

METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA CALIDAD DE PLANTACIONES FORESTALES RECIEN ESTABLECIDAS¹

Olman Murillo ²/_{} y Pablo Camacho**

RESUMEN

Se presentan los detalles de la metodología de evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. La metodología está orientada a proveer información sobre el potencial de la plantación y su posibilidad de cumplir con los objetivos futuros de producción, a través de la respuesta de las siguientes 3 preguntas: ¿Cuál es la calidad de los plántones o material utilizado en la siembra? ¿Cuál es la calidad de la ejecución de la siembra? ¿Cuál es la densidad real y cobertura efectiva del área reforestada? Se presentan en forma detallada los procedimientos del sistema de muestreo sistemático con parcelas circulares fijas a utilizar. Se incluyen los aspectos relacionados con el tamaño de parcela e intensidad de muestreo para distintas posibles condiciones de plantaciones forestales. Detalles del procedimiento de ubicación de las parcelas y fajas de muestreo son también descritas a fondo. La metodología continúa con la descripción de cada una de las variables a evaluar, tanto generales como específicas, así como con los criterios de calificación de los plántones. Las principales variables incluidas en la metodología son: Generales: Estado Actual del Mantenimiento de la plantación. Específicas: Rodajeas, Altura Total, Inclinação, Bifurcación, Daños Mecánicos, Estado Fitosanitario, Mortalidad, Distanciamiento Promedio de Plantación, otros criterios, y una variable englobadora llamada Calidad del Plánton. Se continúa con el análisis estadístico de las variables, separando entre variables discretas y continuas, así como su debida interpretación. Para todos los casos se presentan los respectivos ejemplos resueltos así como los criterios de rechazo y aceptación para cada una de las variables determinantes de la calidad de una plantación forestal. Se concluye sobre la practicidad y objetividad de la metodología y su gran beneficio para la toma de decisiones oportunas en proyectos de reforestación.

ABSTRACT

Methodology to evaluate site quality of recently established forest plantations. The details about the methodology of quality control on recently established forest plantations is described. This methodology is oriented to provide the information on the potential of the plantation and its possibilities to accomplish, in the future, the production objectives through answering the following 3 questions: Which is the seedlings quality utilized in this plantation?. Which is the quality of the planting-work being done?. And Which is the current stock density and the effective area-coverage with trees being established?. It is presented a detailed systematic sampling system with fixed circular point plots. Details about plot size, sampling intensity and plots and sampling-lines allocation are described accordingly with different plantation conditions. The methodology continues with the variables description and its qualification criterion. There are one general variable (Current Maintenance Status), and several specific ones: Individual Tree Weeds-Free Area, Total Height, Seedling Bent, Forking, Mechanical Damages, Sanitary Status, Mortality, Average Planting Distance, and a general Seedling Quality Class. It continues with the statistical analysis for both, the discrete and continuous variables; and then, with the respective data interpretation. In all cases are presented examples with real data and for the key variables, the rejection and acceptance criterion. It is concluded that this methodology allows to obtain objective information, which is key to forecast the accomplishment of the plantation goals or to assists in the decision-making.

1/ Recibido para publicación el 11 de julio de 1996.

2/ Autor para correspondencia.

* Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

INTRODUCCION

El desarrollo de la silvicultura de plantaciones esta sin duda basada en la productividad y retribuciones económicas que ésta le pueda dar al inversionista. Como opción del uso de la tierra compite con los cultivos anuales, ganadería, y otras, que tienen flujos financieros muy atractivos y a un mucho menor plazo. El retorno económico a mediano y largo plazo (entre 10 y 25 años dependiendo de la especie, calidad de sitio y los objetivos de producción), le exige a la actividad de la reforestación niveles altos de rentabilidad y en especial, de garantía de logro de objetivos de producción. Es por estos elementos, aunados al reciente cambio en el sistema de reforestación de incentivos por sistema de crédito, que se hace imprescindible contar con instrumentos y herramientas que le permitan al silvicultor evaluar a temprana edad, el estado de la calidad de una plantación forestal, o de las labores silviculturales realizadas y no esperar hasta el final de la rotación o cosecha final, para encontrarse con que no se lograron alcanzar las metas de producción esperadas.

Bajo estos principios se inició el desarrollo de una metodología para la evaluación de plantaciones forestales (Murillo 1991a), que fue luego enriquecida durante un primer taller nacional organizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica para tal fin (Camacho y Murillo 1992). Posteriormente, se continuaron otras experiencias en distintas regiones del país y con prácticamente todas las especies utilizadas hoy día en reforestación (Murillo y Camacho 1992, Murillo et al. 1992, Porras 1993, Hidalgo 1994, Montero 1995, Camacho 1995, Torres et al. 1995), que vinieron a mejorar sustancialmente su aplicabilidad y validez. En general, su mayor aporte está en que le permite al silvicultor poder separar con un nivel alto de certeza, los efectos que pudo haber ocasionado una mala asistencia técnica a la plantación (efecto silvicultural), del uso de material inicial (semilla) de mala calidad para ese sitio (efecto genético). El impacto en la calidad de la reforestación por el uso de semilla no seleccionada ha sido ya investigado y divulgado en el país (Murillo 1991b). En plantaciones de *Gmelina arborea* en Guanacaste, la diferencia encontrada en productividad (m^3/ha) ha sido de casi 3 veces entre una plantación establecida con o sin semilla seleccionada (Murillo

1992a, Murillo 1992b), situación que motivó recientemente a la Dirección General Forestal y a la Oficina Nacional de Semillas a desarrollar e iniciar un programa de certificación de semilla forestal (ONS 1994).

Sin embargo, la metodología hasta ahora utilizada permitía su uso únicamente en plantaciones ya establecidas (con más de 4 m de altura en promedio o a partir del segundo año de edad para las especies de más rápido crecimiento). Con base en los mismos principios ya ampliamente utilizados y probados en la metodología existente, se desarrolló una nueva metodología para evaluar plantaciones recién establecidas o con menos de 1 año de edad. La metodología se orienta hacia la diferenciación entre los aspectos de manejo del material, del de su calidad original, para luego pasar a estimar la calidad de la plantación y sus perspectivas a futuro. Por lo tanto plantea la evaluación a partir de tres aspectos principales:

1. ¿Cuál es la calidad de los plántones o material utilizado en la plantación?
2. ¿Cuál es la calidad del establecimiento de la plantación?
3. ¿Cuál es la densidad real y cobertura efectiva del área plantada?

La segunda pregunta es clara y totalmente un aspecto de manejo técnico del material, por lo tanto, responsabilidad directa del personal de campo. La primera pregunta es más compleja e involucra aspectos de manejo del material en el vivero forestal, de su traslado al campo y de aspectos genéticos. Sin embargo, por ser material tan joven es casi imposible con esta metodología, el poder separar el efecto genético (semilla de mala calidad) del efecto ambiental (manejo del material). La tercera pregunta se logra contestar fácilmente a partir de los análisis que se presentan en esta metodología y se incorpora luego como un insumo importante para la valoración global de la calidad de la plantación.

Se pretende por tanto en este artículo mostrar una metodología detallada, aplicada a un ejemplo concreto, de cómo es posible diagnosticar y valorar una plantación forestal desde sus inicios, y con esta información, tomar decisiones sobre si se merece continuar con el proyecto, si se requieren acciones correctivas o si se debe eliminar el proyecto.

Por último, como parte esencial de una metodología de evaluación de plantaciones se deben considerar los distintos aspectos que se relacionan con los procedimientos de muestreo y toma de datos. Fallas importantes han sido frecuentemente la nota predominante: valores de error de muestreo sumamente altos; baja representatividad de la muestra; imposibilidad de registrar alguna información como porcentaje de superficie cubierta con árboles y superficie de caminos, claros y espacios abiertos sin sembrar; dificultad en la comparación de resultados entre distintas evaluaciones de plantaciones forestales, y otros aspectos más (Murillo et al. 1992, Torres et al. 1995). Todos ellos de gran importancia que justifican el proponer un sistema de muestreo unificado, que permita precisamente reducir todas estas fallas existentes.

