

Ensayos de Plantación Estadísticamente Válidos¹

C. B. BRISCOE

Instituto de Dasonomía Tropical

Río Piedras, Puerto Rico

En la América Latina se plantan cada año más de cien millones de arbolitos y por lo menos se deberían plantar diez veces esta cantidad.^{2/} El control y desarrollo racional de un programa de tal magnitud requieren que se establezcan y se interpreten ensayos de plantación cuidadosamente planeados. Dichos ensayos cuidadosamente planeados rendirán resultados estadísticamente válidos que satisfagan interrogantes reales y de importancia.

Desgraciadamente, muchas de las plantaciones forestales que se establecen ahora en esta región han sido concebidas y establecidas por personas que carecen por completo de conocimientos sobre estadísticas, o por hombres que recibieron su entrenamiento estadístico muchos años atrás. Muchos de ellos comprenden cabalmente las ventajas que se derivan de proyectos experimentales apropiados y les gustaría establecer sus ensayos en una forma que más tarde les sea posible someter los resultados obtenidos a pruebas estadísticamente válidas. En muchos casos, sin embargo, no hay un estadístico competente a quien ellos puedan consultar, y por una u otra razón no les es posible obtener por si mismos conocimientos apropiados de estadística. Este estudio fué preparado para el uso de estos hombres que desean establecer proyectos de ensayos de plantaciones diseñados correctamente pero que desconocen por completo la teoría estadística.

Hacemos hincapié en que el diseño de ensayos de plantación par obtener datos confiables sobre relaciones complejas a un costo mínimo,

requiere técnicas especializadas que no podemos discutir aquí. Cuando haya disponible un estadístico competente, no debe omitirse esfuerzo en consultarlo ANTES de dar comienzo al trabajo de campo.

DISEÑO DEL ESTUDIO

Los fundamentos de la planificación de experimento son muy pocos. Primero, limite el estudio a la contestación de una pregunta específica. Segundo, estudie la variación de condiciones replicándolas dentro del alcance del problema. Tercero, localice las parcelas al azar para evitar toda posibilidad de una predisposición personal o sistemática.

Eso es todo. Si se siguen estas tres reglas, cualquiera puede diseñar un ensayo de plantación que produzca resultados estadísticamente válidos. El costo podría ser algo más alto de lo estrictamente necesario, algunos efectos indirectos podrían pasar inadvertidos, y quizás algunas interacciones ni se adviertan ni puedan probarse si son descubiertas, pero la pregunta o el problema básico bajo estudio se contestará concluyentemente.

Ahora pasaremos a considerar cada uno de los tres puntos un poco más detalladamente.

LIMITAR

El paso más importante de todo es decidir con exactitud que es lo que se va a determinar. Procede hacer una pregunta antes de hallar su solución, y la pregunta debe indicar claramente lo que se incluye y lo que se excluye.

1/ Statistically Valid Planting Trials. Proceedings of the 2nd Eucalyptus Conference, Sao Paulo, Brazil.
2/ Food and Agriculture Organization, 1959. Tree Planting practices in Latin America. FAO Forestry Development Paper, Draft. p. 79.

Por ejemplo, si se va a introducir eucaliptos en un área donde estos no son nativos, inmediatamente surgen varias interrogaciones que deben contestarse: ¿Qué especies deben cultivarse? ¿Qué lugares son más apropiados para las especies bajo consideración? ¿Cuánto tardarán las especies en crecer en los distintos lugares disponibles? Como casi todos ustedes saben, las preguntas nunca se acaban; un estudio no las contesta todas. Mientras más limitada sea la pregunta, más completa puede ser la contestación.

Quizás las dos preguntas más comunes son: "¿Qué especies pueden cultivarse?" y "¿En qué lugares puede esta especie aventajar aquella?"

Asúmase que luego de considerar la latitud, el régimen de la precipitación, la elevación, y otras características del área a plantarse la selección se limita a tres especies: *Eucalyptus saligna*, Sm., *E. robusta* Sm., y *E. citriodora* Hook. Los sitios dentro del área de plantación pueden dividirse en tres posiciones topográficas principales: valle, ladera, y cresta.

