

PROPUESTA METODOLÓGICA DE EV ALUACION GENÉTICA DE DOS ENSAYOS DE PROGENIE DE POLINIZACIÓN ABIERTA DE *Pinus radiata* CONSIDERANDO EL EFECTO DE LA COMPETENCIA

Rafael Eyzaguirre¹
Carlos Magni²

INTRODUCCIÓN

Los ensayos de progenie de polinización abierta forman parte de las etapas de un programa de mejoramiento genético y tienen por finalidad aportar la información necesaria para la elaboración de una jerarquización de las mejores familias o individuos para un rasgo determinado (ZOBEL y TALBERT, 1984). Esta califica la calidad de los progenitores que fueron seleccionados como material base para la creación de una nueva población de mejora; requiriéndose seguridad en la construcción de la jerarquización, y para lograrlo se debe considerar la mayor cantidad de factores capaces de influir en las estimaciones. De esta forma, los resultados finales (valor genético de cada familia o de cada árbol) serán ajustados en forma precisa, permitiendo una inferencia sólida a base de ellos.

Para el desarrollo y aplicación de la metodología se usarán dos ensayos de progenie de polinización abierta (EPPA) de *Pinus radiata* D. Don, ubicados en la

Octava Región de Chile, propiedad de la empresa Cholguán S. A.

Conceptos generales sobre competencia

Se analizarán en términos generales los conceptos índice de competencia e índice de densidad. Por índice se entiende la cuantificación matemática que en base a la consideración de ciertos factores evaluados entrega un valor que describe la situación de interés. Los índices se pueden clasificar en dos grandes grupos, cada uno abarcando un nivel de percepción propio:

-Índices de Densidad de Rodal (IDR).
-Índices de Competencia Puntual (IDC).

La diferencia básica entre estos dos grandes grupos de índices no está en los términos de Densidad y Competencia, sino en que éstos son estimados a nivel de rodal o en un árbol en particular, respectivamente. De hecho, es común encontrar en la literatura las siguientes formas: Índices de Densidad de Rodal, índices de Densidad Puntual, índices

¹ Licenciado en Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Casilla 9206, Santiago.

² Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Casilla 9206, Santiago.

de Competencia para Rodales e Índices de Competencia para Árboles Individuales. Los IDR no se consideran en el presente documento, debido a que la finalidad de éste es proponer herramientas de evaluación de la competencia en forma puntual (árbol a árbol), y no a nivel del rodal (o ensayo, en este caso).

OTTORINI (1978), señala que la Densidad y Competencia son dos aspectos de la misma materia que difieren sólo por el nivel de percepción en el cual se desarrolla" el estudio, expresando que la Densidad se utiliza al referirse a una población y la Competencia cuando se analiza un árbol en particular en la población forestal.

En términos completamente generales, la «Densidad» desde el punto de vista ecológico, se define como el número de individuos que ocupan un área determinada.

En rodales forestales, la definición de densidad en los términos expresados es de limitada utilidad, principalmente debido a que los árboles cambian de tamaño permanentemente a lo largo de sus vidas y, asociado a esto, poseen la habilidad de utilizar los recursos disponibles del sitio, en respuesta a la influencia de los árboles adyacentes o vecinos más próximos.

Análogamente, la «Competencia» comenzaría cuando, por una parte disminuyen los recursos disponibles del sitio a igual número de individuos; o bien cuando aumenta el número de individuos sin variar las condiciones del sitio. Se observa entonces, que cuando los organismos son de tamaño fijo y los requerimientos también, la intensidad o grado de la competencia varía con la densidad expresada como un número de individuos en una determinada

área. En un sentido amplio, la competencia se refiere a la acción recíproca o interacción entre dos o más organismos empeñados en conseguir el mismo elemento (ODUM, 1972).

Dada la cualidad de los árboles de aumentar de tamaño a lo largo de toda su vida, en forma irreversible (crecimiento) en una misma área, la reacción natural que se espera por efecto de la lucha por las necesidades básicas (competencia), se puede subdividir en dos:

1. El comienzo de una diferenciación del tamaño de los ejemplares, que se traduce a través del tiempo, en cambios de la estructura espacial (vertical y horizontal) del bosque; y
2. El comienzo de la mortalidad natural de aquellos individuos menos vigorosos.