PROCEDIMIENTOS DEL INVENTARIO DE CAMPO

Mapa de la plantación

Para efectuar una adecuada evaluación de una plantación recién establecida, es necesario contar con un mapa o levantamiento del área plantada, que permita poder definir el número de parcelas e intensidad de muestreo a seguir, detalles de las distancias y rumbos de las transectas y fajas de muestreo, así como la distancia entre parcelas. Detalles de como hacer un levantamiento de un área no serán discutidos en este artículo, pero se puede obtener información detallada en alguna de las referencias disponibles (Cordero 1993, Spitler 1995).

Estratificación de la plantación

Como primer paso se debe revisar la necesidad de estratificar la plantación en unidades más homogéneas de acuerdo con alguno de los siguientes criterios: diferencia en edad, en especies, en condiciones topográficas (sitios planos, laderas, cóncavos, etc.), en procedencia del material (vivero o procedencia geográfica), en categorías de pendiente, en el espaciamiento inicial, en el sistema de producción (bolsa, raíz desnuda, etc.), u otros criterios. Una adecuada estratificación permite obtener subdivisiones de una plantación en compartimentos más homogéneos, que permiten reducir la

variabilidad total existente en la plantación y por tanto, permiten obtener mejores estimados con errores de muestreo más bajos. Detalles sobre una correcta estratificación pueden encontrarse en textos de inventarios forestales (Loetsch et al. 1973, Kramer y Akça 1995, Laar y Akça 1997).

Sistema de muestreo

El sistema de muestreo es del tipo sistemático utilizando parcelas circulares de tamaño fijo, ubicadas a lo largo de fajas de muestreo como se describe a continuación.

Tamaño y ubicación de las parcelas e intensidad de muestreo. Con el fin de evitar el clásico problema de los diseños de muestreo sistemáticos, al no ser estos realmente aleatorios en la ubicación de sus unidades de muestreo, se inicia el trabajo de campo con la asignación de la primera parcela, en la primera faja, bajo algún método aleatorio. A partir entonces de esta primera parcela ubicada en forma aleatoria, se continúa con el resto del muestreo en forma sistemática (Kramer y Akça 1995).

Una vez definida la estratificación de la plantación, según sea requerido, se procede a determinar la ubicación de las parcelas y la intensidad de muestreo. Las parcelas circulares han demostrado su eficiencia (menor efecto de borde), facilidad de instalación y costos con respecto a otros tipos de parcelas (Akça 1993, Spitler 1996). Las parcelas se ubican a lo largo de fajas o transectos que atraviesan la plantación (Figura 1). La distancia entre estas parcelas dentro de las fajas, así como la distancia entre fajas debe ser la misma (Kramer y Akça 1995). Para calcular esta distancia entre fajas y parcelas, deberá conocerse el área total de la plantación o estrato y el número total de parcelas a instalar. Pero para poder estimar el número de parcelas a instalar, debe definirse primero el tamaño de parcela a emplear, que permite conocer la superficie abarcada por cada unidad de muestreo y su concordancia con la intensidad de muestreo requerida.

El tamaño de la parcela dependerá principalmente de la variabilidad existente y de la densidad de plantación empleada. En terrenos muy heterogéneos o con mucha microvariación las parcelas muy pequeñas tenderán a aumentar la variabilidad entre parcelas y así también el error de muestreo. Parcelas de mayor tamaño tenderán

a incluir dentro de ellas este nivel de microvariación y por lo tanto a reducir el error de muestreo. En forma general, en plantaciones forestales se ha encontrado una óptima relación entre eficiencia de muestreo y costos de instalación cuando la parcela incluye entre 15 y 20 árboles (Akça 1993). Con base en este principio se construyó el Cuadro 1, donde se sugieren los distintos

tamaños de parcelas según sea la densidad de plantación a evaluar.

En plantaciones o estratos muy pequeños (1 a 3 ha) el tamaño del error de muestreo es normalmente muy alto, y se requiere entonces de un número mayor de parcelas para lograr estimaciones adecuadamente representativas, tal y como se sugiere en el Cuadro 2.

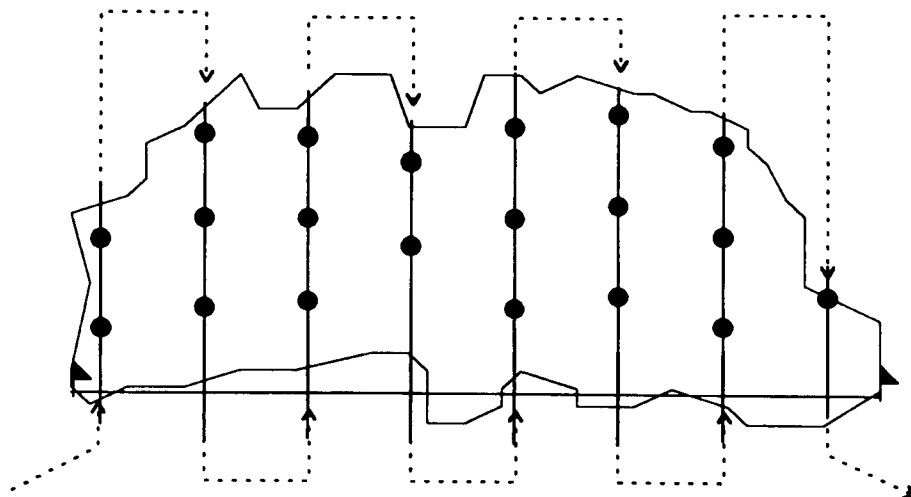


Fig. 1. Distribución de parcelas circulares en la plantación forestal, en un sistema de muestreo sistemático para la evaluación de una plantación recién establecida (Tomado de Spitler, 1995).

Cuadro 1. Tamaño de parcela circular según la densidad de plantación, para muestreos sistemáticos empleados en evaluación de plantaciones forestales.

No. de árboles/ha	600 a 800	750 a 1000	1000 a 1400	1400 a 2000	2000 a 2700
Radio de parcela (m)	8.92	7.98	6.91	5.64	4.89
Área de la parcela (m ²)	250	200	150	100	75

Cuadro 2. Intensidad de muestreo, número de parcelas por hectárea y distanciamiento entre fajas y transectos, en el muestreo sistemático con parcelas circulares de 5.64 m de radio (100 m²), para la evaluación de plantaciones forestales recién establecidas (adaptado de Spitler, 1995).

Tamaño del estrato o plantación (ha)	Intensidad de muestreo (% del área total)	Número de parcelas por ha	Distanciamiento entre parcelas y fajas (m) ¹
1 a 3	5	5.0	45
3.1 a 6	4	4.0	50
6.1 a 10	3	3.0	60
10.1 a 20	2	2.0	70
20.1 a 50	1.5	1.5	80
> 51	1	1.0	100

1. El distanciamiento entre parcelas y fajas se obtiene con ayuda de la siguiente fórmula:

$$\text{Distanciamiento (m)} = \sqrt{\frac{\text{Área}}{\text{No. parcelas}}} = \sqrt{\frac{30,000\text{m}^2 (3\text{ha})}{15(\text{parcelas})}} = 44.7\text{m}.$$

Aspectos especiales a tomar en cuenta

Arboles de borde: Únicamente se deberán incluir aquellos individuos cuyo centro de su dap (diámetro a la altura del pecho) se ubique dentro del radio de la parcela. Pero este criterio resulta impráctico cuando se trabaja con plántones recién plantados. Una práctica común es incluirlos en el 50% de los casos. Es decir, si se incluye en una parcela, no se incluirá en la siguiente parcela que aparezca un plantón de borde, y así sucesivamente.