Entonces, hay que determinar si *E. saligna*, *E. robusta*, o *E. citriodora* se adapta mejor a cada uno de los tres sitios.^{3/}

REPLICAR

Para investigarlo, las tres especies deben plantarse replicándolas en cada uno de los tres sitios. Por lo regular esto se hace en tres formas que se complementan entre sí.

REPLICACION DEL LUGAR: Esto se obtiene estableciendo parcelas en cada sitio con un mínimo de por lo menos dos^{3/} lugares o localidades. Los sitios en el valle pueden identificarse como Valle X, Valle Y, y Valle Z.

Los lugares de ensayo por lo regular se seleccionan siguiendo uno de estos tres métodos:

1. *Al azar.* A cada valle apropiado para ensayo se le asigna un número. Luego se sacan de un sombrero los números suficientes para completar el número de lugares de ensayo.

Los lugares seleccionados al azar tienen la misma oportunidad de pertenecer a cualquier sitio en toda el área bajo estudio. Esto significa que si el área a plantarse fuese Puerto Rico, las parcelas en los valles tendrían la misma oportunidad de incluirse en cualquier valle de Puerto Rico. Normalmente esta selección de lugares no resulta en una distribución uniforme, y muy bien los lugares podrían aglomerarse hasta un punto indeseable. Esto fácilmente podría resultar en un estimado erróneo especialmente si solamente se seleccionan algunos lugares. Un grupo de lugares en la parte árida del suroeste de Puerto Rico podría sugerir conclusiones muy diferentes a aquellas sugeridas por un grupo de lugares en la zona lluviosa de las montañas del este, y ninguno proporcionaría un buen estimado para Puerto Rico en general.

Además, un sorteo completamente al azar resulta costoso e inconveniente.

2. *Sistemático.* La localización sistemática es una distribución planeada, geográficamente uniforme en el área de plantación. Se espera que esta incluya todas las condiciones posibles y así se obtiene un cuadro más completo del todo.

3. *Estratificado.* En vez de utilizar una base sistemática geográfica, la localización puede planearse basándose en tales datos como la precipitación, la elevación, la roca madre, los usos anteriores del suelo, o cualquier otro factor importante o identificable, o combinación de factores, que afectan el crecimiento de los árboles.

Por ejemplo, si quisiéramos estratificar un lugar tomando como base la precipitación en Puerto Rico podríamos establecer una localidad en la región montañosa del este donde la precipitación es aproximadamente 150 pulgadas, otro lugar en las montañas del centro

^{3/} La determinación del número óptimo de repeticiones, especies, tamaño de la parcela y otros detalles están fuera del alcance de este estudio, pero vale la pena indicar que es más eficiente ensayar con más de tres especies a la vez. El número posible de lugares, por supuesto, está limitado solamente por el número de arbolitos y fondos disponibles.

donde es aproximadamente 100 pulgadas, y aún otro lugar en una ladera del sur de la Isla donde la precipitación es aproximadamente 50 pulgadas al año.

En cambio, si fuéramos a estratificar basándonos en los tipos principales de suelos podríamos establecer lugares en suelos franco arenosos, arcillosos profundos, y arcillosos poco profundos.

El problema principal en la estratificación de lugares es evitar la confusión de dos o más factores. Por ejemplo, si el lugar en el suelo arcilloso profundo tiene 150 pulgadas de precipitación, el lugar en el suelo arcilloso poco profundo solo tiene 50 pulgadas, y el lugar en el suelo franco arenoso tiene 100 pulgadas, sería imposible determinar si las diferencias existentes en las plantaciones forestales se deben a la precipitación o al suelo.

La solución, si posible, es seleccionar lugares en todos los tipos de suelos en regiones con la misma precipitación o seleccionarlos dentro de una distribución amplia de precipitación en cada uno de los tipos de suelos. Por lo regular lo segundo es más fácil de hacer en la práctica.

REPLICACION DE PARCELAS: Esto se obtiene estableciendo por lo menos dos parcelas de cada especie en cada sitio de cada lugar o localidad. Por ejemplo, en el Valle X se plantan por lo menos dos parcelas de *E. saligna*, dos de *E. robusta*, y dos de *E. citriodora*. Esto no implica que dos es la cantidad más indicada de replicaciones; dos es la cantidad mínima.