En cuanto al término «Densidad», CURTIS (1970), señala que: «este concepto está estrechamente ligado a las nociones de Competencia, ocupación de superficie y cierre de cobertura, los cuales son fundamentales en la silvicultura». Respecto a la Competencia, agrega el autor, que los efectos de este proceso en el desarrollo de los árboles que componen un rodal, pueden expresarse en términos de una comparación de dimensiones absolutas o relativas de algún árbol medio del rodal, con un árbol que se estima creciendo en un límite de máxima o de mínima competencia.

De aquí entonces, se infiere la idea de la "base de un Índice de Densidad o Competencia" referido a una superficie de comparación. Esta forma de normalización de

las superficies de los rodales o del espacio vital de un individuo adquiere importancia si no está relacionado en términos relativos con la dimensión media de los árboles.

CURTIS (1970) señala que las dimensiones de las copas de los individuos o áreas ocupadas por los árboles de diámetro o altura, son expresiones de los efectos acumulativos de la competencia. OTTORINI (1978) expresa que: «en concordancia con la idea de incorporar un carácter relativo (como una forma más elaborada de índice de competencia) se puede justificar la necesidad de incluir la extensión horizontal de la copa de los árboles».

Las bases de comparación mencionadas por CURTIS (1970), que expresan el crecimiento de los árboles en condiciones de mínima y de máxima competencia, corresponden a los límites biológicos de densidad de la especie.

Los límites señalados, se encuentran representados por:

1. Competencia máxima, aproximadamente lo que corresponde al concepto de rodal normal. Al respecto CURTIS (1971), señala que un rodal normal es aquel que cumple con las siguientes condiciones:

- Rodales de origen natural (Monte Alto).
- Rodales sin intervención silvícola.

2. Competencia mínima, caracterizada en los «Árboles de Crecimiento Libre» (ACL). Estos son árboles que se encuentran en forma aislada y se les caracteriza por no haber estado en alguna etapa de su crecimiento y desarrollo sometidos a la presión de la

competencia, ya sea por un ejemplar de su misma especie u otra.

Las únicas restricciones que afectarían a los

ACL, provienen esencialmente del medio que, a través de algún factor limitante, no les permita su normal crecimiento y desarrollo.

KRAJICEK et al. (1961), caracteriza a los ACL por los siguientes atributos:

1. Copa libre de competencia en todos sus lados.
2. Ramas extendiéndose hasta el suelo en árboles adultos.
3. Las ramas inferiores más largas, o al menos tan largas como las ramas más grandes.
4. Sin evidencia de poda, corte o daño grave por plagas y enfermedades forestales.
5. Árbol cuyo origen no aparenta ser de retoño.
6. Los árboles pequeños (menores de 4,8 m), no deben presentar bifurcación en toda su longitud. Para el caso de los árboles adultos, podría existir bifurcación, pero sobre la altura mencionada.

A base de este concepto, si se asume que el espacio que ocupa un árbol, cualquiera que sea su lugar de crecimiento, corresponde a un cuerpo geométrico; entonces los árboles de crecimiento libre se caracterizan por poseer el «Máximo Espacio Potencial de Crecimiento» (MEPC) en cualquier etapa de su desarrollo.

Los límites de este «Cilindro de Crecimiento», están representados por la máxima profundidad alcanzada por las raíces y por la altura superior de la copa, en el sentido vertical. En el sentido horizontal

corresponde a la extensión media de las ramas. La figura geométrica a la cual se aproxima toda esta concepción espacial de ocupación del sitio es un cilindro. En relación con este concepto, el «Cilindro de Crecimiento» de los árboles que crecen en condiciones de rodal, se ve sometido desde el comienzo de la competencia a cambios en sus dimensiones, cuyo espacio de crecimiento se reduce proporcionalmente a la presión que ejercen sus vecinos. Por lo tanto es necesario diferenciar lo que es el «Máximo Espacio Potencial de Crecimiento» (MEPC) y el espacio de crecimiento real que cada árbol posee en condiciones de rodal.

La mayor dificultad en el empleo del MEPC, constituye la evaluación del cilindro de crecimiento. Para solucionar este problema, se han implementado diversos modelos matemáticos que intentan en forma indirecta, conocer el espacio ocupado por un árbol en particular. Dado que la intersección de dos cilindros genera un nuevo espacio, la competencia entre dos individuos podría ser evaluada a través de la determinación de los «Espacios de Intersección» entre los respectivos cilindros de crecimiento. En la búsqueda de esta solución se presentan dos dificultades inherentes al problema; por una parte, la dificultad de cálculo del nuevo cuerpo geométrico, que no necesariamente es cilíndrico y, por otra, un cilindro no expresa en forma significativa las verdaderas demandas de espacio que un árbol requiere. Para abordar el problema se han intentado diversas modalidades de representar la interpretación, ya sea a través de las ramas y/o raíces del individuo. En este sentido, una representación horizontal del «Cilindro de Crecimiento» se ajusta en mayor grado que una evaluación vertical o la combinación de ambas mediciones.