Corrección del radio de la parcela debido a la pendiente del terreno: En sitios con pendientes menores a 20% se puede utilizar "el método del banco" a la hora de establecer la parcela. Pero en terrenos con pendiente fuerte debe incrementarse la longitud del radio de la parcela como se muestra en el Cuadro 3. La corrección del radio de la parcela se hace únicamente en la dirección de la pendiente y no en sus secciones transversales (Figura 2), de modo que la forma de la parcela se aproxime más a una elipse con sus lados más largos sobre la pendiente del terreno (Spitler 1995).

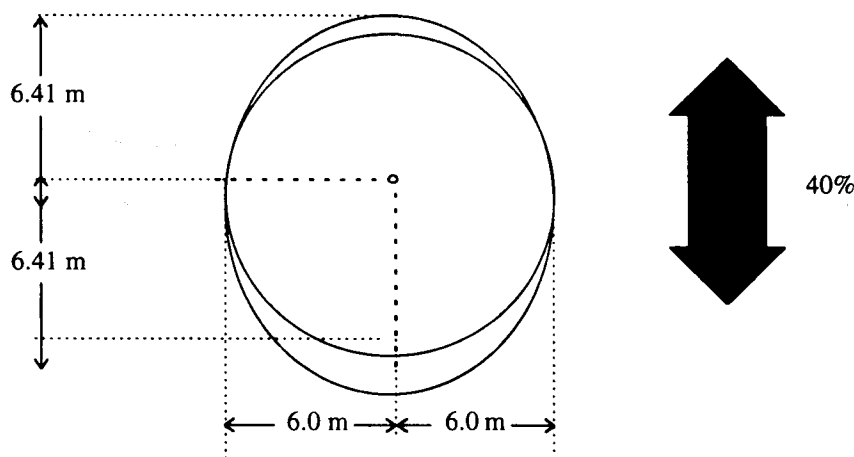


Fig. 2. Muestra de corrección longitudinal de la forma de la parcela de muestreo según la pendiente del terreno, en muestreos sistemáticos con parcelas circulares. Ejemplo para un terreno con pendiente del 40%. (Tomado de Spitler, 1995).

Ubicación de las parcelas: Se debe tener especial cuidado con la ubicación exacta de las parcelas en el campo en la medida de lo físicamente posible. Cuando una parcela corresponda con un terreno sin árboles, cualquiera que sea la causa, deberá instalarse en ese sitio y la observación será de "0" árboles. En el formulario se deberá anotar las razones visibles que expliquen la ausencia de árboles. Es-

Cuadro 3. Corrección del radio de una parcela circular, cuyo radio es de 5.64 m (área de 100 m²) según el porcentaje de pendiente del terreno (adaptado de Kramer y Akça, 1995).

Porcentaje de pendiente (en %)	Angulo de la pendiente (en grados) ¹	Radio corregido de la parcela (en m) ²
20	11.31	5.70
25	14.03	5.73
30	16.70	5.76
35	19.29	5.80
40	21.80	5.85
45	24.23	5.91
50	26.56	5.95
55	28.81	6.00
60	30.96	6.10

- $\alpha = \arctan \left(\frac{\% \text{ pendiente}}{100} \right)$
- Radio corregido = $\left(\frac{\text{radio}}{\sqrt{\cos(\alpha)}} \right)$

te tipo de información es al que precisamente permitirá posteriormente estimar el área efectiva plantada.

Cuando una parcela quede parcialmente fuera de la plantación (ubicada en el borde de la plantación), al igual que con las parcelas en sitios sin árboles, deberá establecerse en ese sitio y el área que quede sin muestrear o fuera de la plantación, se deberá compensar siguiendo el

método conocido como "Mirage" (Schmidt 1969, citado por Akça 1993) (Figura 3). Básicamente se siguen los siguientes pasos:

- Se establece la parcela con su centro donde le corresponde y se miden todos los árboles que queden dentro de la plantación.
- Se mide el segmento de radio no muestreado (segmento "A", Figura 3).
- Se establece la parcela de nuevo, en el mismo sitio, pero del otro lado del borde

de la plantación, de modo que su sección ya medida quede del lado externo.

- Se vuelven a medir, de nuevo, todos los árboles que se ubiquen dentro de esta sección de la parcela que la complementará.

Este tipo de detalles son los que al final hacen la diferencia entre un correcto levantamiento de información de campo y trabajos de dudosa calidad y representatividad.

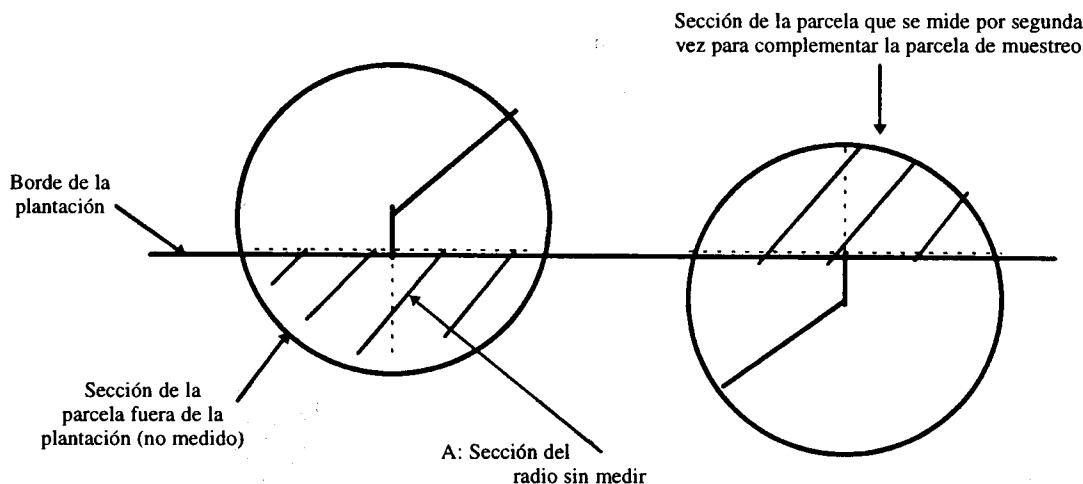


Fig. 3. Procedimiento de instalación de parcela de muestreo en el borde de una plantación, en inventarios de evaluación de plantaciones forestales (Tomado de Akça, 1993).

Rendimiento de la labor de muestreo. El levantamiento de la información de una parcela de 100 m² (radio de 5.64 m) requiere de aproximadamente 20 a 25 min, siempre y cuando el terreno se encuentre libre al paso del técnico, sea en terrenos con pendientes de menos de 20%, y se incluyan las variables de medición discutidas en este artículo. Este tiempo incluye el tiempo de traslados dentro del estrato o plantación. Si el muestreo incluye algunas otras variables adicionales, entonces este tiempo deberá ser aumentado. Este muestreo puede ser realizado por 2 técnicos.

Recolección de la información

El formulario de campo permite registrar dos tipos de información: Una general al inicio sobre aspectos y variables de la plantación, y

otra específica donde se anota la calificación para cada árbol dentro de la parcela de muestreo (Cuadro 4).

Información general. En la sección general de este formulario, además de las anotaciones sobre el dueño del proyecto, ubicación, y otros aspectos de la plantación, se registra:

- Sistema de producción de los plantones (pseudostaca, bolsa, y raíz desnuda, entre otros).
- Estado actual de mantenimiento de la plantación.

Esta última variable engloba 3 aspectos: a) Estado del control de malezas; b) Estado de las rondas cortafuegos; y c) Estado de las cercas

Cuadro 4. Datos de campo de una parcela circular (5.64 m de radio) de evaluación de una plantación recién establecida de *Cupressus lusitanica* en Cartago.