Vale la pena mencionar que en estudios de adaptabilidad (por lo cual se entiende la selección preliminar de muchas especies sobre las cuales se sabe poco acerca de sus características silvícolas o exigencias por el sitio) las comparaciones entre los árboles individuales son más sensitivas y se obtienen más económicamente, que las comparaciones entre los grupos de árboles de una sola especie.

REPLICACION DEL TIEMPO: Esto se

obtiene estableciendo plantaciones durante por lo menos dos épocas de plantación diferentes. La importancia de la replicación debido al tiempo depende de la variabilidad del clima de año a año en el área a plantarse. Casi dondequiera el clima varía lo suficiente entre años como para que surjan dudas sobre las conclusiones basadas en plantaciones hechas solamente durante un año; en casos extremos, el observador más casual podría reconocer que los resultados fueron influenciados por condiciones climáticas anormales.

DISTRIBUCION DE LAS PARCELAS AL AZAR

El tercer paso esencial es hacer una distribución al azar. Generalmente esto se lleva a cabo asignando las posiciones de las parcelas individuales al azar en cada sitio de cada lugar o localidad.

El sorteo de las parcelas completamente al azar frecuentemente resulta en una distribución desigual y en resultados incorrectos; por lo tanto, normalmente las parcelas se agrupan en bloques que ocupan un área relativamente uniforme. Cada bloque contiene un número fijo de parcelas de cada especie.

Por ejemplo, cuando se va a establecer un número de parcelas en una ladera, casi siempre se puede asumir que la parte más baja de la ladera es un lugar más productivo que la parte más alta. Por lo tanto, deberá establecerse un bloque de parcelas con todas las especies distribuídas al azar en la parte más baja de la ladera. Otro bloque de parcelas con todas las especies igualmente distribuídas al azar deberá establecerse en la parte más alta de la ladera.

Lo que sí debe evitarse cuidadosamente en esta etapa es asignar las parcelas basándose en las exigencias de las distintas especies. Esto es, aunque usted esté seguro que el *E. saligna* requiere un sitio mejor que el *E. robusta*, nunca asigne las parcelas buenas a *E. saligna* y las malas a *E. robusta*. Tal acción impediría por

completo una comparación verdadera de la adaptabilidad o productividad de las dos especies, y por lo tanto anula el estudio.

Existe un número de arreglos sistemáticos de parcelas en los bloques de uso corriente, pero desgraciadamente solo pueden ser usados adecuadamente por un estadístico competente que esté bien familiarizado con las condiciones locales. Por lo tanto, no los discutiremos aquí.

EJEMPLO

Para aclarar, consideremos el programa de introducción de especies en Puerto Rico.

LIMITES DEL PROBLEMA

Asumamos que varios cientos de miles de acres en los suelos arcillosos profundos de las montañas que sostienen plantaciones de café serán relevados de cultivo durante las próximas dos décadas. Aunque muchas especies nativas crecen como árboles individuales o son usadas como sombra de café, los bosques naturales han sido virtualmente eliminados. Por lo tanto, estamos interesados en saber que es-

pecies se adaptan mejor a este sitio de importancia.

Debido al alto costo de establecimiento, estamos interesados en establecer solamente especies de vigor o calidad superiores, o que produzcan algo que no se produce ahora.

Además, debido al crecimiento profuso y rápido de yerbas, yerbajos, y trepadoras, y el costo relativamente alto del trabajo, solamente nos interesan especies que tengan un crecimiento inicial bien rápido. Nuestro mínimo absoluto de altura es seis pies en dos años. Debido a que se cree que dicho crecimiento requiere completa exposición a la luz del sol, estamos más interesados en especies que puedan establecerse a campo abierto.

Tomando en consideración todos estos factores, entonces nuestro principal problema es este: ¿Qué especies producen árboles de vigor superior o madera de calidad superior o que den un producto nuevo, tendrán un crecimiento inicial bien rápido, se desarrollarán satisfactoriamente a campo abierto, y alcanzarán un tamaño comercial en los suelos arcillosos profundos de las montañas?

Para simplificar el planteamiento solo mencionaremos cuatro de las especies bajo ensayo.

