80%	Menor al 70%
Excelente o 100%	Muy bueno o 85%	Aceptable o 75%	Deficiente o 50%

Evaluación final del proyecto

Con base en todos los criterios evaluados se procede a obtener una calificación global de la calidad del establecimiento de la plantación, como se muestra en el Cuadro 9. Se utilizará como ejemplo la plantación clonal de melina establecida en Río Jiménez de Guácimo, Caribe del país (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 9. Calificación Global de la calidad de establecimiento de la plantación. En negrita el peso relativo de cada criterio.

Criterios de evaluación	Evaluación
Calidad del material genético utilizado (clones) **(15%)**	**80**
Acceso y seguridad del entorno de la plantación **(10%)**	**80**
Preparación del sitio de plantación **(25%)**	**80**
Calidad de plantas **(15%)**	**76,5**
Calidad de siembra de árboles **(20%)**	**81,5**
Distanciamiento de plantación **(5%)**	**100**
Área Neta plantada **(10%)**	**80**
Calificación global de la calidad de establecimiento de la plantación = 75*0,15+80*0,10+80*0,25+76,5*0,15+81,5*0,20+100*0,05+80*0,10	**80,77**

En este ejemplo, se evaluó una plantación con excelentes condiciones de sitio con pocos factores limitantes a excepción del exceso de humedad. La plantación fue preparada y establecida correctamente, con observaciones menores en cuanto a la limpieza del terreno. La calificación de un 80,77% debe considerase como muy buena. Valores superiores al 70% pueden tomarse como ejemplo de plantaciones bien establecidas. Futuras investigaciones podrán revisar el peso asignado a cada uno de los siete criterios de evaluación de esta metodología, así como la inclusión o eliminación de algunos de ellos.

Cuadro 10. Formulario de evaluación de la calidad del establecimiento de la plantación forestal (adaptado de Murillo, Badilla & Gallegos 2003).

Finca: **La Unión**	Lugar: **Río Jiménez, Guácimo, Caribe**
Propietario: **Sergio Arias**	Técnico: **Yorleny Badilla**
Parcela: #1 Lote: **Monoclonal**	Área lote: **1,5 ha** Especie: ***Gmelina arborea*)**
Fecha de Plantación: **13 Febrero 2024**	Fecha de evaluación: **13 Marzo 2024**
Acceso y seguridad del entorno: **excelente (10%)**	Preparación de sitio: **aceptable (15%)**
Origen de plántulas: **Invernaderos del TEC San Carlos, Zona Norte**	
Origen genético de las plantas: **clones de melina (categoría Certificada B plus) (12%)**	
Distancia entre 6 árboles (Hilera): **20,5 m (5%)**	Distancia entre 6 árboles (Fila): **17,75m**
Área Efectiva plantada: **Muy buena** 90% **(8%)**	Área Neta plantada: **Muy buena** 90%

Árbol	Altura total (cm)	Planta Calidad 1 a 3	Establecimiento Calidad 1 a 3
1	18,0	1	1
2	12,0	3	1
3	17,0	1	1
4	X	X	X
5	16,0	2	3
...	...	...	...
n1=		11	13
n2 =		7	5
n3 =		1	1

Literatura

Alfaro, A. 2005. Optimización de la estratificación de fincas y asignación de parcelas permanentes en la empresa Flor y Fauna, San Carlos, Alajuela. Práctica de Especialidad. Escuela de Ing. Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 79p.

Badilla, Y.; Murillo, O. & Obando, G. 2002. Efecto de la zona de vida y la altitud en la mortalidad y adaptabilidad al primer año de especies forestales en la Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Agronomía Costarricense 26(1): 7-15.

Forestal Arauco S.A. 2017. Prescripciones Técnicas MANTENCIÓN DE CAMINOS. Unidad de Caminos. Chile. 12 p.

Gamboa, J.P. 2023. Validación de una metodología de avalúo para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.). Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 59 p.

Garro, L., Murillo, O., Guevara, M., Moya, R., Badilla, Y., Rodríguez, M., & Villalobos, V. 2025. Manual de cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lamb) Urban)). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ing. Forestal. Taller de Publicaciones. Cartago, Costa Rica. 51 p.

Guevara, Mario, Murillo, Olman, Badilla, Yorleny, & Rodríguez, María. 2025. Cultivo del Laurel (*Cordia alliodora*). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ing. Forestal. Taller de Publicaciones. Cartago, Costa Rica. 51 p.

Méndez, D., Murillo, O., Badilla, Y. & Hernández, W. 2021. Genetic tolerance to *Ceratocystis* wilt in melina (*Gmelina arborea* Roxb.). Silvae Genetica (70): 195 – 204.

Méndez, D., Badilla, Y., Murillo, O., & Ferreira, R. 2023. Genetic resistance to *Ceratocystis fimbriata* in elite genotypes of *Gmelina arborea*. Agronom. Mesoamericana Volumen 34(3): doi.org/10.15517/am.2023.52968

Montoya, A. 2005. Restructuración de la red de parcelas permanentes de la empresa Expomaderas S.A. Práctica de Especialidad. Escuela de Ing. Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 89p.

Murillo, O. 1991. Metodología para el control de calidad en plantaciones forestales. Tecnología en Marcha 11(1): 19-30.

Murillo, Olman & Camacho, Pablo. 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones recién establecidas. Agronomía Costarricense 21 (2):189-206.

Murillo, O. 2000. Índices de calidad para la reforestación en Costa Rica. Agronomía Costarricense 24 (2): 41-48.

Murillo, O., Badilla, Y. & Gallegos, A. 2003. Calidad en el Establecimiento de Plantaciones Forestales. Manual. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 36 p.

Murillo, Olman. & Badilla, Yorleny. 2004. Calidad y valoración de plantaciones forestales. Manual. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 51 p.

Murillo, O., Badilla, Y., & Morales, M. 2011. Método de inventario para plantaciones pequeñas. En: V Congreso Forestal Latinoamericano. 18-21 octubre, 2011, Lima, Perú.

Murillo, Olman & Badilla, Yorleny. 2015. Consultoría. Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago de servicios ambientales para la medición de la biomasa, para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. FONAFIFO. San José, Costa Rica. 108 p.

Murillo, O., Guevara, M., Badilla, Y., & Esquivel, E. 2025. Manual de cultivo de melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en ciclo corto. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ing. Forestal. Taller de Publicaciones. Cartago, Costa Rica. 56 p.

Murillo, O. & Badilla, Y. En prensa. Calidad de la Plantación Forestal. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 132 p.

Oficina Nacional de Semillas. 2012. *Reglamento Técnico para la Certificación de Semillas y Plántulas de Especies Forestales*. 2da Versión. San José, Costa Rica.

Rojas, Odir & Murillo, Olman. 2000. Calidad de las plantaciones de teca en la Península de Nicoya, Costa Rica. Agronomía Costarricense 24 (2): 65-76.

Rojas, J. 2014. Sistema de inventario forestal contínuo para reforestación Grupo Internacional RGI S.A., zona norte, Costa Rica. Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 78 p.

Vargas, L. 2005. Ordenamiento y desarrollo de un Sistema de Información para las fincas del Grupo Eco-DIRECTA. Práctica de Especialidad. Escuela de Ing. Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 48 p.