

Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o plantaciones forestales

Christoph Kleinn
David Morales

Las parcelas permanentes permiten, a los forestales e investigadores forestales, observar muchas de las variables económicas y ecológicas relevantes y coleccionar evidencia objetiva en términos de información base.



Las parcelas permanentes son uno de los pilares principales en manejo e investigación forestal. Las predicciones de crecimiento y producción, basadas en datos de parcelas permanentes, tienen implicaciones directas para la toma de decisiones de los inversionistas en manejo de bosque o plantaciones forestales.

Las parcelas permanentes permiten, a los forestales e investigadores forestales, observar diversas variables económicas y ecológicas relevantes y coleccionar evidencia objetiva en términos de información base. Dicha información es por lo general usada para construir, mejorar o actualizar modelos o procesos estadísticos, los cuales son empleados para entender mejor y predecir el desarrollo del bosque o rodal. Los resultados también son útiles en la identificación de indicadores para el manejo sostenible del bosque.

Por lo general, el diseño de las parcelas permanentes debe de ser planificado con cuidado, con el objetivo de éstas produzcan información útil y se proteja la inversión realizada. Muchos forestales en la actualidad no tienen presente que hace más de cien años, éste fue uno de los temas principales de discusión, que dio origen a la Unión Internacional de Organizaciones para la Investigación Forestal (IUFRO, por sus siglas en inglés), esto con el fin de que la información forestal tuviera una homogenización y una estandarización.

Hoy la preocupación sobre la producción de datos comparables y de alta calidad sigue siendo tema de discusión en distintos foros. Esta preocupación, definitivamente está relacionada con el establecimiento de parcelas permanentes y el compromiso de las observaciones a largo plazo ya que, el verdadero valor o producto de las parcelas permanentes se observa solo después de varios años (o en ocasiones décadas).

Las observaciones hechas con datos de parcelas permanentes son de interés para toda la comunidad forestal. Con el fin de ser útiles a otros investigadores, dichos datos deben cumplir con ciertos estándares de calidad. Para estos objetivos se requiere de la aplicación de metodologías reproducibles en el establecimiento de las parcelas.

Existen disponibles varios manuales para el establecimiento de parcelas permanentes, muchos de ellos se concentran en aspectos importantes del diseño de la parcela, las variables que deben ser medidas, los instrumentos y procedimientos para la medición de los árboles, los intervalos de las mediciones, el desarrollo de bases de datos y formularios. Es preciso mencionar, que en muchos de estos manuales se presta poca atención al diseño del muestreo, mientras que desde un punto de vista metodológico éste es uno de los puntos más relevantes para el análisis de los datos, la extrapolación y generalización de los resultados, y su validez.

El principal objetivo del presente artículo, es la contribución a un mejor entendimiento de los principios estadísticos de interés, para el establecimiento y la interpretación de los datos de las parcelas permanentes, y colocar al lector en una posición que desarrolle y tenga sus propios criterios acerca de estudios específicos que usan parcelas permanentes.

El artículo se concentra en la pregunta de cómo seleccionar las parcelas (diseño muestral) y no en dar respuesta a cómo establecer la parcela (diseño de la parcela). Se hace referencia a parcelas de campo, pero los principios discutidos se pueden aplicar a parcelas observadas repetidamente en fotografías aéreas o en otros sensores remotos.

Aunque, se discute sobre la diferencia entre parcelas de muestreo y parcelas experimentales en las secciones siguientes, el punto focal del artículo son las parcelas de muestreo de observación permanente. Todo estudio que requiere parcelas permanentes tiene sus particularidades. Por consiguiente, es imposible encontrar un único diseño para todos los propósitos. No obstante, en este artículo, nos concentramos en esos puntos que son generalmente válidos y podrían ser observados. (Más detalle en Alder y Synnott 1992 y Adlard 1990).

¿Parcelas de muestreo o parcelas experimentales ?

Aún cuando todos los investigadores forestales disfrutan de una buena educación en estadística, existen muchas confusiones acerca de los conceptos de parcela de muestreo y parcela experimental. Ambos conceptos tienen mucho en común, pero existen diferencias importantes. Frecuentemente, estos conceptos son confundidos en una manera no saludable y se derivan conclusiones que no son justificadas desde un punto de vista metodológico.

En esencia, todas las parcelas son muestras de una determinada población de interés, que no puede ser observada en su totalidad por razones prácticas o económicas. Se excluyen de las consideraciones los estudios donde las parcelas observadas constituyen por sí solas el total de la población de interés; en estos casos, por supuesto, las consideraciones de muestreo son no requeridas ni pertinentes.