Algunos modelos matemáticos para cuantificación de la competencia

1. Índice de Competencia de STAEBLER (ICs)

Este autor asume que el área alrededor de un árbol, en que la absorción de los requerimientos nutricionales ocurre, es aproximadamente una circunferencia a la cual llamó «Círculo de Competencia». A partir de esta idea, plantea la relación entre el Diámetro de la Zona de Influencia Competitiva» (Dzic) y el DAP de los árboles.

$$Dzic_j = b_0 + b_1 d_j \quad \text{Ecuación N}^\circ 1$$

Donde:

$Dzic_j$ = Diámetro de la zona de influencia competitiva de un árbol particular j .

d_j = Diámetro de la altura del pecho J (DAP) de un árbol particular j .

b_0, b_1 = Constantes de la regresión

STAEBLER (1951), para determinar el valor del coeficiente de posición y de la pendiente de la Ecuación N° 1, no utiliza el método de mínimos cuadrados sino que asigna valores a los parámetros (b_0, b_1) y a través de los resultados posteriores del trabajo con el índice, seleccionó la óptima combinación entre éstos. Los valores asignados por el autor son:

b_0 : 0,9 -1,5 -2,1

b_1 : 0,8 -1,2 -1,9

La relación lineal en cuestión (Ecuación N°1), constituye la base del Índice de Competencia. En síntesis, el autor deduce la

relación $Dzic = f(d)$ y no la obtiene por medio del muestreo de los ACL.

STAEBLER (1951) reconoce que la mejor forma de medir la competencia es por medio del cálculo del traslape de las «Zonas de influencia Competitiva» de los árboles. No obstante, él descarta el cálculo de la

competencia por medio de esta modalidad (área de interacción entre los Dz,C de los árboles), sino que define el uso de la distancia del segmento de línea (D), definida por los centros de los arcos de circunferencia entrecruzados, cuya dirección coincide con los centros de ambas circunferencias (Figura 1).

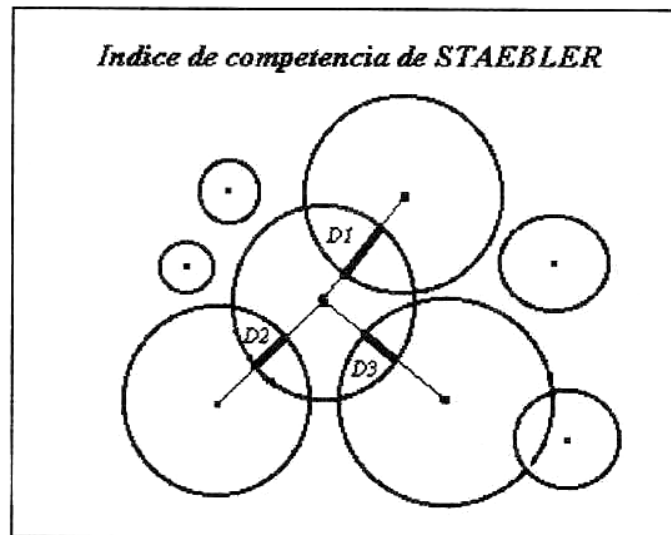


Figura 1. Representación del Índice de Competencia de STAEBLER (1951). La competencia estimada equivale a la suma de los traslapos lineales D_i .

Si un árbol se encuentra sometido a la competencia de dos o más individuos (Figura 1), entonces el modelo planteado por el autor corresponde a:

$$ICs = \sum_{i=1}^n D_i^2 \quad \text{Ecuación N}^\circ 2$$

Donde:

ICs = Índice de competencia de STAEBLER, para el árbol sujeto.