Proyecto/Finca: La Unión					Cantón/Provincia: El Guarco, Cartago				
Dueño: Orestes Solano Saborío					Ubicación: El Guayabal, San Isidro de Tejar				
Técnico: Olman Murillo					Área (ha) del proyecto forestal: 3.5				
Especie: Ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i> Mill)					Fecha de Medición: 13/febrero/1995				
Estrato No.: 1					Pendiente (%): 15				
Fecha de siembra: Junio 1994					Parcela No. 1				
Condición de preparación del terreno: 2					Sistema de producción: Bolsa				
Mediciones de la distancia media entre hileras (m):					3.06; 3.01; 2.86; 3.05; 2.97				
Mediciones de la distancia media entre árboles (m):					3.07; 2.85; 2.99; 3.05; 3.20				
Árbol No.	Altura total (m)	Bifurcado	Inclinado	Daño mecánico	Estado fitosanitario	Rodajea	Mortalidad	Otros	Calidad
1	0.33	1	2	1	3	1	1		3
2	0.39	1	1	2	2	1	1		2
3	0.58	1	2	1	3	1	1		3
4	0.43	1	1	1	3	1	1		3
5	—	1	1	1	3	1	2		3
6	0.68	1	2	1	2	1	1		2
7	0.56	1	1	1	3	1	1		3
8	0.52	1	1	1	3	1	1		3
9	—	1	1	1	3	1	2		3
Total defectuoso (frecuencia)	NA	0 (0.0)	3 (0.33)	1 (0.11)	Clase 1: 0(0.0) Clase 2: 2 (0.22) Clase 3: 7(0.78)	0 0.0	2 (0.22)	NA	Calidad 1=0(0.0) Calidad 2=2(0.22) Calidad 3=7(0.78)

(cuando aplica). Con base en estos 3 criterios se le asigna entonces una calificación a la plantación en alguno de los siguientes tres niveles:

- 1 = **Excelente o muy buena:** aquella situación en la cual las rodajeas (de 1 a 1.5 m de diámetro) de los árboles están totalmente limpias, las entrecalles presentan una cobertura vegetal baja (que permite el tránsito libre dentro de la plantación). Las rondas y cortinas corta fuegos están totalmente limpias y bien ubicadas. Además todas las cercas que rodean la plantación o el rodal, se encuentran en buen estado.
- 2 = **Buena o aceptable:** cuando al menos uno de los criterios expuestos anteriormente no se satisface. Sin embargo las rodajeas deben de estar presentes y limpias, y las malezas en las entrecalles no deben sobrepasar la altura total de los plantones o que no sean mayores a los 50 cm.
- 3 = **Mala:** cuando no se cumplen los criterios expuestos en el punto anterior. Es decir, cuando la plantación incumple en 2 ó más aspectos deseables, y en especial, con rodajeas cubiertas de malezas.

Información específica. Entre las observaciones específicas se pueden evaluar los siguientes aspectos en todos y cada uno de los plantones incluidos en las parcelas de muestreo.

- a) **Rodajea:** Su importancia está principalmente en los 2 primeros años de vida, donde es crítica la competencia con las malezas. Los criterios de calificación son los siguientes:
 - 1 = Correcta: rodajea totalmente limpia, de 1 m ó más de radio alrededor del plantón.
 - 2 = Deficiente: rodajea muy pequeña e insuficiente (menor a 1 m de radio).
 - 3 = Ausente: cuando no se hizo la rodajea.
- b) **Altura total:** Se debe medir en m desde la base del árbol hasta el ápice superior de crecimiento. Esta variable puede posteriormente utilizarse como parte del análisis de calidad en crecimiento de la plantación.
- c) **Inclinación:** Es el ángulo que tiene el plantón con respecto a un eje vertical imaginario y no debe superar los 30° (Figura 4), y debe tomarse todo el eje completo

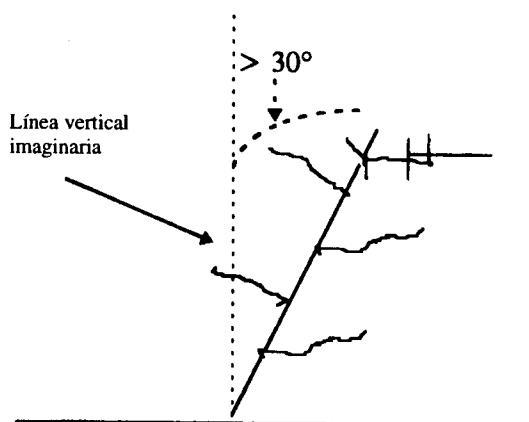


Fig. 4. Plánton sembrado en posición inclinada.

del plánton y no solo el ápice o sección terminal. Árboles inclinados producirán una mucho mayor cantidad de madera de reacción en la primera troza (madera con tensiones de crecimiento), que significará pérdidas considerables en las etapas de aserrío y secado de la madera (Murillo et al. 1992). Debe tenerse especial cuidado cuando se evalúan plantaciones con varias semanas o más de establecidas, pues en *Gmelina arborea*, por ejemplo, es normal que el ápice o eje terminal se incline después de un período seco prolongado, o también puede ocurrir este fenómeno a las horas de mayor temperatura del día. La información que provee esta variable debe interpretarse con cuidado, ya que podría a los pocos años no representar un problema serio. En casi todas las especies, el árbol tenderá a crecer en forma recta y a corregir su inclinación inicial siempre y cuando reciba suficiente luz directa. Dependerá también de las condiciones de sitio (profundidad del suelo, presencia de horizontes endurecidos o cualquier otro factor que impida un desarrollo radical y de anclaje apropiado) y de la exposición al viento directo, el que los árboles puedan recobrar satisfactoriamente un patrón de crecimiento vertical. Pero en todos los casos, es muy probable que al menos en la primera troza ocurrirá la formación de un porcentaje mayor de madera de reacción.

1 = recto: con ángulo de inclinación igual o inferior a 30° .

2 = inclinado: con ángulo de inclinación vertical superior a los 30° .

- d) **Bifurcación (en los primeros 2.5 m de fuste):** Esta variable es, en la mayoría de los casos, un claro ejemplo de mala calidad de semilla utilizada. Ya que es una característica con una alta heredabilidad, lo cual significa que es fácilmente transmitida de árboles defectuosos a sus progenies o semilla (Murillo 1991a). En algunos casos deberá, sin embargo, decidirse si se podrá utilizar esta variable, como en el caso de especies caducifolias y plantadas con pseudoestaca que van a rebrotar a través de varios ejes. En esta situación es preferible esperar hasta que haya sido ejecutada la deshija y se evidencie que los plántones ya hayan definido algún tipo de dominancia apical. Pero también hay causas silviculturales y no hereditarias de la presencia de bifurcaciones en plántones. Estos son los casos donde por mal manejo en el vivero, transporte, siembra, etc. los plántones han sido podados o han perdido su eje dominante. Este es material totalmente indeseable para fines de producción de madera para aserrío y se califica como sigue:

1 = no bifurcado

2 = bifurcado

- e) **Daño mecánico:** Se registra aquí cualquier anomalía que se detecte en los árboles producto de malas prácticas silviculturales. Normalmente se anota cualquier daño que presente el plánton, producido no por un problema fitosanitario, sino por mal manejo en su etapa final de producción en el vivero, en la comercialización, transporte, siembra, mantenimiento de la plantación, etc. Por ejemplo, pérdida o daño del eje dominante; deshojado o con ramas quebradas en más de 50%; con heridas en el tallo, reventaduras o cualquier otro daño que le provoque una futura bifurcación, muerte o pérdida considerable del crecimiento, o lo exponga al ataque de plagas y enfermedades. Esta variable se registra de acuerdo con los siguientes criterios:

1 = sin daños visibles

2 = con algún daño visible

- f) **Estado fitosanitario:** Se registra aquí la presencia de cualquier problema fitosanita-

rio, como exudados, perforaciones, marchitamientos severos, herrumbres, o cualquier otra manifestación. Se debe registrar la incidencia y severidad del problema fitosanitario, bajo tres categorías a saber:

- 1 = Sano: plantón sin evidencia de problemas, y con buena nutrición aparente.
- 2 = Aceptablemente sano: plantón con alguna evidencia de problemas fitosanitarios, siempre y cuando no se presente en más de un 50% del follaje, que no le haya provocado heridas severas o se encuentre bajo una alta probabilidad de muerte.
- 3 = Enfermo: son aquellos plantones con características de sanidad que afectan el desarrollo normal del mismo. Por ejemplo, pérdida del eje dominante; pérdida del follaje u otros daños visibles en más de 50% del plantón; caída de ramas, chancros o pudriciones en el tallo, herrumbres, etc.

g) Mortalidad o ausencia de plantones:

Aquí se registra la ausencia de un plantón en el punto exacto donde se debería encontrar, de acuerdo con el espaciamiento vigente. En términos prácticos se conocerá como mortalidad, pero incluye también los plantones que por alguna razón no fueron sembrados. Debe registrarse también con esta variable a aquellos plantones que sin lugar a dudas se encuentran muertos en pie. Sin embargo, debe tenerse especial cuidado con aquellas especies caducifolias y de alta capacidad de rebrote (*Bombacopsis quinata*, *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*, entre otras), porque los árboles podrían no estar del todo muertos.