Muestreo

Si se desea conocer más sobre las características de una población meta, como por ejemplo de árboles en bosques naturales o de plantaciones forestales, se establecen parcelas de muestreo de observación y la información que este tipo de parcelas proveen, permite hacer estimaciones sobre los parámetros verdaderos de la población.

Un ejemplo típico es el Inventario Continuo de Bosque (Sistema CFI (por sus siglas en inglés), (Gillespie 1998, comenta algunos pros y con-

tras). Sin embargo, ya con anterioridad métodos de observaciones repetidas habían sido utilizados en Europa. Gournaud usó técnicas similares en Francia, a principios de 1878 – aunque para Rodales, no para parcelas de muestreo (Husch *et al.* 1982). La teoría de muestreo para observaciones repetidas en parcelas permanentes, está muy bien desarrollada (Prodan *et al.* 1997, Sch-reuder *et al.* 1992).

Diseños experimentales

Si se desea aprender más sobre el efecto de los tratamientos en la población meta entonces se deben establecer parcelas experimentales y asignar tratamientos a estas parcelas. De los resultados de las mediciones se estima el efecto de los tratamientos. En experimentos de largo plazo, el tiempo es sin lugar a dudas uno de los factores de mayor interés el cual requiere una atención particular en el análisis, debido a que los correspondientes “tratamientos” (los diferentes puntos en el tiempo) no pueden ser aleatorios, lo cual es uno de los principales supuestos tomados en cuenta en el análisis de varianza estándar (ver Kuehl 1994, Kleinn y Pérez 2000).

Por supuesto, también en el caso del diseño de experimentos las parcelas son muestras de la población de interés. Sin embargo, el énfasis que se da es a los tratamientos y la identificación de sus efectos, restando importancia al muestreo de la población objetivo. En este sentido, desafortunadamente en diseño de experimentos, aleatorización se refiere por lo general en forma exclusiva a la asignación de los tratamientos a las parcelas experimentales, y no a la selección de las parcelas.

Estas parcelas experimentales se establecen con frecuencia en cualquier lugar, o de acuerdo a las preferencias de los científicos, pero no siguen un sistema aleatorio de selección dentro de la población de interés. Por el contrario, en orden para cumplir con los requerimientos de “condiciones homogéneas” que permitan aislar mejor el efecto de los tratamientos, la ubicación de las parcelas experimentales es seleccionada en forma deliberada y subjetiva.

Debido a ello, los resultados del diseño experimental no pueden ser fácilmente extrapolados al total de la población de interés. En un sentido estricto (y dado un proceso de selección como el descrito), la validez de los resultados está limitada a los sitios experimentales y una extrapolación hacia otros lugares o hacia una población mayor requeriría mayor evidencia.

Por ejemplo, un experimento en el cual se prueban cuatro diferentes intensidades de poda en teca en una plantación de 8 ha cuentan con 16 parcelas experimentales de 0,5 ha. Este experimento permitiría determinar la significancia estadística del efecto del tratamiento en la plantación, pero no obtener evidencia estadística para la población de plantaciones de teca en la provincia, país o región. En el sentido del muestreo, los bloques de 16 parcelas constituyen una sola observación independiente - por lo general no seleccionada en forma aleatoria-. El experimento provee alguna evidencia del efecto y permite identificar los tratamientos más promisorios. Si se quieren mayores resultados se podría continuar con el establecimiento de otros experimentos. En estos, los tratamientos promisorios, podrían ser aplicados a parcelas experimentales seleccionadas del total de la población de interés.

Estudio observacional comparativo

En silvicultura y ecología un estudio frecuente, tipo "híbrido" es el estudio observacional comparativo. En este, el investigador está interesado en encontrar diferencias entre algunos atributos de la población, donde esta población, puede ser clasificada entre diferentes categorías; por ejemplo, la diferencia en regeneración entre áreas quemadas y no quemadas, donde el investigador está interesado en el efecto del fuego en la regeneración. La gran diferencia con los experimentos diseñados es que no se asigna aleatoriamente el tratamiento (fuego) a un grupo de parcelas preseleccionadas.

El investigador no controla las condiciones (como en los experimentos diseñados) pero está observando lo que ocurrió ahí. La inferencia creada de este tipo de experimentos es di-

ferente: con un diseño experimental se puede observar la significancia estadística (o no) del efecto, y en un estudio comparativo observacional, lo que se obtiene es si existen o no diferencias estadísticamente significativas. Podría ser que los incendios ocurren sobre todo en sitios que podrían tener más o menos regeneración; luego la diferencia estadística encontrada en la densidad de la regeneración en las áreas quemadas y no quemadas puede ser no atribuible al factor fuego. Pese a lo anterior se requiere de mayor evidencia técnica para apoyar esta hipótesis.

