

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LUGO
INGENIERÍA DE MONTES



ESTABILIDAD DE FAMILIAS DE MEDIOS
HERMANOS DE *Pinus radiata* D. Don. FRENTE A UNA
DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES VARIABLE

PROYECTO FIN DE CARRERA

Alumno:

FRANCISCO M. PICHEL ROMARIZ

Director:

Dr. RAFAEL ZAS ARREGUI

FEBRERO 2006

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LUGO
INGENIERÍA DE MONTES



ESTABILIDAD DE FAMILIAS DE MEDIOS
HERMANOS DE *Pinus radiata* D. Don. FRENTE A UNA
DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES VARIABLE

El Director:

El alumno:

Dr. RAFAEL ZAS ARREGUI

FRANCISCO M. PICHEL ROMARIZ

Convocatoria: Febrero 2006

Este Proyecto Fin de Carrera se ha realizado en el Departamento de Producción Forestal del Centro de Investigaciones Forestais e Ambientais de Lourizán, bajo la dirección del Dr. Rafael Zas Arregui y al amparo del Proyecto de Investigación INIA-RTA2-109: “Avance del programa de selección y mejora de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Ait. para Galicia”.

Agradecimientos :

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento al Doctor Rafael Zas Arregui, por haberme enseñado todo lo que sé sobre la investigación forestal, a base de mucha paciencia por su parte, así como por sus concienzudas revisiones y buenos consejos...

También a Gloria, por hacer que la estancia en Lourizán fuera, si cabe, aún más agradable, y a Luis Sampedro, por estar siempre de buen humor... y contagiarme..., así como a todo el personal del Departamento de Producción Forestal, por resolverme todas mis dudas, y en especial a Ferri, por tomarse el trabajo con tan buen humor. También al CIFA Lourizán, por dejarme utilizar sus parcelas, sus plantas e instalaciones.

Mención especial a Patri Martín, por todo lo que me ha ayudado y apoyado en estos últimos dos años, donde no todos los momentos fueron de risas... Gracias.

También quisiera agradecerle a Alex, Julianne, Toño, Carliños, Xaquín, Diego y Charly su ayuda con las mediciones, a pesar de las condiciones climatológicas; a todos mis amigos “de Lugo” y “de Pontevedra”, por estar ahí cuando se les necesita. (El doble a Manu, porque él además midió pinos...)

A mi novia, Elena, por estar siempre a mi lado, compartiendo mis tristezas y alegrías, apoyándome en todo momento y ayudándome a lograr mis metas... “Uno está enamorado cuando se da cuenta que otra persona es única.” (Borges)

También a Ana, a Lelu y a Fernando, y por supuesto, a mis padres, por su apoyo y por ser para mí un ejemplo a seguir...

“Una sociedad no es mejor que sus bosques”

H. W. Auden.

1.- Resumen.	8
2.- Introducción.	9
2.1.- El pino radiata.	4
2.1.1.- Descripción botánica	9
2.1.2.- Área natural y distribución	10
2.1.3.- Usos y aprovechamientos	12
2.1.4.- Plagas y enfermedades	13
2.2.- Productividad y problemas nutricionales del pino radiata en Galicia.	14
2.3.- El programa de mejora del pino radiata en Galicia	16
2.4.- Interacción genotipo x nutrición.	17
3.- Objetivos	21
4.- Material y métodos	22
4.1.- Material vegetal empleado en el ensayo	22
4.2.- Preparación del terreno	23
4.3.- Tipos de abonos utilizados en el ensayo	23
4.4.- Caracterización ecológica de los sitios de ensayo	24
4.4.1.- Situación y pertenencia	24
4.4.2.- Geología y litología	25
4.4.3.- Edafología	25
4.4.4.- Climatología	27
4.4.5.- Vegetación potencial	28
4.4.6.- Vegetación preexistente	28
4.4.7.- Cuidados posteriores a la masa	29
4.5.- Diseño experimental	29
4.5.1.- Diseño de las parcelas	29
4.6.- Mediciones y análisis estadísticos	30
4.6.1.- Mediciones	30
4.6.2.- Análisis estadísticos	31
4.6.3.- Parámetros genéticos	32
4.6.4.- Estabilidad genotípica	33
5.- Resultados	36
5.1.- Valoración del desarrollo	36
5.1.1.- Análisis de la varianza	36
5.1.2.- Comparación de tratamientos	40
5.1.3.- Comparación de familias	43
5.2.- Valoración de la supervivencia	49
5.3.- Estimación parámetros genéticos	51
5.3.1.- Interacción Familia x Fertilización	52
5.4.- Estabilidad genotípica	53
5.4.1.- Rormas de reacción	53
5.4.2.- Desviación estandar, ecovalencia y análisis de regresión simple.	56
6.- Discusión	61

6.1.- Respuesta a la fertilización	61
6.2.- Comportamiento del material de mejora	64
6.3.- Interacion genotipo x nutricion y estabilidad genotípica	66
7.- Conclusiones.	70
8.- Referencias.	71
9.- Anexos.	79

1.- RESUMEN.

El pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) es la conífera más extendida por plantación artificial en el mundo. En Galicia es una de las especies forestales más importantes, ocupando algo más de 82.000 ha. Con el objetivo de mejorar la calidad y el rendimiento de sus poblaciones se inició un programa de mejora genética para Galicia en la década de los 90. Estudios previos encuentran que la nutrición es uno de los factores que controla la productividad de esta especie, encontrando importantes deficiencias nutricionales en Galicia, especialmente de P y Mg. Es por ello que cabe esperar que las prácticas de fertilización afecten sustancialmente al comportamiento del material de mejora de esta especie. Por ello se instalaron en 2003 tres ensayos factoriales Familia x Fertilización donde no sólo se pretende estudiar la sensibilidad del material de mejora frente a distintos niveles de fertilidad sino también explorar la posibilidad de incluir la eficiencia nutricional como carácter de selección en el programa de mejora. Como era de esperar, la nutrición fosfórica aumentó el crecimiento en altura y en diámetro de las plantas, mientras que la adición de N no tuvo efectos positivos sobre el crecimiento. Las diferencias entre familias también fueron significativas, con heredabilidades individuales para el desarrollo en altura entre 0,40 y 0,53 en el primer año en las parcelas que no han sufrido ataque de *H. abietis*, reduciéndose un poco para el segundo año. Los valores de heredabilidad familiar fueron de 0,91 en las parcelas no atacadas por el insecto, reduciéndose también un poco en el segundo año. La interacción Fertilización x Sitio no fue significativa, indicando respuestas paralelas a la fertilización en los tres sitios. La interacción Familia x Fertilización tampoco resultó significativa, aunque se han observado cambios de ranking familiares entre dos tratamientos de fertilización contrastados, lo cual no descarta la existencia de variaciones genéticas en la asimilación y utilización de los nutrientes extra que la fertilización supone. Esta falta de interacción Familia x Fertilización, unido a la falta de consistencia entre la estabilidad genética en relación con la fertilización entre sitios dificulta la posibilidad de seleccionar familias eficientes en la asimilación y utilización de los nutrientes extra aportados por la fertilización. Por otro lado, se ha encontrado interacción Familia x Sitio, lo cual sugiere que hay otros factores además de la nutrición afectando a la interacción Genotipo x Ambiente.

Palabras clave: Fertilización, deficiencia, variación genética, estabilidad genotípica, interacción familia x fertilización, interacción genotipo x ambiente.

2.- INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo se organiza en cuatro apartados. En el primero se hace referencia a la descripción botánica de *Pinus radiata* D. Don., así como a su distribución, usos y aprovechamientos y problemas referentes a plagas o enfermedades. En el siguiente se detalla la importancia de la nutrición en la productividad de esta especie, y a continuación se realiza un breve resumen del programa de mejora genética de *P. radiata* en Galicia. Para finalizar, se describe la importancia de la interacción Genotipo x Nutrición, es decir, de cómo las distintas familias o genotipos de una especie forestal pueden responder de forma dispar a los tratamientos de fertilización.

2.1.- EL PINO RADIATA.

2.1.1.- DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Pinus radiata D. Don (= *P. insignis* Douglas ex Loudon.), conocido vulgarmente como pino radiata, insigne o de Monterrey, pertenece a la familia *Pinaceae*, género *Pinus* y subgénero *Diploxylon*. Dentro de éste pertenece a la sección *Taeda*, y dentro de ésta al grupo de los Insignes, en el que figuran *Pinus radiata*, *Pinus muricata* D. Don y *Pinus attenuata* Lemmon, conocidos como los pinos de conos cerrados de California por el carácter serotino de sus piñas (Dans et al., 1999).

Su porte es piramidal en la juventud y finalmente ensanchado o globoso (Figura 1). Puede llegar fácilmente a los 30 m de altura, aunque su altura media se puede cifrar en unos 20 m. El tronco es recto, bastante cónico (Vignote et al., 1983). Su coeficiente mórfico varía entre 0,410 en árboles de 30 cm de diámetro y 0,385 en los de 40 cm (Dans et al., 1999). Posee ramas verticiladas, en forma de brazos de candelabro, horizontales en el arranque y ascendentes en el extremo; cortas en relación a los entrenudos, lo que le da su aspecto característico. Las ramas son bastante persistentes, aún con falta de luz, por lo que para su eliminación no basta con buscar una máxima espesura, sino que es necesario realizar podas artificiales. De todas maneras, aunque con la espesura no se eliminan ramas, sí que tiene influencia en su



Figura 1.- *Pinus radiata*

desarrollo en altura, y por tanto en el tamaño de los entrenudos. Esta distancia entre nudos oscila bastante según las condiciones del terreno, no obstante se puede establecer una media de alrededor de medio metro, pudiéndose modificar en hasta un 20% con la espesura de la masa (Vignote et al., 1983).