1 = plantón presente y vivo

2 = plantón ausente o muerto en pie

- h) Distanciamiento promedio:** Se toman aleatoriamente, dentro o fuera de la parcela de muestreo, al menos 5 mediciones entre hileras de plantones, y otras tantas mediciones entre plantones dentro de hileras. La medición se realiza del centro del tallo de un plantón al próximo y se registra en m.

- i) Otros:** en esta columna se puede adicionar alguna(s) otra(s) variable(s) de relevancia para la especie o para el proyecto, que podrían ser: plantones con presencia de rebrote; número de ejes por pseudoestaca; algún otro problema fitosanitario particular y vital para la especie, entre otros ejemplos. Es recomendable continuar con el mismo sistema de registro, "1" para la mejor calificación de la variable y "2" ó "3" para las subsecuentes categorías.

Variable calidad. Esta es una variable general que integra todas las demás variables específicas mencionadas. Cuya finalidad es simplemente obtener una designación global sobre el estado de la calidad de cada plantón, de manera que permita luego, con los datos de las otras parcelas, estimar el estado de la calidad de la plantación en su totalidad.

- 1 = Excelente: se designan así aquellos plantones cuyas calificaciones han sido absolutamente de "1" en todas las otras variables específicas.
- 2 = Aceptable: son todos aquellos plantones que han recibido entre 1 y 2 veces al menos una calificación de "2" en alguna de las siguientes variables específicas: inclinación, rodajea, y estado fitosanitario.
- 3 = Mala: son todos aquellos plantones que han recibido más de 2 veces una calificación de "2"; todos los muertos pero que aún permanecen en pie; todos los que reciban calificación de "2" en las variables bifurcación o daño mecánico; finalmente, cuando al menos en 1 ocasión hayan recibido una calificación de "3" en alguna de las variables específicas.

PROCESAMIENTO E INTERPRETACION DE LA INFORMACION

El procesamiento e interpretación de la información esta orientado a contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Es el material utilizado (plantones) de la mejor calidad para el proyecto?

2. ¿Se han plantado correctamente los plántones de acuerdo con las especificaciones de espaciamiento, hoyado y otros?
3. ¿Cuál es la densidad real y cobertura efectiva del área plantada?

Determinación del área ocupada por árbol

En el Cuadro 1 se muestran los datos de una parcela circular de evaluación, de la finca de ciprés mencionada, de donde se pueden obtener directamente los porcentajes ponderados de plántones bifurcados, inclinados, con daño mecánico, porcentaje de plántones por clase de estado fitosanitario (totalmente sano, aceptable, y enfermo), plántones por clase de rodajea (excelente, aceptable y no aceptable) y la mortalidad observada. La variable "área/árbol" debe, sin embargo, crearse a partir de los datos de espaciamiento medidos en cada parcela de muestreo como se muestra a continuación:

Distanciamiento promedio entre hileras:

$$2.990 \text{ m} \pm 0.0013 \text{ m}$$

Distanciamiento promedio entre árboles:

$$3.032 \text{ m} \pm 0.0032 \text{ m}$$

Se multiplican entonces ambos valores promedios:

$$\text{área/árbol} = 2.99 \text{ m} * 3.032 \text{ m} = 9.065 \text{ m}^2$$

Para obtener la varianza del estimado de este nuevo valor, se debe utilizar la fórmula para la varianza de un producto (Akça 1993):

$$S_z = \pm \bar{Z} * \sqrt{\frac{S_{\bar{X}}^2}{\bar{X}^2} + \frac{S_{\bar{Y}}^2}{\bar{Y}^2}}$$

donde:

$\bar{Z}$ = la nueva variable creada, en este caso, el área por árbol (en m^2).

$S_{\bar{X}}^2$ = el error estándar de la distancia entre hileras

$S_{\bar{Y}}^2$ = el error estándar de la distancia entre árboles

$\bar{X}^2$ = valor promedio de la distancia entre hileras

$\bar{Y}^2$ = valor promedio de la distancia entre árboles

Se tiene entonces para este ejemplo:

$$S_z = \pm 9.065 * \sqrt{\frac{0.00131}{(2.99)^2} + \frac{0.00324}{(3.032)^2}}$$

$$S_z = \pm 0.203 \text{ m}^2$$

Entonces el área promedio ocupada por un árbol, para esta parcela, será:

$$9.065 \text{ m}^2 \pm 0.203 \text{ m}^2$$

es decir, desde 8.72 m^2 hasta 9.40 m^2 .

Nótese que se podría fácilmente inducir en el error de intentar estimar el área promedio ocupada por árbol, a través de la simple división del área de la parcela entre su número de árboles presentes. El problema de esta estimación es que la variación del número de árboles entre parcelas podría ser muy alto, en especial cuando en algunos sectores hay plántones faltantes. En la parcela 2, por ejemplo (Cuadro 5) se tendría entonces $11.11 \text{ m}^2/\text{árbol}$, lo cual difiere en 22% (sobrestimado) del valor obtenido a partir de mediciones reales en ese mismo sitio (9.12 m^2).

Análisis de las variables discretas o discontinuas

Hasta este punto se tiene entonces toda la información de una parcela de muestreo. Con base en 4 parcelas en el mismo estrato, se construyó el Cuadro 5, donde se puede ver la forma correcta de presentar la información ya resumida. Debe recordarse que las variables discretas son todas aquellas que registran características típicamente cualitativas, y por tanto, no medibles con algún instrumento. Debido a que su distribución es en la mayoría de los casos del tipo binomial, los parámetros estadísticos como su valor medio y varianzas se obtienen de otra manera. En esta metodología se tienen las siguientes variables discretas: bifurcación, inclinación, daño mecánico, estado fitosanitario, rodajea y mortalidad. Debe tenerse especial cuidado con el manejo de los datos, en particular cuando el valor de una observación sea "0". Un valor de "0" debe ser tomado como una observación. Como ejemplo se muestra el análisis de la variable bifurcación, para la finca de Cartago (Cuadro 5), que presenta valores de "0" en una de sus 2 categorías (no bifurcado = 1 y bifurcado = 2). Como última

Cuadro 5. Resumen de cuatro parcelas evaluadas en una plantación de ciprés (*Cupressus lusitanica*) de 4 meses de edad en el Valle del Guarco, Cartago.