D_i = Sección de radio traslapado entre circunferencias.

n = Número de árboles que participan

El mismo autor describe la primera corrección del índice original (ICs) la que consiste en elevar al cuadrado el valor del segmento de línea (ICs_j). Esta corrección tiene el propósito de calcular un área de intersección de las ZIC de los árboles, con lo cual obtiene mayor precisión en el valor del traslape de copas, a diferencia del cálculo de

una distancia de intersección entre éstos.

$$ICs1 = \sum_{i=1}^n D \quad \text{Ecuación N}^\circ 3$$

JOHNSON (1973), acota que el autor del ICs desarrolló algunas variaciones, que se exponen a continuación, considerando la habilidad competitiva de los árboles, la cual depende en muchos casos del "tamaño" y el "nivel sociológico" que mantienen dentro de la población. En cuanto a la corrección del "tamaño de los árboles", incluyó el DAP del árbol sujeto en cada uno de los índices mencionados, de la forma siguiente:

$$ICs2 = \sum_{i=1}^n Di * DAPj \quad \text{Ecuación N}^\circ 4$$

Donde:

DAPj = Diámetro a la altura del pecho (DAP) del árbol sujeto.

En forma correspondiente, corrige el ICs1 de la Ecuación N°3, de la forma:

$$ICs3 = \sum_{i=1}^n Di^2 * DAPj \quad \text{Ecuación N}^\circ 5$$

El último modelo desarrollado por STAEBLER (1951), corresponde a la razón entre la suma de distancias de segmentos lineales (D) y el diámetro de la ZIC del árbol sujeto, el cual se representa como:

$$ICs4 = \sum_{i=1}^n Di/D zicj \quad \text{Ecuación N}^\circ 6$$

Donde:

Dzicj= Diámetro de la zona de influencia competitiva de un árbol particular «j».

2. Índice de competencia de GERRARD (CCg).

Es un modelo de competencia planteado por los investigadores, el cual corresponde al «Traslape de las Zonas de Influencia Competitiva» (TZIC).

GERRARD (1969), desarrolló un índice a base del tamaño de los árboles, cuya base conceptual fue: «la fuerza competitiva mantenida por un árbol es directamente proporcional al área de traslape de su círculo de competencia con el de sus vecinos, e inversamente proporcional al área de su propio círculo de competencia». La extensión de la competencia la denominó como «Cuociente de Competencia», que se representa en la Figura 2, y se expresa en el siguiente modelo:

$$CC_G = (1/ZICj) * \sum_{i=1}^n ZO_i \quad \text{Ecuación N}^\circ 7$$

Donde :

ZO_i = Área de traslape con el competidor "i"

ZIC_j = Área del círculo de competencia del árbol sujeto.

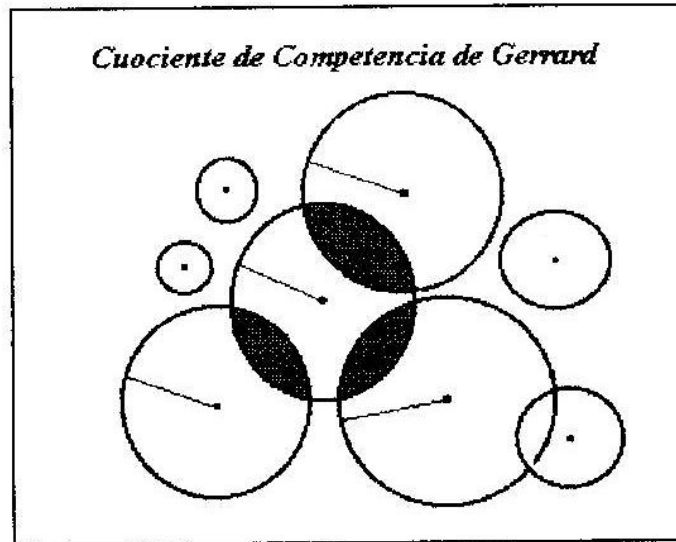


Figura 2. Representación del índice "Cuociente de Competencia" de Gerrard (1969), que corresponde a la suma de las áreas de traslape de las ZIC de los árboles vecinos sobre el árbol sujeto.

El Cuociente de Competencia (CCG) difiere en su forma del índice de competencia señalado anteriormente, ya que se basa en el "cálculo de las áreas de traslape y no relaciones lineales. En el índice CCG, la forma de cálculo del radio del círculo de competencia de la ZIC considera sólo la pendiente de la relación lineal «Radio de la ZIC-DAP», haciendo cero (0,0) el valor del coeficiente de posición.

$$RZIC_j = b_j * d_j \quad \text{Ecuación N}^\circ 8$$

Donde:

RZIC_j = Radio de la zona de influencia competitiva del árbol j.

d_j = DAP del árbol j

b_j = Coeficiente de dirección de la recta.