Las acículas están envainadas de tres en tres, con una longitud de 7 a 15 cm, algo retorcidas (Scola et al., 1997), y persisten verdes entre dos y cuatro años, dando a la copa un aspecto muy denso, de tonalidad más oscura que la del pino marítimo. La corteza en adultos es rugosa y gruesa, pudiendo alcanzar los 8 cm de espesor (Dans et al., 1999). Su sistema radical es somero (Scola et al., 1997).

Las piñas tienen forma ovoide, con pedúnculo corto y asimétrico, y tienen el escudete abultado (Figura 2). Permanecen varios años en la rama, liberando las semillas aladas de forma progresiva. Estas pueden estallar cuando se produce un incendio, liberando semillas que germinan en la capa de ceniza (Cigalat y Soler, 2003).

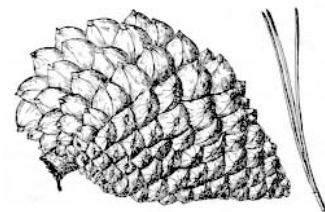


Figura 2.- Piña de *Pinus radiata*

2.1.2.- ÁREA NATURAL Y DISTRIBUCIÓN



Figura 3.- Área de distribución natural de *Pinus radiata*.

Se trata de la conífera más extendida por plantación artificial en el mundo, a pesar de que su área natural se limita a unas 7.000 ha de la costa californiana (Figura 3), y de que sus aptitudes productivas en el área de origen no son especialmente meritorias (Dans et al., 1999).

Dentro de la especie se diferencian tres variedades: *P. radiata* var. *radiata*, *P. radiata* var. *binata* Lemmon y *P. radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod., correspondiendo la primera a las poblaciones naturales continentales y las dos segundas a dos poblaciones insulares aisladas (Lavery, 1986).

Estas masas naturales se asientan sobre un clima básicamente mediterráneo con baja precipitación (400-800 mm), con ausencia de heladas y nieves, temperaturas estivales moderadas y fuerte incidencia de nieblas en verano que mitigan la sequía estival (Lavery, 1986).

El gran crecimiento del pino insigne, la precocidad con que alcanza los máximos de producción en volumen y la buena calidad de su madera para diversos usos, han propiciado su utilización en muchos países o regiones de la zona templada de todo el mundo (Dans et al., 1999). Se han medido crecimientos corrientes a los 13 años de 50 m³ por Ha y año, así como alturas dominantes de 35 m a los 20 años en Nueva Zelanda (Richardson et al., 1993).

Varios países del hemisferio sur han adoptado a este pino para sus programas de forestación. Entre ellos, merece citarse, en primer lugar, a Nueva Zelanda en su calidad de pionero, que ya en los años veinte y treinta del siglo XX realizó importantes plantaciones. Después de un período de ralentización de estas plantaciones, a partir de los años sesenta surge un nuevo interés por esta especie y un relanzamiento de las repoblaciones que se prolonga hasta nuestros días, convirtiendo a Nueva Zelanda en el mayor productor actual de madera de pino insigne (Dans et al., 1999).

El ser una de las especies forestales que mejores crecimientos muestra en una gran variedad de condiciones ambientales (Turner y Lambert, 1986) ha hecho posible también su amplia distribución por Europa, en países como Italia, Francia, España y Portugal, entre otros. En la actualidad en España, y especialmente en el País Vasco, sus masas ocupan importantes extensiones y se ha desarrollado un fuerte tejido industrial basado en la transformación de su madera (Dans et al., 1999).

En Galicia, la evolución de esta especie ha tenido algunas irregularidades, con diferencias en el interior y la costa. Al realizar el primer inventario forestal en 1972 - 1974, había unas 55.000 hectáreas, siendo A Coruña la provincia con mayor superficie forestal, cerca del 50% de la total regional. Al confeccionar en 1986 el mapa forestal para el segundo inventario, había en Galicia 66.000 hectáreas ocupadas por esta especie. Sin embargo, mientras que la provincia de Lugo más que duplicaba la extensión en

relación con el primer inventario y la extensión en Ourense crecía aún ligeramente, en A Coruña se reducía la superficie notablemente, y en Pontevedra la superficie se reducía a menos de la mitad de la de 1972 (Dans et al., 1999). Actualmente, según datos del III Inventario Forestal

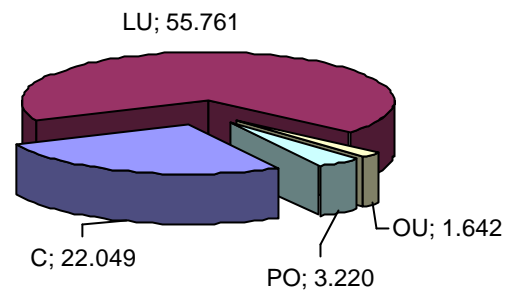


Figura 4.- Distribución por provincias de la superficie ocupada (ha) por *P. radiata* en Galicia. (MAPA, 2001)

Nacional, existen 82.672 ha repobladas con esta especie (Figura 4), fundamentalmente en la provincias de Lugo (65%) y A Coruña (26,7%) (MAPA, 2001).