Parcela	n	Altura total (cm)	Bifurcados		Inclinados		Daño mecánico		Estado fitosanitario			Rodajea			Mortalidad		Calidad			Area por árbol m ² /ha
			1	2	1	2			1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	
1	11	50.0	11	0	7	4	10	1	0	2	9	11	0	0	6	5	0	3	8	9.06 ± 0.20
2	9	47.2	9	0	6	3	5	4	1	5	3	0	9	0	8	1	1	4	4	9.12 ± 0.30
3	13	40.4	13	0	9	4	13	0	1	9	3	0	13	0	12	1	1	9	3	7.94 ± 0.43
4	9	33.3	6	3	9	0	9	0	0	8	1	0	9	0	9	0	0	6	3	10.52 ± 0.41
X	10.5	42.72	92.9	7.1	73.8	26.2	88.1	11.9	4.76	57.1	38.1	26.2	73.8	0	83.3	16.7	4.8	52.4	42.8	13.5
±S _x ⁻²	0.96	3.73	8.67	8.67	8.74	8.74	11.1	11.1	3.06	17.0	18.2	29.9	29.9	0.0	11.8	11.8	3.1	12.1	13.5	±0.53

1st = n
2nd = n
3rd = n

consideración debe tenerse presente, que en este tipo de diseño de muestreos, donde se utilizan parcelas de área fija, es común encontrar diferencias relativamente grandes entre el número de observaciones (n) entre parcelas. Por lo tanto, el método más recomendado para este tipo de datos (Akça 1993) es el del cociente entre promedios:

$$\bar{P} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \frac{\sum yi}{\sum xi}$$

donde:

$\bar{y}_i$ = el número promedio de individuos con la característica "i"

$\bar{x}_i$ = el número promedio de individuos (n) en todas las parcelas.

Su estimado de varianza se obtiene de la siguiente manera:

$$S_{\bar{P}^2} = \frac{1}{x} * \frac{S_{y^2} + \bar{P}^2 * S_{x^2} - 2 * \bar{P} * S_{yx}}{n - 1}$$

donde:

S_{y^2} = varianza estimada para los valores de y (la característica "i")

S_{x^2} = varianza estimada para los valores de x (el número de individuos n)

S_{yx} = covarianza estimada entre los valores "y" y "x"

$$= \frac{\sum x_i \cdot y_i - \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i}{n}}{n - 1}$$

n = tamaño de la muestra (número de parcelas)

Se tiene entonces para la variable no bifurcados (categoría = 1 de la variable bifurcación, en el Cuadro 5):

$$\bar{y} = \frac{11 + 9 + 13 + 6}{4} = 9.75$$

$$\bar{x} = \frac{11 + 9 + 13 + 9}{4} = 10.5$$

$$\bar{P} = \frac{9.75}{10.5} = 0.928 = 92.8\%$$

$$S_{y^2} = \frac{407 - \frac{(39)^2}{4}}{3} = 8.917$$

$$S_{x^2} = \frac{452 - \frac{(42)^2}{4}}{3} = 3.667$$

$$S_{xy} = \frac{425 - \frac{(42) \cdot (39)}{4}}{3} = 5.1667$$

$$S_{\bar{P}^2} = 0.00907 * \frac{(8.92 + 0.86 * 3.67 - 1.856 * 5.167)}{3}$$

$$S_{\bar{P}^2} = 0.00753$$

$$S_{\bar{P}} = 0.0867 = 8.67\%$$

$$\bar{P} = 92.8 \pm 8.67$$

Es decir, aproximadamente un 93% $\pm$ 8.67 de los plantones en este proyecto no presentan bifurcaciones, lo cual representa un valor excelente.

En esta plantación la variable bifurcación presenta un coeficiente de variación menor al 10% ($CV = \frac{0.0867}{0.928} * 100 = 9.34\%$). Esto es considerado bajo e indicador de alta homogeneidad. Debido a que los datos de las variables discretas son manejados en forma de porcentaje o frecuencia, no requieren una posterior transformación a hectáreas, lo cual facilita su interpretación y reduce las posibilidades de error en el manejo de los datos. Sin embargo, solamente en una de las parcelas se encontraron plantones bifurcados, situación que podría indicar un comportamiento espacial de esta variable en forma de grupos o conglomerados. Si se ha realizado un muestreo adecuado, es posible verificar *in situ* en el punto donde se tomó esa muestra e intentar explicar este patrón de aparición de plantones bifurcados. Una primera explicación se podría relacionar con el origen del material utilizado en ese sector de la plantación, ya que al estar sembrados juntos es porque muy probablemente provengan del mismo sector del

vivero forestal. Si este comportamiento se presentara en otra variable, como daño mecánico, entonces podría pensarse en relacionar este patrón de aparición con las personas que laboraron en ese sector de la plantación. Tal es el caso de los datos registrados con la variable rodajea. Es evidente que por alguna razón solamente en la zona donde se ubicó la parcela 1 (Cuadro 5), se realizó correctamente esta labor y su calidad disminuyó en el resto de la plantación. Este tipo de datos son los que precisamente justifican el realizar correctamente el inventario de campo.

Al analizar los datos de la variable calidad en este ejemplo, se nota que solamente cerca de 5% de los plántones reúnen condiciones de excelente calidad, y un poco más de 52% se ubican en la categoría de aceptable calidad (Cuadro 5). Es alarmante para esta plantación, que 43% de los plántones sean de calidad de rechazo. Sin embargo, debe interpretarse esta información con precaución, pues dentro de la categoría "calidad 3" se incluyen plántones "bifurcados", con daño mecánico "2"; estado fitosanitario "3" y rodajea "3". Todas estas situaciones podrían evolucionar al cabo de un año de manera distinta según sea la especie y probablemente, según las condiciones ecológicas del sitio. Es así que tal vez en algunas especies con capacidad de rebrote, retoñen bien los plántones o respondan bien a una poda temprana, y con esto, logren muchos de ellos pasar a la categoría de calidad "2" o aceptable. Pero aún así, la metodología permite reflejar problemas puntuales y evidentes tanto en la ejecución de la reforestación, como en la calidad del material utilizado en la plantación. Aún cuando para algunas especies estos plántones calificados hoy como de calidad 3 sean "recuperables", implica ya de hecho costos adicionales y una probabilidad alta de fracaso o no supervivencia del todo. Posteriores experiencias con diferentes especies y condiciones de sitio podrán aportar valiosa información a este tipo de situaciones, propias del difícil tema de la evaluación y predicción temprana.

De momento se podrá entonces, de manera general, establecer criterios de aceptación y rechazo. Se sabe que en una plantación forestal se parte de una densidad inicial determinada, y que de acuerdo con los objetivos de producción y otros criterios técnicos, verá reducido su número de árboles en unas 2, 3 ó más intervencio-

nes (o raleos) antes de quedar en aproximadamente 300 árboles/ha para la cosecha final. Con base en esta regla general, y permitiendo un margen de error suficiente, podría decirse que una plantación recién establecida debería contener no menos de 500-600 plántones/ha entre las categorías de calidad 1 y 2. Se plantea así la premisa de que entre todos estos plántones se constituirá luego la población que quedaría en pie para el último raleo y la cosecha final.

En aquellos casos donde la información se considere aún sensible de variación, debido al tipo de especie u otras condiciones de sitio, entonces se podrían postergar las decisiones a tomar hasta tanto no se realice una segunda evaluación, la cual podría efectuarse al final de la próxima estación lluviosa (final del período de crecimiento) o al cabo de un año. Tal podría ser la situación típica con especies caducifolias, que normalmente se plantan con el sistema de pseudoestaca.

Análisis de las variables continuas

Dentro de este grupo se tiene el espaciamiento inicial, número de plántones por parcela, la altura total y el área ocupada por plánton. De estas 4 variables, tanto la altura total como el espaciamiento inicial podrían presentar variabilidad dentro y entre parcelas, y por lo tanto, requieren un manejo estadístico adicional. En este caso, la opción más simple podría ser basar el análisis en un único valor por parcela, el que sería el valor promedio de la altura y de los espaciamientos entre los plántones de cada parcela. Las otras 2 variables no presentan este problema, ya que presentan un único dato por parcela. Al ser todas ellas variables continuas, en muestreos con más de 30 parcelas los valores tenderán a presentar una distribución normal. En caso de que no sea así, debería entonces procederse a normalizar sus valores a través de una transformación.

Altura total. La altura total es una variable cuya utilidad se orienta a evaluar dos aspectos primordiales: a) La calidad del crecimiento o incremento en altura a una edad determinada; b) La altura al momento de la siembra en proporción con el tamaño de las raíces.