El diseño de experimentos, por lo general, provee evidencia de las relaciones causales entre la respuesta y el tratamiento (efecto), mientras en estudios observacionales las inferencias son limitadas a las relaciones asociadas entre la respuesta y las condiciones de los tratamientos (Kuehl 1994). Esta distinción no se toma muy en cuenta, pero es extremadamente relevante.

Los investigadores forestales con frecuencia no tienen opciones para establecer un estudio observacional comparativo. Como ejemplos se pueden citar: la comparación de la biodiversidad en bosques fragmentados de diferente tamaño o como función de la distancia a bordes de bosque, la investigación sobre la composición florística del bosque secundario en diferentes sitios o altitudes, la comparación de erosión en campos agrícolas en función de la inclinación de la pendiente, etc. En todos estos casos, no es factible técnicamente diseñar un experimento estadístico. Las observaciones son hechas para clases de diferentes condiciones, sin poderlas controlar.

Se debería considerar cada clase de condición como una sub-población de la cual se tomaron muestras para compararlas. Es importante que los principios estadísticos de selección de la muestra sean considerados en cada una de estas sub-poblaciones. Sin embargo, es limitada la evidencia de estos estudios para apoyar conclusiones o teorías de causa/efecto.

Cuando se establecen parcelas permanentes es necesario identificar claramente los objetivos de las mediciones a largo plazo, y cuándo estas parcelas son de observación, experi-

mentales, o ambas. La última combinación requiere cierto grado de esfuerzo en la asignación de los tratamientos y la selección de las parcelas debe de ser aleatorizada en la población de interés.

Algunos elementos críticos en el establecimiento de parcelas permanentes

¿Cuál es la población de interés?

Cuando se establecen parcelas permanentes la población de interés debe de ser definida y tomada en cuenta durante el establecimiento de la parcela. En muestreo, la población es definida por el grupo de todos los elementos *i* los cuales tienen una probabilidad p_i mayor que cero de ser incluidos en la muestra (no necesariamente uniformes; en la selección irrestricta aleatoria la probabilidad de inclusión es igual). Si un elemento tiene una probabilidad de inclusión de $p_i = 0$, entonces no tiene la oportunidad de ser tomado en cuenta en la muestra, y no pertenece a la población a la cual las extrapolaciones conclusiones e inferencias del ejercicio de muestreo se refieren.

Aunque los árboles son los objetos que forman la población de interés, son escasos los proyectos que seleccionan árboles individuales. Por lo general se establecen parcelas de una determinada área las cuales contienen un conglomerado de árboles. Luego, la población consiste de todas las parcelas que se podría establecer en la población el área de interés. Para parcelas circulares se puede definir la ubicación por medio de la ubicación del centro del círculo. Hay un número infinito de posibles ubicaciones de parcelas dentro de un área boscosa de interés y todos los puntos deben tener la misma probabilidad de selección. Es decir, el marco muestral se define en términos de área (ni de árboles, ni de parcelas).

Parcelas en el borde

Por varias razones, se dejan por fuera las parcelas que se intersecan con el borde del bosque; sin embargo, la población objetivo es modificada de forma automática a la parte interna del bosque donde las parcelas no se intersecan con el borde. Dependiendo del tamaño promedio y de la forma de los

parches de bosque que constituyen la población el área de borde, que es sub-representado en la muestra, puede ser considerable. No es correcto excluir dicha área del muestreo y extrapolar los datos levantados al total del área de la plantación.

También, cuando las parcelas con características particulares se dejan por fuera (por ejemplo cuando hay “pocos árboles característicos” en la parcela, o cuando las parcelas caen en caminos o drenajes naturales) se lleva a una modificación de la población meta, lo cual es prácticamente imposible de manejar en el análisis.

Los árboles cerca de los bordes, o de los caminos, en menor o menor densidad son parte de la población como cualquier otro árbol. La aleatorización asegura que son representados de forma correcta en la selección de la muestra. Si no existe justificación técnica, los bordes de las parcelas, las intersecciones con caminos, etc. deberían ser incluidos en la red de parcelas de la muestra, de otra forma las estimaciones para toda la población van a tener un sesgo (el cual es por lo general desconocido).