2.1.3.- USOS Y APROVECHAMIENTOS

Las trozas que se obtienen del pino radiata presentan buena conformación general, siendo derechas y medianamente cilíndricas, con el único defecto específico de la abundancia de nudos. La sección transversal es muy regular y circular, con el corazón bastante centrado (Vignote et al., 1983). La madera de albura es de color blanco amarillento, y se oscurece con la luz de forma relativamente rápida. El duramen tiene color pardo amarillento o pardo marrón, estando poco diferenciada de la albura. Los anillos de crecimiento son visibles y tienen un gran espesor (de 1 a 5 por cm). La fibra es recta y el grano varía de fino a medio (Peraza, 2004). Posee un bajo contenido en resinas, pero presenta riesgos moderados de deformaciones, fendas en testas y desprendimiento de nudos (Cigalat y Soler, 2003).

Presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa por desenrollo y mediante corte a la plana. La homogeneidad de la madera de verano y de primavera facilita la operación de desenrollo (Peraza, 2004). Además se obtienen tableros decorativos, tableros contrachapados, tableros de fibras y aglomerados, así como embalajes, palets, madera para bricolaje y molduras (Cigalat y Soler, 2003). Se puede utilizar tanto en carpintería interior como exterior, e incluso se puede obtener de él pasta de papel por el método mecánico (Peraza, 2004). Por otra parte, y si es convenientemente tratada, puede aplicarse en postes de líneas eléctricas y telefónicas, apeas de minas y postes para cercos (Vignote et al., 1983).

Se recomienda realizar tratamientos contra el azulado inmediatamente después de su aserrado (Peraza, 2004; Cigalat y Soler, 2003).

2.1.4.- PLAGAS Y ENFERMEDADES

P. radiata presenta una elevada sensibilidad a agentes patógenos muy diversos, sobre todo en sus primeros años de vida, donde pueden llegar a producir fuertes impactos en estas masas (Castillón et al., 1998). Dichos patógenos se ven favorecidos por agentes ambientales o por cuidados culturales mal efectuados, que les facilitan la entrada y su posterior desarrollo sobre la planta. Además, dadas las grandes producciones que es posible obtener con esta especie en turnos relativamente cortos, que pueden llegar a causar deficiencias de algún oligoelemento como el Zn o Cu, se puede llegar a una disminución de la productividad en turnos posteriores, como ya sucede en Nueva Zelanda y Chile, y a producir un decaimiento en las plantas, desencadenando con ello procesos patológicos de mayor alcance (Dans et al., 1999).

Si, por ejemplo, no se practica la poda de forma correcta se producen heridas y daños por los que penetran algunos agentes patógenos como *Sphaeropsis sapinea*, también conocida como chancro del pino, que cada día tiene mayor incidencia en las masas adultas de radiata en Galicia. Los árboles afectados presentan acículas con color castaño-rojizo muy peculiar (Dans et al., 1999) aunque presenta gran variedad de daños según las diferentes partes del árbol que han sido atacadas (Hansen y Lewis, 2003). De todas maneras, es menos frecuente en Galicia que en el País Vasco (Dans et al., 1999). Otro agente favorecido por las heridas es *Lachnellula* sp., que llegan a producir el deterioro de la madera a medio y largo plazo (Dans et al., 1999).

Por su parte, *Armillaria* sp. e *Hylobius abietis* son indicadores de que no se hizo una correcta preparación del suelo (Dans et al., 1999), y atacan tanto a plantas jóvenes como a masas adultas (Romanyk y Cadahía, 2001). Un claro síntoma de la presencia de *Armillaria* sp. es la muerte aislada de árboles que en un corto período de tiempo pasa de color verde a amarillento pajizo y a un castaño propio de un árbol seco repentinamente. *H. abietis* aparece frecuente tras los primeros años de la repoblación si se hace en antiguos pinares o en sus proximidades (Dans et al., 1999). El daño principal lo causa el

insecto adulto, que se alimenta de la corteza y del cámbium, lo que puede suponer el anillamiento de la planta, en especial si es joven (Romanyk y Cadahía, 2001).

Las condiciones climáticas influyen en la presencia de *Tomicus piniperda* o de *Dothistroma septospora* (Banda roja), así como de *Thaumtopoea pityocampa* (también conocida como “procesionaria”) (Dans et al., 1999). La procesionaria se detecta fácilmente por la presencia de bolsones blanquecinos colgados en sus ramas a lo largo del invierno, y es fácilmente controlable por medios químicos y biológicos (Dans et al., 1999). Por su parte *Dothistroma septospora* (*D. pini*) provoca manchas color amarillo a marrón, que se convierten en bandas cloróticas acuosas y translúcidas. Pueden volverse de color pardo a pardo-rojizo, dando nombre de banda roja. Las acículas infectadas se vuelven necróticas, primero en la punta y después en una extensa longitud, por lo que caen prematuramente (Hansen y Lewis, 2003), y es la de mayor importancia en Galicia en lo que a reducción de la producción se refiere (Dans et al., 1999).