La forma de obtener el coeficiente b, de la ecuación N°8 es a través de mínimos cuadrados a base de mediciones de los ACL. Se desarrolla la regresión correspondiente y de esta forma, el cálculo de la ZIC de cada árbol se estima como

$$ZIC = (ZIC_j)^2.$$

3. Índice de Competencia de BELLA

Este modelo constituye un perfeccionamiento de la zona de influencia competitiva. En este caso se asume que la ZIC de un árbol es proporcional a su tamaño, siendo esto representado por medio del DAP de los individuos. El efecto del tamaño es expresado en términos relativos entre el DAP del (de los) árbol(es) competidor(es) y el DAP del árbol sujeto.

BELLA (1971), señala que la acción del cociente en el modelo puede modificar el efecto de la competencia que se estima a partir del traslape de la ZIC y otorgar una ponderación competitiva mayor a los árboles más grandes que a aquellos de menor desarrollo, quedando sin ponderación cuando los tamaños de ambos árboles son similares.

De esto se desprende que:

Si: $dc/dj > 1$ entonces el árbol sujeto es competido.

$Dc/dj = 1$ ambos árboles poseen igual nivel
De competencia.

$dc/dj < 1$ el árbol sujeto es competidor.

Donde:

dc = Diámetro a la altura del pecho (DAP)
del árbol competidor.

dj = Diámetro a la altura del pecho (DAP)
del árbol sujeto.

La importancia que adquiere el efecto relativo del tamaño del árbol es considerada por el autor a través del parámetro EX que lo incluye como un exponente de la razón de los diámetros (dc/ds). En alguna medida este parámetro (EX), expresa el nivel de tolerancia de la(s) especie(s) en cuestión, según lo refiriera BELLA (1971). El autor construye el Traslape de la Zona de Influencia Competitiva (TZIC) en base a los principios de los «Árboles de Crecimiento Libre», para el cálculo del radio de la ZIC de cada árbol. En este caso, el investigador incorpora en forma directa la relación «Radio de Copa -Dap» de los ACL en el índice por medio de la siguiente regresión lineal:

$$RZIC = bo + b1d + b2d^2 \quad \text{Ecuación N°9}$$

Donde:

$Rzic$ = Radio de los árboles de crecimiento libre.

D = DAP de los ACL.

$bo, b1$ y $b2$ = Constantes de la regresión.

BELLA, define el problema a través de la siguiente hipótesis:

«El efecto total de la competencia en cada árbol es una función del traslape relativo de la zona de influencia entre el árbol sujeto y sus competidores, donde el efecto de los competidores individuales depende del tamaño relativo entre el árbol competidor respecto del árbol sujeto, ponderado por un exponente»

El modelo matemático se expresa como:

$$TZICs1 = \sum_{i=1}^n (ZOsc/Zsc) * (dc/ds)^{EX} \quad \text{Ecuación N°10}$$

Donde:

$TZICs1$ = Traslape de la zona de influencia competitiva para el árbol sujeto.
 $ZOsc$ = Área de traslape de las zonas de influencia entre el sujeto y el árbol competidor.

Zsc = Área de la zona de influencia del árbol sujeto.

dc = Diámetro a la altura del pecho (DAP) del árbol competidor.

ds = Diámetro a la altura del pecho (DAP) del árbol sujeto.

EX = Exponente.

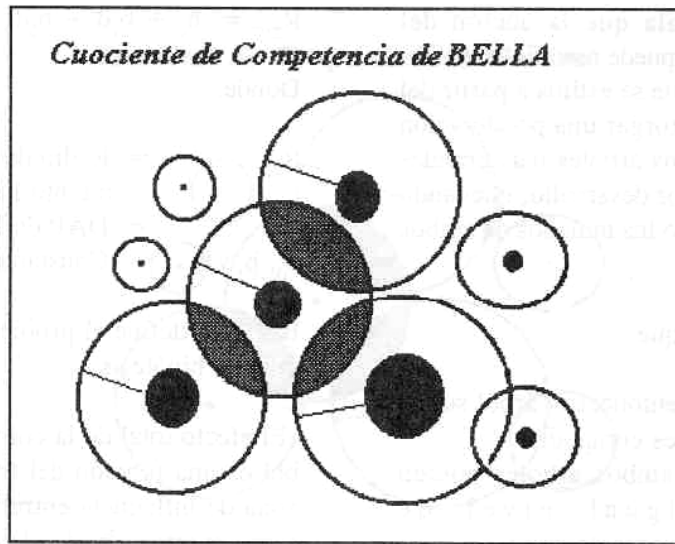


Figura 3. Esquema de la «zona e influencia competitiva» de un árbol sujeto, en la cual se le estima la competencia propuesta por BELLA (1971).