Por supuesto, el área sin bosque que se encuentra dentro de parcelas que se intersecan con el borde del bosque, no debe ser tomada en cuenta como bosque. Existe mucha literatura sobre cómo tratar los bordes de las parcelas (por ejemplo Gregoire y Scott 1990). La forma más fácil es excluir el área de no bosque del área de la parcela y hacer el análisis es utilizando por ejemplo el estimador de razón.

El área de referencia

En muchas aplicaciones, sobretodo en producción forestal, las observaciones por parcela proveen una estimación de los atributos de interés por hectárea, como por ejemplo volumen, área basal o número de árboles por hectárea. Si interesa el total de la población (bosque o algunos bosques en una empresa), entonces, el área de bosque debe de ser conocida. Por lo general, el área es conocida, o puede ser directamente medida de mapas. Sin embargo, se debe tener cuidado a la hora de asumir que los principios de la estimación del área son iguales en la medición de las parcelas en el campo y a la estimación

del área total. Por ejemplo, si el área de caminos es extraída en las parcelas, pero no a la hora del cálculo del área total, habrá una tendencia a sobreestimar el área basal, volumen y número de árboles. También, en el caso de los bordes se debe aplicar el mismo principio. Por ejemplo, es usual que el área total se derive de la interpretación de fotografías aéreas. En estos casos, el borde de la plantación es la proyección de las copas sobre el terreno, mientras que en el campo con frecuencia se muestrea un polígono que conecta los fustes de los árboles en el borde. Dependiendo de la forma de hacer las parcelas y la fragmentación de los parches de bosque las diferencias pueden ser considerables (Figura 1).

La definición de la población objetivo es difícil cuando se desea establecer un conjunto de parcelas de observación permanentes en una región grande, por ejemplo para toda la población de pinos de un país X. Se requiere tener a mano mapas actualizados o fotografías aéreas recientes para definir la población y tener un alto conocimiento sobre este tipo de bosque.

Cualquier área (bosque) que es excluida por razones prácticas (difícil acceso, seguridad) o porque no es de interés por cuestiones particulares del estudio, altera la población, de tal forma que al final el conjunto de parcelas establecidas, no puede referirse al total de la población de bosque de pino en el país X, pero se refiere a una porción de la población total con cier-

tas características. La interpretación es más difícil si las características no son definidas.

¿Cuál es el papel que juega la aleatorización?

En ambos casos, en las parcelas de muestreo y las parcelas experimentales, la aleatorización es uno de los principales requerimientos para el diseño basado en inferencia estadística: si queremos garantizar resultados válidos en muestreo la aleatorización es esencial, y si la estimación de los efectos en el diseño de experimentos debería ser asegurada para ser válida, los tratamientos deben asignarse en forma aleatorizada a las parcelas experimentales. Mientras en los inicios de la estadística la selección de muestras fue asociada a criterios como equidad, objetividad, representatividad (Fienberg y Tanur 1987), en nuestros días, solo se acepta el criterio de aleatorización cuya primera formulación se atribuye a los trabajos de Fisher y Neyman en los años veintes y treintas del siglo pasado. La aleatorización garantiza que los criterios de objetividad y representatividad también se cumplan.

La aleatorización de la ubicación de una parcela es algo simple, pero es imprescindible entender que hay que seguir algunas reglas y que la aleatorización no tiene nada que ver con la selección subjetiva de la ubicación de las parcelas. Lo que por lo general se utiliza es un mapa de la región de in-

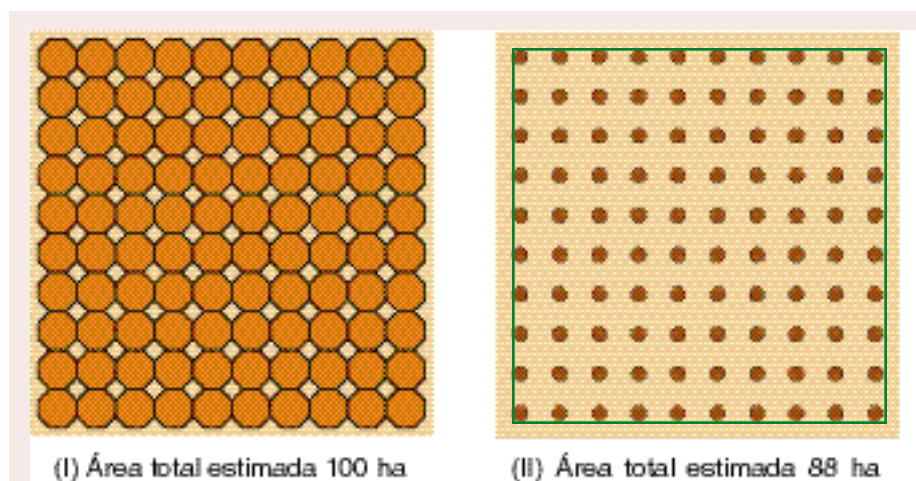


Figura 1. Dos diferentes opciones para determinar el área de un parche de bosque. (I) En fotos aéreas es más fácil calcular el área sobre las copas proyectadas y (II) en el campo es más práctico conectar los fustes de los árboles en el borde.