Rhyacionia buoliana y *Tomicus piniperda*, también se encuentran en masas jóvenes de pino radiata (Dans et al., 1999), encontrando Castellón et al. (1998) la presencia del primero en más del 60% de las repoblaciones que estudiaron. Otros agentes patógenos son *Lecanostiata acicola*, también conocido como “Hoja acastañada”, que puede provocar fuertes defoliaciones en plantaciones jóvenes, y *Leptographium gallaeciae* que se suele encontrar controlado por otros hongos fitófagos que mantienen un equilibrio ecológico entre ellos (Dans et al., 1999).

2.2.- PRODUCTIVIDAD Y PROBLEMAS NUTRICIONALES DEL PINO RADIATA EN GALICIA.

El clima se considera el factor más importante en la productividad del pino radiata (Sánchez-Rodríguez et al., 2002). Su óptimo de crecimiento está entre los 5 °C de temperatura media mínima y 20 °C de temperatura media máxima (Jackson y Gifford, 1974), con una temperatura media óptima de 12 °C (Hunter y Gibson, 1984).

Tras el clima, y en este orden de importancia, encontramos las características físicas del suelo (Sánchez-Rodríguez et al., 2002; Turner y Holmes, 1985; Lewis et al., 1976) y su fertilidad (Sánchez-Rodríguez et al., 2002). Como las dos primeras no son modificables,

hemos de centrarnos en el estudio del estado nutricional de las plantaciones como herramienta para predecir las producciones que conseguiremos con esta especie.

De hecho, el pino radiata alcanza crecimientos de 14 m³ por hectárea y año (Romanya y Vallejo, 2004), variando enormemente esta producción entre plantaciones, lo que parece estar relacionado, como hemos visto, con el estado nutricional de la masa (Sánchez-Rodríguez et al., 1998) y con las técnicas de preparación del terreno empleadas (Merino y Edeso, 1999), pues semejante crecimiento implica una gran demanda de agua y nutrientes.

Las fertilizaciones de masas de pino radiata son prácticas habituales en países con amplia experiencia selvícola para mantener un rendimiento económico alto y sostenido (Birk, 1994; Turner y Lambert, 1986). También en Galicia se ha demostrado la eficacia de fertilizaciones adecuadas en las masas de esta especie (Bará y Morales, 1977; Bará, 1974, 1990; Solla-Gullón et al., 2004). Sin embargo las plantaciones españolas no se suelen fertilizar, lo que conlleva frecuentemente a deficiencias nutricionales (Romanya y Vallejo, 1996; Ouro, et al., 1999; Zas y Serrada, 2003), lo que limita su crecimiento potencial y su vigor vegetativo.

De hecho, algunos estudios han puesto en evidencia importantes problemas nutricionales en masas de pino radiata en el norte de España. Las deficiencias en fósforo son las más frecuentes (Brañas et al., 2000, Mesanza et al., 1993; Romanya y Vallejo, 1996,2000; Palacios et al., 1995), mientras que el nitrógeno rara vez es deficitario, e incluso llega a ser excesivo para una nutrición correcta (Mesanza et al., 1993; Palacios et al., 1995).

Dentro del norte de España, los problemas nutricionales en Galicia cabe esperar que sean peores (Zas y Serrada, 2003), debido a las propiedades de los suelos gallegos, caracterizados por tener textura gruesa, su carácter ácido, con alto contenido en materia orgánica y bajos niveles de nutrientes (Macías et al., 1982), por lo que son esperables importantes beneficios tras una adecuada fertilización (Zas y Serrada, 2003). De hecho, en Galicia se han encontrado también frecuentes deficiencias en fósforo (Sánchez-Rodríguez et al., 2002; Zas y Serrada, 2003) y Magnesio (Sánchez-Rodríguez et al., 2002; Zas, 2003a), mientras que el nitrógeno se encuentra en exceso, por lo que las

relaciones N:P, N:K y N:Mg aparecen muy descompensadas (Zas y Serrada, 2003). Algunos autores han observado una correlación negativa entre la calidad de estación del pino radiata y los niveles de N en el suelo (Gandullo et al., 1974; Romanya y Vallejo, 2000; Sánchez-Rodríguez et al., 2002) o los niveles foliares de N (Mesanza et al., 1993, Sánchez-Rodríguez et al., 1998; Zas y Serrada, 2003).

2.3.- EL PROGRAMA DE MEJORA DEL PINO RADIATA EN GALICIA

El pino insigne se ha convertido en muy pocos años en la tercera especie forestal de importancia comercial en Galicia. Con el pino del país (*Pinus pinaster*) y el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) forma el grupo de maderas que sostiene el 90% de la industria forestal gallega (Dans et al., 1999). Este hecho, así como el de estar incluida en la lista de especies de la Directiva CE/1999/C 199/0 convierte en prioritaria la selección de materiales de base de pino radiata (Fernández-López, 2001). De esta manera se podrá estudiar la variabilidad genética existente entre y dentro de las poblaciones, y definir los métodos de selección a utilizar para mejorar la calidad y el rendimiento de las poblaciones, conservando la diversidad genética.