Modelos poligonales para estimación de competencia.

Otra línea de investigación que se ha desarrollado desde hace bastantes años, es el uso de polígonos que describan la distribución de la ocupación del sitio. El más conocido es el APA (Área Potencial de Aprovechamiento), el cual es una herramienta que presenta una interesante posibilidad para calificar de una manera concreta la competencia. Algunos autores como MOORE et al. (1973) indican que este índice describe una zona de influencia primaria que incluiría la zona radicular y aérea, en la cual el espacio de crecimiento está limitado por los árboles inmediatamente vecinos.

Si bien este índice no explica completamente las diferencias entre los tamaños de los árboles, ya que ignora la habilidad competitiva de los vecinos (TENNET 1975), en general, existe cierta correlación entre el tamaño del polígono (área) estimado para cada árbol y el volumen de cada árbol. Es por esto que otros investigadores como MARTINEZ y MADRIGAL (1982) y MOORE (1971) propusieron formas de corrección para superar esta deficiencia ya descrita. Básicamente estas consisten en desplazar los lados del polígono formado proporcionalmente a las variables que se escojan como área basal, altura, diámetro u otra de los competidores.

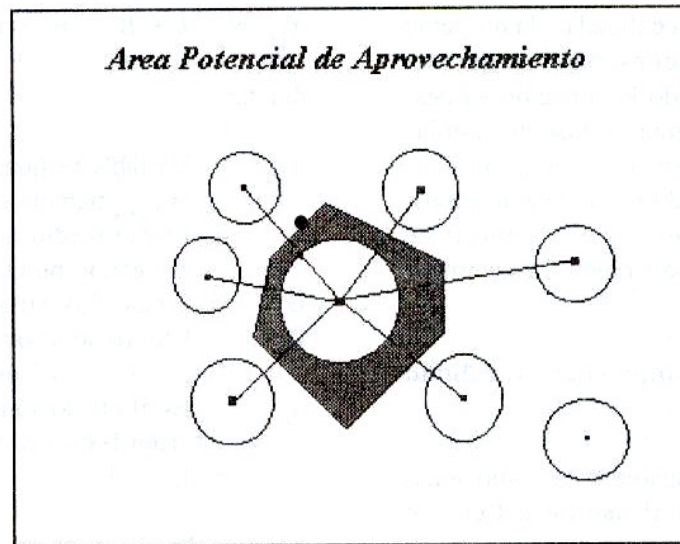


Figura 4. Area Potencial de Aprovechamiento (APA) correspondiente a un árbol estimado en base a los vecinos inmediatos que posee en base a la metodología propuesta por BROWN (1965).

Para el caso de estos EPPA que requieren de la estimaciones de un coeficiente que relacione competencia y volumen, el APA sería de utilidad. Esta metodología de estimación de la densidad puntual presenta una mayor complejidad en los cálculos que se deben desarrollar, pero a través del uso de computadores y la programación adecuada se pueden obtener todos los datos necesarios.

Conceptos generales y consideraciones sobre los EPPA para los cuales se diseñó esta metodología

Estos ensayos de progenie de polinización abierta (EPPA), fueron instalados en sitios vecinos, la semilla proviene de madres seleccionadas, las que están plantadas en un huerto semillero clonal. La instalación fue a principios de los ochenta, con un diseño

de nueve bloques al azar cada uno y con 40 familias a1eatorizadas en cada bloque, en parcelas de 5 árboles en fila, plantadas a una densidad de 3m x 2,5m.

La información proveniente de estos ensayos permite, en base a la calidad de cada progenie, estimar la calidad de cada madre. También es posible y útil seleccionar dentro de los mismos ensayos algunos árboles debido a su destacado rendimiento, por sobre el resto de sus medios hermanos (a nivel de familia) y población (a nive1'de todo el ensayo).