terés con un sistema de coordenadas locales (ó geodésicas). Se determinan pares de números aleatorios (por ejemplo con una calculadora de mano que tenga dicha función) como coordenadas de puntos aleatorios. Los puntos aleatorios que caen fuera de la región de interés no se toman en cuenta. Este procedimiento se repite hasta que el número deseado de puntos aleatorios se encuentren dentro del área boscosa que forma el marco muestral del estudio.

Existen varias opciones para la selección de parcelas permanentes sin realizar aleatorización. Una es el muestreo sistemático. Otro es el muestreo subjetivo, algunas veces también denominado muestreo “representativo”. Éste cubre una amplia clase de mecanismos de asignación de parcelas que son subjetivos. Con frecuencia, los expertos identifican condiciones “típicas” en la población de interés y recomiendan el establecimiento de las parcelas en estos lugares. Sin duda, los expertos son los que tienen la experiencia para hacer una rápida y buena estimación de muchos de los atributos del bosque; sin embargo, se debe mencionar, que en estos casos todo depende del juicio de los expertos, y que no se pueden aplicar herramientas estadísticas que permitan hacer un análisis de los datos que vaya más allá de la descripción de lo encontrado en cada una de las parcelas (tipo estudio de caso). Cualquiera extrapolación al resto de la población o la aplicación de métodos de inferencia estadística no tiene soporte estadístico.

Por otro lado, esto no significa que todas las conclusiones y extrapolaciones basadas en el sistema de conjeturas educadas son erradas o equivocadas. Pero se debe confiar en los expertos que estuvieron a cargo de la selección de las parcelas y no en metodologías de investigación generalmente aceptadas. Este método de conjeturas educadas, también presenta otra dificultad, casi siempre es difícil explicar el método usado de selección de parcelas a otros expertos, sobretodo, después de varios años de observación de las parcelas permanentes cuando tal vez el experto que hizo la selección no se encuentra ya disponible.

Para realizar diagnósticos rápidos, y de bajo costo, las estimaciones de expertos pueden ser eficientes. Para el establecimiento de parcelas permanentes de medición a largo plazo es mejor tratar de prevenir este tipo de metodologías de selección. Aparte de consideraciones metodológicas, no es fácil que un experto pueda prever cuando una parcela será “típica” con respecto a un grupo de variables de interés, después de un periodo, por ejemplo de 15 años donde muchas cosas pueden ocurrir.

¿Muestreo aleatorio o sistemático?

Aleatorización (sea ésta en muestreo no restringido aleatorio, muestreo aleatorio estratificado u otro) es un prerrequisito en el diseño de muestreos cuando las observaciones puntuales no sesgadas y los intervalos de las estimaciones son el interés central (donde las estimaciones puntuales son, por ejemplo la estimación de la media o la varianza, la estimación por intervalos da una estimación de la precisión puntual).

En el ámbito forestal, el muestreo sistemático es muy aplicado en el diseño de estudios de parcelas de observación. Por lo general, una aleatorización por parcela no está tomando lugar en estos casos. Lo más común son mallas cuadradas que son sobrepuestas sobre la región de interés. En cada punto de la malla se establece una parcela donde la distancia entre las parcelas vecinas es constante. Con frecuencia la posición de la malla se orienta en las coordenadas geográficas. Sería metodológicamente correcto la selección de un punto aleatorio (como el descrito arriba) como punto de “inicio” de la malla y determinar la orientación de la malla también al azar.

Si tomamos en cuenta la poca aleatorización utilizada en este procedimiento, ¿podemos decir que éste tipo de procedimiento valida los resultados, aún con lo señalado en las secciones anteriores? En este contexto, vale la pena argumentar algunos aspectos que caracterizan el muestreo sistemático (Figura 2):

- El muestreo sistemático asegura una cobertura uniforme de la región de interés, sea el total de la población o partes de ésta (estratos). En

muestreo aleatorio puede ocurrir que algunas parcelas caigan cerca de otras y que alguna área de la población no reciba ninguna parcela (véase Figura 3).