Las actividades de selección de pino radiata en Galicia fueron iniciadas en 1992 con la selección de cincuenta y siete árboles de características fenotípicas (crecimiento, forma, ramosidad, ...) superiores en las masas de la Meseta Central Lucense y en el ángulo NE de la Costa Norte de la Coruña. Posteriormente en 1999 fueron seleccionados 20 árboles más. En 1997 se inició la instalación de un huerto clonal semillero en Sergude (Santiago) en el que están incluidos 58 clones (Codesido y Merlo, 2001).

Al tratarse de una especie con graves problemas sanitarios los objetivos de la mejora han de ser no sólo la selección por vigor, calidad de fustes y buenas características de ramosidad, sino también por resistencia a la banda roja (*Dothistroma pini*) y a la banda marrón (*Lecanosticta acicola*). Con este objetivo se inició la instalación de un ensayo de progenie de polinización abierta de los árboles superiores instalados en el huerto. La recogida de semillas se realizó en los *ortet* en monte. Se han instalando ensayos de progenie de polinización abierta en cuatro sitios distribuidos en el área de plantación de

la especie en Galicia, de manera que se pudieran seleccionar materiales con elevada estabilidad ambiental. Este programa de mejora de pino radiata basado en la población gallega parte del supuesto de que existe variabilidad suficiente en las poblaciones gallegas como para iniciar un programa de mejora. Aunque no se conoce exactamente qué origen y variabilidad tienen las poblaciones gallegas de pino radiata se sabe que en los años cincuenta y sesenta hubo introducciones desde Estados Unidos. Aragonés et al. (1997) han demostrado que las poblaciones del País Vasco son de la procedencia Año Nuevo.

En el caso de las poblaciones gallegas, se ha de determinar si existe variabilidad suficiente para poder proceder con la mejora, así como de la posible existencia de adaptación local.

2.4.- INTERACCIÓN GENOTIPO X NUTRICIÓN.

Hay ocasiones en las que se presentan cambios de ranking en los comportamientos de unos genotipos dados cuando crecen en una serie de ambientes diferentes. Se habla entonces de inestabilidad genotípica y se dice que existe una interacción entre genotipo y ambiente (GxE) (Pardos, 1988). Esta interacción no se debe confundir con la simple respuesta a diferencias ambientales, donde el ranking relativo entre las familias testadas permanece invariante, aunque el comportamiento medio de las familias en los diferentes ambientes sea muy distinto (Zobel y Talbert, 1984).

En la Figura 5, tomada de Lynch y Walsh (1997) se muestra un ejemplo esquemático del comportamiento de 3 genotipos en dos ambientes con y sin interacción Genotipo x Ambiente. En la figura a) se muestra la situación donde no hay interacción genotipo ambiente: los tres genotipos muestran un comportamiento relativo similar en los dos ambientes. En la figura b) la interacción genotipo ambiente es debida a un cambio de escala, siendo las diferencias más acusadas en uno de los ambientes. En la figura c) la interacción genotipo ambiente se debe a un cambio de orden respecto al factor considerado: el genotipo más valorado en un ambiente es el menos valorado en el otro. Y en la figura d) la interacción genotipo ambiente se debe tanto a un cambio de escala como un cambio de orden: las diferencias son más acusadas en uno de los ambientes y además el orden de los genotipos varía entre ambientes.

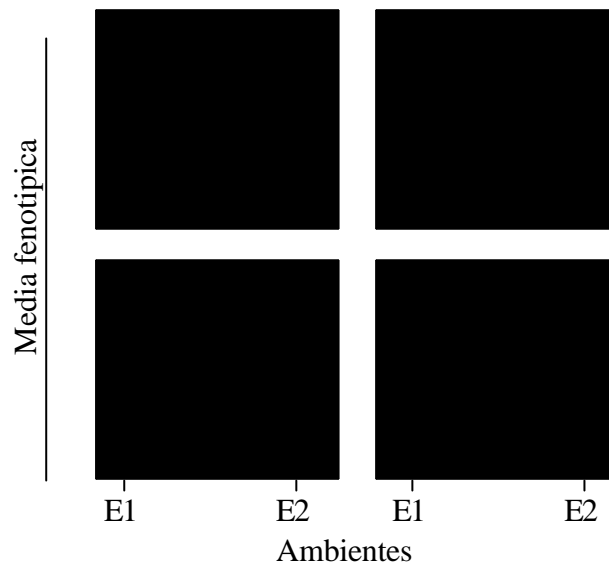


Figura 5.- Variación de la interacción genotipo ambiente de un factor cuantitativo medido en tres genotipos en dos ambientes diferentes (E1 y E2).