ESPECIES

Eucaliptos (*Eucalyptus patentinervis* R. T. Baker)

Cadam (*Anthocephalus cadamba* Miq.)

Pino (*Pinus caribaea* Morelet)

Primavera (*Cybistax donnell-smithii* [Rose] (Seibert)

PROPOSITOS

vigor bien alto, madera con poca demanda

vigor alto, madera usada para enchapes corrientes

vigor alto, madera de utilidad general y de fibra larga

vigor alto, madera usada para enchapes de calidad

REPLICACION

La literatura y experiencia local solamente sugieren ideas muy generales sobre el vigor y la calidad relativa de cada una de las especies

que pueden obtenerse en la variación de precipitación y elevaciones incluidas en la región montañosa de suelo arcilloso profundo.

Por lo tanto se hace necesario establecer ensayos comparativos de plantaciones.

REPLICACION DE LUGAR: Dentro de la región reconocemos ocho lugares que cubren la variación completa de elevaciones que están geográficamente esparcidos, que cubren la variación de la lluvia, y que representan otros factores ambientales, como suelos erosionados y microclimas secos y húmedos.

REPLICACION DE PARCELAS: En cada lugar, cada año, establecemos por norma diez y seis hileras de plantas siguiendo el contorno del terreno. Cada una de estas hileras puede considerarse como un bloque, o los datos de dos o más hileras contiguas pueden considerarse como un bloque al momento del análisis.

Cada hilera se divide en tres parcelas separadas, cada una de las cuales contiene un arbolito de cada especie bajo ensayo. Nunca ensayamos con menos de tres especies en una parcela y no hemos ensayado con más de diez y seis.

Como cada parcela tiene un árbol de cada especie, hay tres parcelas en una hilera y diez y seis hileras, se requiere un total de 3×16 , o sea, 48 arbolitos de cada especie, en cada lugar y por cada año. Para cuatro especies, se necesitan 48×4 , o sea 192 arbolitos.

REPLICACION DEL TIEMPO: Cuando las exigencias en la obtención de semillas lo permiten, generalmente ensayamos con una especie durante tres años calendarios.

CONSIDERACIONES GENERALES

El espaciamiento o distancia de plantación es de 2.5×2.5 metros; por lo tanto el ancho de la plantación a lo largo del contorno para cuatro especies es de $4 \times 3 \times 2.5$ ó 30 metros, y el largo hacia arriba y hacia abajo de la ladera es de 16×2.5 , ó 40 metros. Esto hace un total de 30×40 metros ó 1200 metros cuadrados por localidad.

El número de arbolitos necesarios para ocho localidades es 192×8 , ó 1536, y el área total

ocupada es 1200 metros cuadrados $\times 8$, ó sea 9600 metros cuadrados. Así, es obvio que este diseño experimental nos permite ensayar con cuatro especies en ocho localidades en menos de una hectárea de terreno.

Esta economía en el área bajo ensayo nos permite concentrar en técnicas más intensas que aseguren una supervivencia inicial alta y darle un buen cuidado inicial, lo cual nos sería imposible si usáramos parcelas grandes, cada una con una sola especie.

Por supuesto, tenemos además una comparación más sensitiva entre especies que la que se obtiene usando muchos más arbolitos sembrados en parcelas puras.

SELECCION AL AZAR

Como hemos indicado antes, cada parcela contiene un arbolito de cada especie. La selección al azar se hace utilizando bloques de madera numerados para decidir los lugares de las especies dentro de cada parcela.

RESUMEN

Lo que sigue incluye los puntos esenciales en el diseño de estudios de plantación estadísticamente válidos:

LIMITAR la prueba a un grupo de condiciones definidas.

REPLICAR cada combinación de condiciones a ensayarse.

SELECCIONAR AL AZAR para eliminar inclinaciones sistemáticas e inconscientes.

Limitar, replicar, y selección al azar: esas son las tres reglas indispensables para realizar plantaciones de ensayo.

SUMMARY

To design statistically valid planting trials it is necessary only to restrict the test to a defined set of conditions, replicate each combination of conditions to be tested, and randomize to eliminate systematic or unconscious bias. The basic design used in Puerto Rico is described briefly.