- Por lo general, el muestreo sistemático es más preciso que el aleatorio. Esto tiene que ver con lo anotado antes sobre de que cada malla cubre el total de la población en igual manera. Por supuesto, esto es válido para mallas triangulares y cuadradas. La ganancia en precisión depende de la estructura de la población y puede ser alta. Pérdidas en precisión pueden ocurrir en poblaciones cíclicas, que se dan más con fines teóricos en nuestro campo.
- En algunas ocasiones se puede encontrar la expresión de que el muestreo aleatorio estratificado es más eficiente que el sistemático. Sin embargo, esta es una comparación inapropiada. Primero hay muchas maneras de estratificar por lo que no se podría llegar a realizar una verdadera comparación general, y segundo se podría o se debe comparar muestreo aleatorio estratificado con muestreo sistemático estratificado para realizar una justa comparación, y en este caso el procedimiento sistemático es superior en la mayoría de los casos en términos de precisión.
- Por lo general, los estimadores del muestreo aleatorio son aplicados al análisis de datos que provienen de muestreos sistemáticos. Mientras que el estimador puntual de la media es no sesgado (en un sentido estricto cuando la posición de la malla ha sido seleccionada aleatoriamente), pero lo anterior no ocurre con la estimación de la varianza y por lo tanto para el intervalo de confianza. En efecto, no existe tal estimador para el muestreo sistemático, porque el muestreo sistemático no está diseñado tomando en cuenta la aleatorización para todas las parcelas. La aplicación de estimadores la varianza del error de un muestreo aleatorio a uno sistemático produce, por lo general, una sobreestimación del error verdadero de la varianza. Dicha estimación es llamada casi siempre, una estimación conservadora. El monto de la sobreestimación, no puede ser determinada.

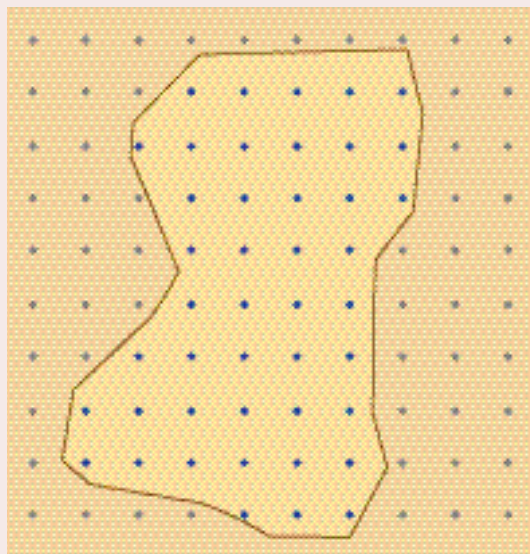


Figura 2. Representación gráfica de la aplicación de una grilla de puntos para la instalación de parcelas (los puntos en gris no fueron tomados en cuenta ya que se ubicaron fuera de la plantación).

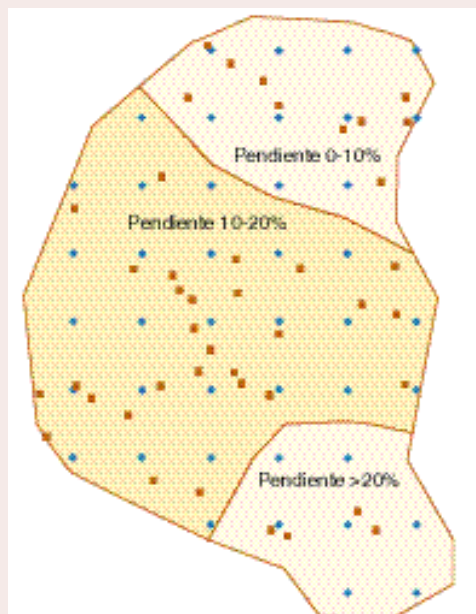


Figura 3. Representación gráfica de selección de puntos de muestreo al azar (cuadrados) y sistemático (círculos).

Algunos estudios comparativos de la precisión obtenida por muestreo sistemático es entre veinte y algunos cientos de porcentaje.

- Con el muestreo sistemático en regiones pequeñas (donde se puede caminar en el campo de una parcela a la próxima), el trabajo de campo es más fácil de organizar y supervisar debido a la posición relativa entre parcelas.
- El muestreo sistemático es más fácil de justificar, mientras en el aleatorio no se puede probar en una forma fehaciente si la selección fue verdaderamente aleatoria o no (o si fue simplemente una selección arbitraria), en muestreo sistemático existen mucho menos “grados de libertad” para la manipulación. En efecto, tan pronto como el diseño de la parcela y la intensidad de muestreo están definidos, independiente del tamaño de la muestra, solo se deben tomar tres decisiones principales: (a) definición de la forma y del tamaño de la malla de muestreo (cuadrada, rectangular, triangular, etc.), (b) definición del punto de inicio para la malla, y (c) definición de la orientación de la malla. En la mayoría de los casos la malla es posicionada sobre un sistema de coordenadas geodésicas, empezando en un punto con

pares coordenadas, aunque ambos orientación y punto de inicio deberían ser escogidos de forma aleatoria desde el punto de vista estrictamente teórico.