Para la mayoría de las plantaciones recién establecidas la evaluación del crecimiento y del incremento en altura no es aplicable. En algunos

casos podría serlo si se compara con datos de otras plantaciones de la misma especie y región a los 6 meses ó 1 año de edad (por ejemplo en su Incremento Medio Anual). Su mayor utilidad será sin duda en futuras estimaciones de incremento efectivo en altura a través de muestreos posteriores. Sin embargo, el conocer la altura inicial al momento de la siembra sí podría tener importancia según sea el sistema de producción que se haya utilizado en el vivero. Con el sistema de bolsa, por ejemplo, no se debería plantar plántones cuya sección aérea (tallo) supere los 30 cm (según sea el tamaño de la bolsa), ya que sus raíces muy probablemente estén ya sufriendo enrollamiento dentro de la bolsa. Con pseudoestacas y otros sistemas de producción se puede establecer para algunas especies un tamaño de tallo óptimo y otro límite al momento de la siembra, de modo que puedan ser utilizados como criterios de calidad o de alta probabilidad de mortalidad.

Área efectiva plantada. Las 3 restantes variables cuantitativas son de utilidad para estimar el área efectiva plantada y el patrón de ocupación u homogeneidad de la plantación. Este dato es sin duda de capital importancia en un proyecto de reforestación. La mayoría de los proyectos presentan en realidad una área efectiva plantada menor que la información oficial. El desconocer este valor es perjudicial tanto para el sistema de incentivos que promueve el estado, al obtener cifras sobreestimadas de lo reforestado, como para el dueño de la plantación, al tener falsas expectativas de lo esperado en producción. El cálculo se realiza con base en las variables número de árboles y área ocupada por plánton. Para este ejemplo, con base en 4 parcelas (Cuadro 5), se obtuvo en promedio 10.5 ± 0.96 plántones/100 m² (n) y una área promedio de 9.04 ± 0.53 m²/plánton.

Con este número de plántones promedio presentes en la parcela de 100 m² (radio de 5.64 m), se puede obtener el número de árboles existentes/ha, que en este caso particular será de 1050 ± 96 plántones/ha:

Área de la parcela :

$$100 \text{ m}^2 (0.01 \text{ ha}) * 100 = 1 \text{ ha} (10000 \text{ m}^2)$$

Número de plántones en la parcela (n): 10.5 ± 0.96

Número de plántones/ha (n):

$$10.5 * 100 = 1050 \pm 96 \text{ árboles}$$

Obsérvese que al pasar un valor de 0.01 ha a 1 ha deben asimismo corregirse los respectivos parámetros valores estadísticos, multiplicándolos por la misma constante de aumento:

$$S_{n^2(0.01 \text{ ha})} = 3.67$$

$$S_{n^2(1.0 \text{ ha})} = 3.67 * (100)^2$$

$$S_{n^2(0.01 \text{ ha})} = 36700$$

$$S_{n(1.0 \text{ ha})} = \sqrt{36700} = 191.57$$

$$S_{\bar{n}(1.0 \text{ ha})} = \sqrt{\frac{36700}{4}} = \pm 96 \text{ árboles}$$

Entonces, el área efectiva ocupada por árboles se calcula como sigue:

$$1050 \pm 96 \text{ árboles} * 9.04 \pm 0.53 \text{ m}^2 = 9492 \text{ m}^2$$

Cuya varianza y desviación estándar deben una vez más calcularse para esta nueva variable compuesta (área efectiva):

$$S_{\text{área efectiva}} = \pm \bar{z} * \sqrt{\frac{S_{\bar{n}^2}}{\bar{x}_{n^2}} + \frac{S_{\text{área}^2}}{\bar{x}_{\text{área}^2}}}$$

$$= \pm 9492 * \sqrt{\frac{9175}{(1050)^2} + \frac{0.2791}{(9.04)^2}}$$

$$S_{\text{área efectiva}} = \pm 1028 \text{ m}^2$$

Entonces se tiene para este ejemplo y con base en 4 parcelas de muestreo, una área efectiva plantada de $9492 \pm 1028 \text{ m}^2$. Este resultado indica que en promedio, el 95% del área está ocupada por plántones, con un intervalo de confianza que va desde 8464 m² (85%) hasta los 10000 m² (100%). Para eliminar toda posibilidad de sobreestimación, se podría también utilizar el valor inferior del intervalo de confianza, el cual es en este caso, aún superior al 80% de ocupación ($8464 \text{ m}^2 = 85\%$). Lo cual es sin duda un ejemplo de una plantación con un excelente porcentaje de ejecución según lo planificado (Cuadro 6). Desde el punto de vista práctico el utilizar 3 categorías de calidad en lugar de solamente 2 (1= bueno y 2= malo), para los criterios de porcentaje de ocupación o para el distanciamiento promedio, no pareciera tener mucha utilidad. Sin embargo, en la

realidad de los proyectos de reforestación es de esperar toda una variación de situaciones que se ubicarán entre ambos extremos. Donde lo normal es encontrar plantaciones que no presentan una ocupación del sitio excelente o un distanciamiento entre plántones prácticamente homogéneo. Por lo tanto es necesario contar con una segunda categoría de calidad, denominada en esta metodología como aceptable, con el fin de poder ubicar con mejor criterio todas aquellas plantaciones que cumplen con las condiciones mínimas o umbral de rechazo que aseguren el éxito del proyecto, pero que aún presentan problemas evidentes que deben ser tomados en cuenta en el posterior manejo de la plantación. Una plantación debe contener en sus inicios una área ocupada lo más alta posible. Debe recordarse que después de una mortalidad en el primer año de vida (que no debería superar un 20%), más las siguientes reducciones en su densidad producto de las actividades de manejo, se espera que llegue a su momento de cosecha con unos 250 a 300 individuos/ha. Otro punto de vista sería utilizar este valor de ocupación y multiplicarlo por el número de ha del proyecto, con lo cual se tendría una visión más precisa del área efectiva de plantación.

Cuadro 6. Criterios de calificación de la calidad de una plantación recién establecida con base en el porcentaje del área efectivamente plantado.

Área efectiva plantada	Calificación de la plantación
mayor a 90 %	Excelente
80 a 90 %	Aceptable
menor a 80 %	No aceptable

Sin embargo, para poder conocer si esta ocupación es uniforme a lo largo de toda el área, se debe revisar el coeficiente de variación del número de plántones por hectárea (CV_n).

$$CV_n = \pm \frac{96}{1050} \times 100 = \pm 9.14\%$$

El valor de coeficiente de variación de este ejemplo es bajo y buen indicador de homogeneidad del número de plántones entre las parcelas de muestreo. Plantaciones cuyo CV del número de árboles por ha sea superior a un 20%, se consideran altamente heterogéneas y no aceptables para fines de producción intensiva (Cuadro

7). Comúnmente esta situación refleja una pérdida en la uniformidad del distanciamiento de siembra, o también, cuando la plantación contiene numerosos sectores con claros sin árboles, ya sea por mortalidad, área no sembrada, caminos, u otras causas. En este tipo de situaciones es recomendable capacitar adecuadamente al personal de campo y tomar las medidas correctivas del caso.

Cuadro 7. Criterios de calificación de la calidad de una plantación recién establecida con base en los coeficientes de variación de la variable número de árboles/ha (n).