Un dilema en mejora genética forestal es si la interacción entre genotipo y ambiente dificulta los trabajos de mejora, por necesitar mayor número de réplicas en distintas localizaciones, o si una fuente de interacción ofrece la oportunidad de aumentar la ganancia genética, pudiendo obtener genotipos especialmente buenos en ambientes específicos (Squillace, 1969).

Es por ello que hay dos maneras de utilizar esta interacción. La primera es zonificar el área de mejora y desarrollar un genotipo específico para cada zona, lo que maximizaría la producción; y la segunda es buscar familias estables que posean un comportamiento adecuado en todos los ambientes, lo que aseguraría una producción mínima en cada sitio (Kanzler, 2002).

La experiencia demuestra que las procedencias son menos sensibles a la interacción entre genotipo y ambiente que las familias, siéndolo estas, a su vez, menos que los clones. Los caracteres de vigor son más afectados que los de forma, y estos lo son en menor grado que los fenológicos (Pardos, 1988). Además, es más probable que ocurra cuando los ambientes son muy distintos (Zobel y Talbert, 1984).

Esta heterogeneidad entre sitios que induce interacción Genotipo x Ambiente puede ser debida a variaciones en el suelo y/o condiciones climáticas (Gwazw et al., 2001). De esta manera, si consideramos que la fertilización afecta de forma importante a las condiciones productivas de la plantación, podemos encuadrar la interacción Genotipo x Nutrición como un caso particular dentro de la interacción Genotipo x Ambiente.

Dentro de la interacción Genotipo x Nutrición deben conocerse tres conceptos claves. El primero de ellos es la “productividad nutricional”, que es la estimación de la biomasa producida por unidad de tiempo y de cantidad interna de un determinado nutriente. El segundo es la “utilización nutricional”, que es la biomasa producida por cantidad de un determinado elemento en las hojas; y por último la “capacidad de adquisición nutricional”, que es la relación entre la cantidad de nutriente asimilado en condiciones lejanas del óptimo y la asimilación cuando no hay limitaciones de aporte (Abraitis et al., 1998). Pero estos tres tipos teóricos de valorar la eficiencia nutricional de un genotipo pueden simplificarse en dos más sencillos y prácticos: capacidad de crecimiento en estaciones nutricionales pobres y capacidad de responder en mayor o menor grado a los aportes externos de fertilizantes (Turner y Lambert, 1986).

Ambos conceptos han de ser tenidos en cuenta en el programa de mejora de *P. radiata* en Galicia, puesto que las repoblaciones con esta especie se realizan sobre terrenos muy diversos en lo que a recursos nutritivos se refiere, y además no siempre se realizan tratamientos de fertilización, pese a ser necesarios en muchos de los casos. Es por ello que se incluyen dentro de este programa de mejora ensayos factoriales Familia x Fertilización, de manera que pueda ser evaluado el material de mejora bajo distintos tratamientos de fertilización, así como analizar la estabilidad genética de dichas familias frente a distintas condiciones de disponibilidad de nutrientes.

Estudiar esta interacción mediante ensayos factoriales de fertilización es relativamente sencillo, pudiéndose simular los distintos estados nutricionales en una misma estación o localidad (Zobel y Talbert, 1984) y en caso de resultar significativa, permite sugerir el continuar los estudios de Genotipo x Nutrición mediante otros tipos de ensayos y análisis (Zas y Pichel, 2001).

Estos ensayos se pueden realizar en condiciones controladas (en invernadero), como los realizados por Jonsson et al. (1997), Mari et al. (2003) o Zas y Fernández-López (2005). Sin embargo, los resultados así obtenidos no permiten valorar la capacidad de los distintos genotipos de crecer en condiciones reales, limitándose, además, a breves períodos de tiempo. Para superar dichos inconvenientes se han realizado ensayos en campo, como los realizados por Crawford et al. (1991), Fife y Nambiar (1995), Xiao et al. (2003). De todas maneras, en estos casos se ve dificultada la interpretación de los datos, pues hay interferencias de otros factores como las variaciones ambientales locales, la presencia de micorrizas, ataque de patógenos, etc. Esto podría ser solventado, al menos en parte, estudiando las relaciones existentes entre datos de localizaciones distintas.

3.- OBJETIVOS

Considerando la importancia de la nutrición en la productividad de *P. radiata* en Galicia, y considerando que la interacción Genotipo x Ambiente debe ser analizada y valorada para poder definir una estrategia óptima de selección y mejora, se han planteado los siguientes objetivos para el presente estudio:

1.- Analizar el efecto de diferentes tratamientos de fertilización de establecimiento sobre el crecimiento y la supervivencia de *P. radiata* durante los dos primeros años tras la plantación en tres diferentes localizaciones en la zona costera de Galicia.

2.- Valorar la importancia de la interacción Genotipo x Fertilización en una muestra de material seleccionado del programa de mejora de *P. radiata* de Galicia para la zona costera frente a una disponibilidad de nutrientes variable generada por distintos tratamientos de fertilización en tres ensayos de progenie.