Debido a la precaria silvicultura utilizada en esa época se produjo una alta mortalidad entre los árboles poco después de la plantación. Esto produjo un gran desbaLance entre individuos por no tener condiciones iguales de competencia, lo que a su vez

enmascara la verdadera calidad de la progenie de una familia. La construcción de una jerarquización ignorando la situación ya descrita, pudiéndose presentar el caso de familias o individuos ubicados en las primeras posiciones, cuando en realidad no son genéticamente superiores, sino sólo se debe a la ausencia de vecinos, por lo que han obtenido un mejor desarrollo.

Relación entre la competencia y calidad Genética

Esta situación de alteración de la homogeneidad de la competencia al interior del ensayo tiene directa influencia en la precisión de las estimaciones de la calidad genética de cada árbol (o de las familias), favoreciendo a los individuos (o familias) que se desarrollan en condiciones de menor competencia, o sin ella.

A base de la revisión anterior se espera encontrar un coeficiente de competencia que sea capaz de describir el volumen con un buen nivel de certeza. Uno de los primeros objetivos de este estudio es probar la relación entre el volumen de un árbol y la competencia que lo afecta. De entre todos los coeficientes de competencia anteriormente propuestos se espera seleccionar uno para ser usado en el modelo de evaluación genética en forma de corrección por covarianza. Con la ayuda de ese modelo se estimará el valor genético de cada familia, o de cada árbol, corregido por la competencia que los afecta.

Modelos estadísticos

El modelo tradicional a través del cual se desarrolla la estimación de los componentes de varianza es:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + P_j + a_k + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta del K-ésimo árbol de la J-ésima Parcela en el i-ésimo bloque.

μ = Efecto medio de j-ésima parcela en el i-ésimo bloque.

B_i = Efecto fijo del i-ésimo

P_j = Efecto aleatorio de J-ésima Parcela

$$E(p_j) = 0 \text{ y } \text{Var}(p_j) = \sigma_p^2$$

a_k = Es el efecto aleatorio del k-ésimo

$$\text{árbol } E(a_k) = 0 \text{ y } \text{Var}(a_k) = \sigma_k^2$$

e_{ijk} = Error $E(e_{ijk}) = 0$ y $\text{Var}(e_{ijk}) = \sigma_e^2$

Modelo Tradicional

Este considera como fuentes de variación, el efecto de la familia, el efecto del bloque y el efecto del árbol. La variable respuesta Y_{ijk} corresponde en este caso al volumen en metros cúbicos (m^3), sin corteza. Para la estimación del volumen de cada árbol se usa una regresión que ha sido ajustada por la empresa Cholguán S.A. especialmente para los árboles de la zona en estudio.

El modelo propuesto a través del cual se quiere desarrollar una mejor estimación de los componentes de varianza y posterior jerarquización es:

$$Y_{ijk} = \mu + b_j + P_j + a_k + B(C_{ij} - C_i) + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta del k-ésimo árbol

μ = Efecto medio de j-ésima parcela en el i-ésimo bloque.

b_i = Pendiente de la regresión lineal competencia-volumen para cada clase de competencia

P_j = Efecto aleatorio de j-ésima parcela
 $E(p_j) = 0$ Y $Va(p_j) = \sigma p^2$

a_k = Es el efecto aleatorio del k-ésimo árbol
 $E(a_k) = 0$ y $Va(a_k) = \sigma k^2$

β_l = Pendiente de regresión lineal volumen competencia para cada clase de competencia.

C_{ij} = Coeficiente de competencia estimado para cada árbol.

C = Competencia promedio de cada clase

e_{ijk} = Coeficiente de competencia estimado para cada árbol.

Este considera como fuentes de variación, el efecto de la familia, el efecto del bloque, el efecto del árbol y una corrección por covarianza basada en la competencia estimada para cada árbol.

Herramientas estadísticas a usar

Además de la nueva fuente de variación considerada, la competencia, cuantificada para cada árbol a través del coeficiente de competencia seleccionado, existe un problema estadístico que se debe superar para que la estimación del valor genético y la posterior jerarquización sea realmente sólida en su construcción. Esta situación es el desbalance en el número de individuos existente entre los bloques y entre las familias sobrevivientes, lo que provoca una situación desfavorable para aquellas familias con menos individuos y bloques con menos individuos. Para esto se ha decidido utilizar metodologías estadísticas de última generación, las cuales son capaces de superar los graves desbalances existentes, entregando un resultado de alta confiabilidad.

La metodología corresponde a Best Linear Unbiased Predictor (BLUP), que en español corresponde a la Mejor Predicción Lineal Insesgada.