Coeficiente de variación	Calificación de la plantación
menor a 10 %	Excelente
10 a 20 %	Aceptable
mayor a 20 %	No aceptable

No deben confundirse aquí los diferentes conceptos desarrollados. Se tiene, entonces, el número de árboles/ha (n) y su respectivo coeficiente de variación (CV). Esta variable da una buena idea de ocupación de sitio y de homogeneidad de ocupación. En seguida se tiene otra variable; el distanciamiento inicial entre árboles e hileras. Esta variable es de gran utilidad para identificar otro tipo de problemas, como el del cumplimiento con el diseño planeado de la plantación, así como también para estimar el área promedio ocupada por árbol plantado, que luego se utiliza, junto con el número promedio de árboles/ha para calcular el área efectiva plantada. Debe recordarse que el distanciamiento de una plantación busca establecer diferentes niveles de competencia entre los árboles (manejo de la densidad), con lo cual se pretende lograr determinadas tasas de crecimiento, dimensiones y forma del fuste de los árboles según sean los objetivos de la plantación. Por lo tanto su correcta aplicación en el campo es, sin duda, un importante criterio de calidad. Con esta variable es posible también detectar problemas en la homogeneidad del trazado y sembrado de la plantación, por ejemplo, si se utiliza su coeficiente de variación podría tal vez indicar que hay sectores con distanciamientos muy diferentes a lo planeado y que se amerita una revisión de campo. Sin embargo, no podrá ayudar a identificar problemas como: pequeños claros existentes, zonas sin plantar, etc.

El distanciamiento promedio también puede ser analizado con criterios de tolerancia. Comúnmente, los problemas de ocupación no uniforme se deben en gran parte a la ausencia de regularidad en el uso del espaciamiento especificado. Por otra parte, una plantación recién establecida no debe contener menos de un 90% del número de árboles/ha planeado, ya que la mortalidad tolerada al año 1 será del alrededor del 15-20% de la densidad original. Si se han plantado 10 ó 15% menos plántones de lo planeado, quedará muy poco margen para la mortalidad al año 1. Por lo tanto los criterios de tolerancia sugeridos, con respecto al núme-

ro de árboles/ha y al espaciamiento inicial son los expuestos en el Cuadro 8. Se sabe que la siembra de árboles en exceso es también un problema en programas de reforestación. Los costos de instalación/ha aumentarán considerablemente y la respectiva demanda de plántulas también aumentará. Como mayor problema será sin duda, la necesidad de intervenciones silviculturales (raleos principalmente) a una edad mucho más temprana, con sus conocidos problemas de aprovechamiento, procesamiento del producto obtenido (diámetros excesivamente pequeños) y su posterior comercialización.

Cuadro 8. Criterios de tolerancia con respecto al número de árboles por hectárea y al espaciamiento inicial.

Espaciamiento inicial (m)	Número de árboles / ha,			Distanciamiento promedio tolerable entre hileras o entre árboles	
	Teórico	Aceptable 90-110%	No Aceptable < 85 ó > 115 %	Mínimo (m)	Máximo (m)
2.0 x 2.0	2500	2250-2750	< 2125 ó > 2875	1.86	2.17
2.5 x 2.5	1600	1440-1760	< 1360 ó > 1840	2.30	2.70
2.0 x 3.0	1667	1500-1834	< 1417 ó > 1917	1.82 x 3.00 ó 2.00 x 2.72	2.00 x 3.35 ó 2.22 x 3.00
3.0 x 3.0	1111	1000-1222	< 944 ó > 1278	2.75	3.25
3.5 x 3.5	817	735-899	< 694 ó > 940	3.21	3.79
3.0 x 4.0	833	750-916	< 709 ó > 959	2.73 x 4.00 ó 3.00 x 3.64 ó	3.00 x 3.64 ó 3.33 x 4.00
4.0 x 4.0	625	562-688	< 531 ó > 719	3.66	4.34
5.0 x 5.0	400	360-440	< 340 ó > 460	4.66	5.42
6.0 x 6.0	278	250-306	< 236 ó > 320	5.59	6.51

CONCLUSIONES

Como se ha mostrado a través de la descripción detallada de esta metodología, con la misma podrá el silvicultor obtener información muy precisa y de alto valor para la toma de decisiones. En la medida en que esta herramienta continúe siendo utilizada en distintas regiones del país, así aumentará el bagaje de experiencia y resultados que permitirán su perfeccionamiento.

Uno de los aspectos más relevantes será sin duda el poder contar con datos de referencia o puntos de comparación para una especie forestal en una región dada. En un futuro cercano se podrá hablar entonces de criterios de calidad para cada una de las especies, en sus distintas regiones, utilizadas en reforestación en el país.

Otra aplicación también de gran importancia se refiere al concepto de paquete tecnológico. Para una determinada especie forestal utilizada en refo-

restación, en una región geográfica dada, se pueden fácilmente derivar a través de esta metodología, valores de productividad que se podrán posteriormente analizar a futuro en términos de mejoramiento del paquete tecnológico empleado. Como éstas, muchas otras aplicaciones se podrán proponer a partir de la generación de una base de datos sistemática como lo propone esta metodología.

LITERATURA CITADA

- AKÇA, A. 1993. Forest inventory. Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde. Universidad de Göttingen, Alemania. 180 p.
- CAMACHO, P. 1995. Evaluación de la calidad de plantaciones forestales en la Región Huetar Norte de Costa Rica. COSEFORMA. Documento de Proyecto No. 43. Alajuela, Costa Rica. 75 p.
- CAMACHO, P.; MURILLO, O. 1992. Propuesta metodológica para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales. I Taller Nacional de la Evaluación de la Calidad de Plantaciones Forestales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago. (mimeografiado).
- CORDERO, W. 1993. Manual para el uso del SURFER. Serie de Apoyo Académico. Departamento de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 60 p.
- HIDALGO, C. 1994. Evaluación del crecimiento y calidad de las plantaciones forestales de Lachner y Sáenz en la Fortuna de Moravia, Tayutic, Turrialba. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago. 66 p.
- KRAMER, H.; AKÇA, A. 1995. Leitfaden zur Waldmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt, Alemania. 266 p.
- LAAR, A., VAN; AKÇA, A. 1997. Forest mensuration. Cuvillier Verlag Göttingen. Alemania. 418 p.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. 1972. Forest inventory. Volume II. BLV. Verlagsgesellschaft. München, Alemania. 469 p.
- MONTERO, R.E. 1995. Evaluación de la calidad de plantaciones forestales en la Región Chorotega de Costa Rica. Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 48 p.
- MURILLO, O. 1991a. Metodología para el control de la calidad en plantaciones forestales. *Tecnología en Marcha* 11(1): 19-30.
- MURILLO, O. 1991b. Características y perspectivas de la materia prima proveniente de plantaciones forestales en Costa Rica. In V Simposio de Ingeniería en Maderas. 1991. San José, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería en Maderas. Cartago, Costa Rica.
- MURILLO, O. 1992. Necesidad de programas de producción de semilla mejorada para la reforestación en Costa Rica. In II Congreso Forestal Nacional. Noviembre 25-27, San José, Costa Rica. p. 7-9.
- MURILLO, O.; CAMACHO, P. 1992. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales. In II Congreso Forestal Nacional. 25-27. 1992. San Jose, Costa Rica: 40-42 p.
- MURILLO, L.; HERNANDEZ, X.; MURILLO, O. 1992. Evaluación de la calidad de plantaciones de Ciprés en el valle de El Guarco, Cartago, Costa Rica. In II Congreso Forestal Nacional. 25-27. 1992. San José, Costa Rica. p. 51-53.
- OFICINA NACIONAL DE SEMILLAS. 1994. Reglamento técnico para la producción y comercialización de semilla y material de vivero certificado de especies forestales. San José, Costa Rica.
- PORRAS, C. 1993. Planificación y ejecución de raleos en plantaciones con especies forestales nativas. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago. 54 p.
- SPITLER, P. 1995. Guía técnica para el inventario rápido de bosques secundarios en la zona norte de Costa Rica. COSEFORMA. Alajuela, Costa Rica. 20 p.
- SPITLER, P. 1996. Inventario rápido en bosques secundarios de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Georg-August, Göttingen, Alemania. 75 p.
- TORRES, G.; LUJAN, R.; PINEDA, M. 1995. Diagnóstico técnico del proceso de producción forestal en plantaciones de pequeña escala en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Centro de Investigaciones en Integración Bosque Industria. Cartago, Costa Rica. 105 p.