Debido a que la asignación de las parcelas es más transparente, los resultados del muestreo sistemático conllevan por lo general mayor confianza o confiabilidad que los obtenidos con otros sistemas.

- El sistema de la plantilla de puntos hace que algunas parcelas caigan cerca del borde de la población de interés, o en lugares no “típicos” (Figura 4). La práctica no recomendada del movimiento de las parcelas en estos casos (algunas veces realizada), es mucho más fácil de identificar en muestreo sistemático que en uno aleatorio.
- El tamaño de la muestra en muestreo sistemático es una variable aleatoria. Si hay 250 ha de plantación y se desea instalar 10 parcelas usando una rejilla cuadrada, entonces se necesita una parcela para cada 25 ha, que se traduce en una malla de 500 m por 500 m. Lo que significa que en el promedio de todas las posibles posiciones de la malla, 10 parcelas de muestreo caerán dentro de la plantación. Sin embargo, en la rejilla que se establece en

el campo el número de las parcelas que caen dentro de la población de interés varía, dependiendo de la forma de la plantación, variando menos en plantaciones de áreas compactas que en las de forma irregular, además varían menos (en términos relativos), para aquellas donde se usan intensidades más altas de muestreo.

Por consiguiente, en estudios observacionales el muestreo sistemático presenta muchas ventajas y es recomendado. Sin embargo, cuando el objetivo es una comparación estadística a otra población, debe evitarse la aplicación del muestreo sistemático: ya que la base para las comparaciones estadísticas con los métodos estadísticos comunes, como el análisis de la varianza, depende de las estimaciones no sesgadas de las varianzas que no podemos obtener de muestras sistemáticas.

¿Se necesita una zona de amortiguamiento?

Existe una confusión menor, cuando se habla de zonas de amortiguamiento. Las zonas de amortiguamiento alrededor de parcelas previenen influencias de los disturbios de los árboles vecinos o de parcelas vecinas en los tratamientos aplicados a las parcelas experimentales. Algunas veces, las

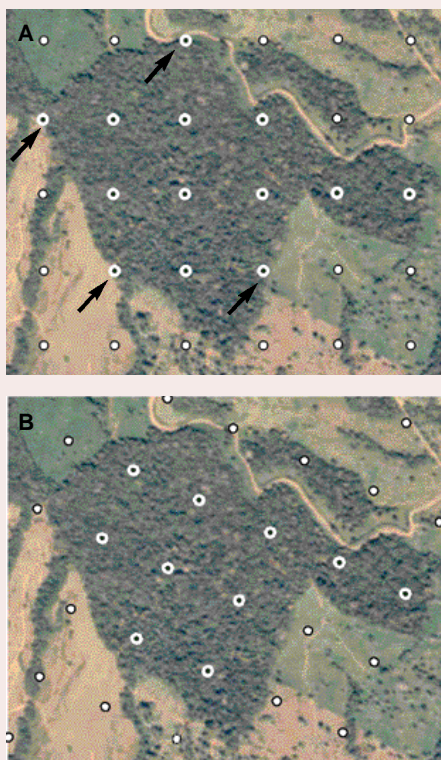


Figura 4. Ilustración de que el tamaño de la muestra es una variable aleatoria en muestreo sistemático. Suponemos que se calculó una distancia d entre parcelas en una rejilla cuadrática de parcelas de muestreo. Los casos A y B muestran dos diferentes opciones (de un número infinito) de la posición de la rejilla. Puntos negros con círculo blanco son los que caen dentro del parche de bosque que se quiere muestrear. Aunque el mismo tamaño de la rejilla, en el caso A son 13 puntos que están dentro del parche de interés, en el caso B solamente 10. Observe que en A hay 4 parcelas cerca del borde del bosque (flechas) que, al instalarlas en el campo, están posiblemente solamente parcialmente dentro del bosque. En el caso B hay ninguna de estas parcelas. No es válido desfasar la rejilla (por ejemplo impresa sobre una transparencia) hasta que ya no haya parcelas del borde.