-¿Qué es y por qué usar BLUP?

En los casos en donde no se puedan obtener "buenas" estimaciones (es decir, precisas e insesgadas) de los primeros momentos (medias y varianzas) de manera simple, se usa la Mejor Predicción Lineal Insesgada (BLUP) para obtener estimaciones de los efectos fijos y predicciones de los valores de mejora. Este método fue presentado por WHITE y HODGE (1989),-especialmente para tratar el gran desbalance de los datos de la mejora del ganado lechero. Específicamente, para la evaluación de los sementales basados en el desempeño de su progenie, los efectos fijos son difíciles de estimar debido a que:

- 1) las medias de los registros de las subclases están frecuentemente ausentes hasta en un 90 %, 2) existen tendencias genéticas en los datos (debido al progreso de la selección) y 3) los registros están sujetos a una eliminación selectiva, ya que existen más datos de los mejores animales (WHITE y HODGE, 1989). Todo esto condujo al desarrollo de BLUP, el que incorpora las mejores estimaciones lineales insesgadas de los efectos fijos a través de los cuadrados mínimos generalizados junto con la mejor predicción lineal insesgada de los efectos aleatorios (es decir, genéticos).

No es de interés en este documento el profundizar o exponer las complejas bases teóricas en las cuales se apoya BLUP, pero para una completa revisión de las aplicaciones forestales de esta novedosa técnica se recomienda revisar "Predicting breeding

values with applications in forest tree improvement" de los autores T. WHITE y G. HODGE (1989).

Resultados esperados y sus aplicaciones Prácticas

De la evaluación de la competencia

Se pretende encontrar la relación existente entre la competencia y el desarrollo en volumen de los árboles en ambos ensayos. En el caso de poder demostrar una alta relación entre estas variables, se espera usar la relación de la forma indicada en el modelo estadístico.

De la evaluación genética

Estimación de parámetros genéticos y construcción de dos jerarquizaciones por familia, una considerando la competencia como una fuente de variación, y otra, sin considerar la competencia. Esto con la finalidad de estudiar la estabilidad de esta ordenación frente la consideración de esta variable. Se espera poder definir adecuadamente las familias que son realmente superiores genéticamente para la variable volumen.

Finalmente, se pueden proponer recomendaciones para el uso correcto de la información de estos ensayos, a fin de maximizar el rendimiento de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

BELLA, I. E. 1971. A new competition model for individual trees. Forest Science 17: 364 -372

BROWN, G. S. 1965. Point density in stems per acre. New Zeland forest research. Notes, 38. 11p.

CURTIS, R.O. 1970. Stand density measures: an interpretation. Forest Science 16: 403-414.

CURTIS, R. O. 1971. Tree Area Power Function and Related and Density Measures for Douglas-Fir. Forest Science 17: 146-159.

GERRARD, D. J. 1969. Competition quotient: A new measure of the competition affecting individual forest trees, Michigan State University Research Bulletin 20. 32 p.

JOHNSON, E. N. 1973. Relationship between point density Measurement and subsequent growth of southern pines. Auburn University, Agricultural Experiment Station, Bulletin 447. 109p.

KRAJICEK, J.E. ; BRINKMAN, K.A. Y GINGRICH, S.A. 1961. Crown Competition A Measure of Density. Forest Science 7(1): 35-42.

MARTINEZ, F. J. ; MADRIGAL, A. 1982. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie: Recursos naturales, N° 13. España.

- MOORE, J. A. ; BUDELSKY, L. A. Y SCHLESINGER , R. L. 1973. A new index representing individual tree competitive status. Canadian journal of forest research 3: 495 -500.
- ODUM, E. D. 1972. Ecología. Tercera edición Editorial Interamericana. 639 p.
- OTTORINI, J. M. 1978. Aspects de la notion de densité et croissance des arbres en peuplements. Ann. Sci. Forest. 35 (4): 299 -320.
- STAEBLER, G. R. 1951. Growth and spacing in an uneven-aged stand of Douglas Fir University Mich. unpublished M. F. thesis. 100 p.
- TENNET , R. B. 1975. Competition quotient in young Pinus radiata. New Zealand journal of forestry science. 5(2) : 230-235.
- WHITE, T. Y HODGE, G .1989. Predicting breeding values with applications in forest tree improvement. 367 p.
- ZOBEL, B. y TALBERT, J. 1984. Applied forest tree improvement. Wiley, New York, 505 p.