áreas de amortiguamiento son recomendadas también para parcelas de observación. Lo anterior, sin embargo, es errado y puede ser engañoso. Con las parcelas observacionales se quiere observar cómo es el desarrollo de la población. Si un árbol que tiene sus raíces fuera de la parcela es derribado y cae dentro de la parcela, quebrando la mitad de los árboles en la parcela, entonces se debe asumir, que estos daños forman parte del desarrollo de la población. Lo anterior es insatisfactorio para los investigadores y su inversión, pero al mismo tiempo es el objetivo del estudio: observar que pasa en la población.

Conclusiones

El establecimiento de parcelas de observación de largo plazo es un tema complejo desde el punto de vista técnico, y un tema de riesgo, desde el punto de vista económico. Debido a que la inversión en la instalación y mantenimiento es alta todo debería prepararse para garantizar que se obtendrán resultados válidos.

En este artículo se discutieron algunos principios metodológicos básicos sobre el establecimiento de parcelas permanentes, sobre todo con respecto a

los principios de diseño del muestreo que son fáciles de llevar a cabo y que ayudan a la representación estadística y el significado de los resultados.

Si existieran dudas en cómo establecer parcelas permanentes, hay que apoyarse en algún estadístico, de sólida preparación y experiencia en la evaluación de recursos naturales, o contactar investigadores que hayan trabajado en el campo y acumulado experiencia al respecto.

Como en todo buen trabajo de investigación, la documentación minuciosa es parte del ejercicio. Es una buena práctica mantener una lista detallada de cómo las parcelas permanentes fueron seleccionadas y planificadas, incluyendo una discusión de posibles problemas encontrados. Lo anterior ayuda enormemente a colegas forestales e investigadores al entendimiento de los resultados.

Las parcelas de observación permanente, quizá seguirán siendo la fuente de información más importante en silvicultura. Lo más importante es la compilación de los datos en sistemas de información y colocarlos disponibles a colegas interesados. Algunas iniciativas en este contexto, son: el sistema MIRA, (ver Ugalde

1988) para plantaciones forestales, o TROPIS, (ver Vanclay 1996), donde los registros son para parcelas de muestreo permanentes en plantación forestal o bosque natural. También para que estos sistemas de información sean operacionales se requiere que los usuarios provean datos con rigurosos estándares metodológicos.

Christoph Kleinn

*Chair of Forest Assessment
and Remote Sensing
University of Goettingen.*

Correo electrónico: ckleinn@gwdg.de

David Morales

Correo electrónico: dmorales@gwdg.de

Bibliografía Citada

- Adlard, PG. 1990. Procedures for monitoring tree growth and site change: a field guide. Oxford Forestry Institute. Tropical Forestry Papers No. 23.188 p.
- Alder, D; Synnott, TJ. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. Tropical Forestry Papers No. 25.124 p.
- Fienberg SE; Tanur, JM. 1987. Experimental and Sampling Structures: Parallels Diverging and Meeting. International Statistical Review 55(1):75-96.
- Gillespie, AJR. 1998. Paper presented at the IUFRO Conference "Integrated Tools For Natural Resources Inventories In The 21st Century", August 16-19 1998, Boise, Idaho. <<http://fia.fs.fed.us/library/procon.htm>>, consulted 1.Sept.2001.
- Gregoire, T; Scott, CT. 1990. Sampling at the stand boundary: A comparison of the performance among eight methods. In: Proc. XIX FWS-3-90, Virginia Polztech. Inst. and Univ., Blacksburg, pp.78-85.
- Husch, B; Miller, CI; Beers, TW. 1982: Forest Mensuration. Wiley. 402p.
- Kleinn, C; Pérez, J. 2000. Consideraciones estadísticas en la investigación científica en el campo de recursos naturales Agroforestería en las Américas. 17 (27): p.25-30.
- Kuehl, RO. 1994. Statistical Principles of Research Design and Analysis. Duxbury Press. 686 p
- Prodan M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura Forestal. IICA/GTZ, Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 561 p.
- Schreuder, HT; Gregoire, TG; Wood, GB. 1992. Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory. Wiley. 446 p.
- Ugalde, L. 1988. MIRA: un sistema de manejo de información sobre recursos arbóreos (MIRA: a system for managing information on tree research). Actividades en Turrialba 16(2-3):1-4
- Vanclay, J. 1996. TROPIS: Tree Growth and Permanent Plot Information System. IUFRO conference on Growth studies in tropical moist forests in Africa, Kumasi, 12-14 Nov 1996. <http://www.cifor.cgiar.org/tropis/detail.htm> visited at 28.08.2001