3.- Estudiar la estabilidad genética de dicho material frente a los distintos tratamientos de fertilización aplicados, y determinar la repetitividad de los resultados entre las diferentes localizaciones estudiadas.

Complementariamente, los resultados ayudarán a optimizar la fertilización de establecimiento en plantaciones de *P. radiata* en Galicia.

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

El siguiente capítulo se divide en cinco apartados. En el primero se describe el tipo de plantas utilizadas en el ensayo, mientras que en el segundo se especifican los tipos de abonos empleados. A continuación, se hace una breve descripción de los terrenos donde se han instalado las parcelas de ensayo. El diseño experimental adoptado en las parcelas y la distribución de los tratamientos de fertilización se especifican en el cuarto. En el último apartado, se describe el proceso de toma de datos así como la metodología empleada en el análisis estadístico.

4.1.- MATERIAL VEGETAL EMPLEADO EN EL ENSAYO

Se utilizaron 27 familias seleccionadas al azar de las presentes en el huerto semillero de Sergude. Además, se contó con un testigo comercial para la zona costera gallega comprado a la empresa NORFOR y 3 testigos procedentes del programa de mejora de pino radiata del País Vasco. Para marcar la separación entre los bloques dentro de las parcelas de ensayo se utilizó semilla comercial de *P. pinaster*, aunque finalmente no se ha incluido en el análisis estadístico.

Las plantas llevan un etiquetado especial, resistente a condiciones extremas, que permitirá su identificación en campo durante los cinco primeros años. Las etiquetas de las plantas tienen tres letras que indican la especie (en este caso PRA), y a continuación se muestra un código numérico que identifica a la familia, salvo en el caso de los testigos, que llevan las letras TCOST en el caso de la semilla comercial gallega y TCAV, TPV-52 y TPV-34 los procedentes del programa de mejora del País Vasco.

Toda la semilla procedente de los programas de mejora se sembró a principios de Septiembre de 2002 en contenedor Super-leach de 125 cc sobre corteza compostada. A pesar de que la siembra fue tardía la planta presentaba un tamaño óptimo en el momento de la plantación con alrededor de 10 cm de altura, muy buena proporción entre la parte aérea y radical y con un buen sistema radicular: raíces ramificadas y sueltas con crecimientos actuales, pero con el problema de mala sujeción del substrato del cepellón. En el momento de la plantación, extraer la planta del Super-leach causaba

cierta dificultad y el cepellón se deshacía en ocasiones al sacarla. La planta del testigo fue comprada en un vivero forestal de la empresa NORFOR y repicada en el mismo substrato y contenedor que la procedente de los programas de mejora.

4.2.- PREPARACIÓN DEL TERRENO

Las tres parcelas fueron plantadas durante el mes de abril de 2003. La preparación del terreno en Rebordelo y Rianxo consistió en un desbroce a hecho, subsolado cruzado dejando un marco de plantación de 3 x 2, y apertura manual de casilla de 40 x 40 x 40 cm en los cruces del subsolado. En la parcela de Forgoselo se realizó un subsolado simple seguido de un fresado por encima de la línea de subsolado. El marco de plantación fue también de 3 x 2 m., sin apertura manual de casilla.

4.3.- TIPOS DE ABONOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO

En las tres parcelas de ensayo se aplicaron 9 tratamientos distintos de fertilización establecidos a partir de combinaciones de 4 abonos comerciales: N (nitrato amónico), Pca (Superfosfato de Cal), K (Sulfato Potásico) y Mg (Sulfato Magnésico). Los distintos tipos de abono y las combinaciones utilizadas en los tratamientos de fertilización del ensayo se muestran en la Tabla 1. Las dosis de cada uno de los abonos incluidos en los tratamientos de fertilización se definieron basándonos en Birk (1994).

Tabla 1.- Códigos y composición de los tratamientos de fertilización. La presencia o ausencia de un compuesto dado en la mezcla de los fertilizantes se indica por + y - respectivamente.

Nutriente	Fertilizante	Dosis	Tratamientos								
			T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
N	Nitrato amónico	5 g N / planta	-	+	-	+	+	+	-	-	-
Pca	Superfosfato	10 g P / planta	-	+	+	-	+	+	-	+	+
K	Sulfato potásico	15 g K / planta	-	+	+	+	-	+	+	-	+
Mg	Sulfato magnésico	5 g Mg / planta	-	+	+	+	+	-	+	+	-

La fertilización se realizó inmediatamente después de la plantación, espolvoreando el abono granulado alrededor de las plantas (en 0,5 m en diámetro) y cubriéndolo con una fina capa de tierra.

4.4.- CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOS SITIOS DE ENSAYO

4.4.1.- SITUACIÓN Y PERTENENCIA

La localización de las parcelas utilizadas en el ensayo puede verse en la Figura 6, y sus coordenadas geográficas y altitud sobre el nivel del mar, así como los datos relativos a su pertenencia, en la Tabla 2.

Figura 6.- Localización de las parcelas de ensayo y del huerto semillero de Sergude. En azul, la situación de los árboles plus cuya descendencia se ensaya.

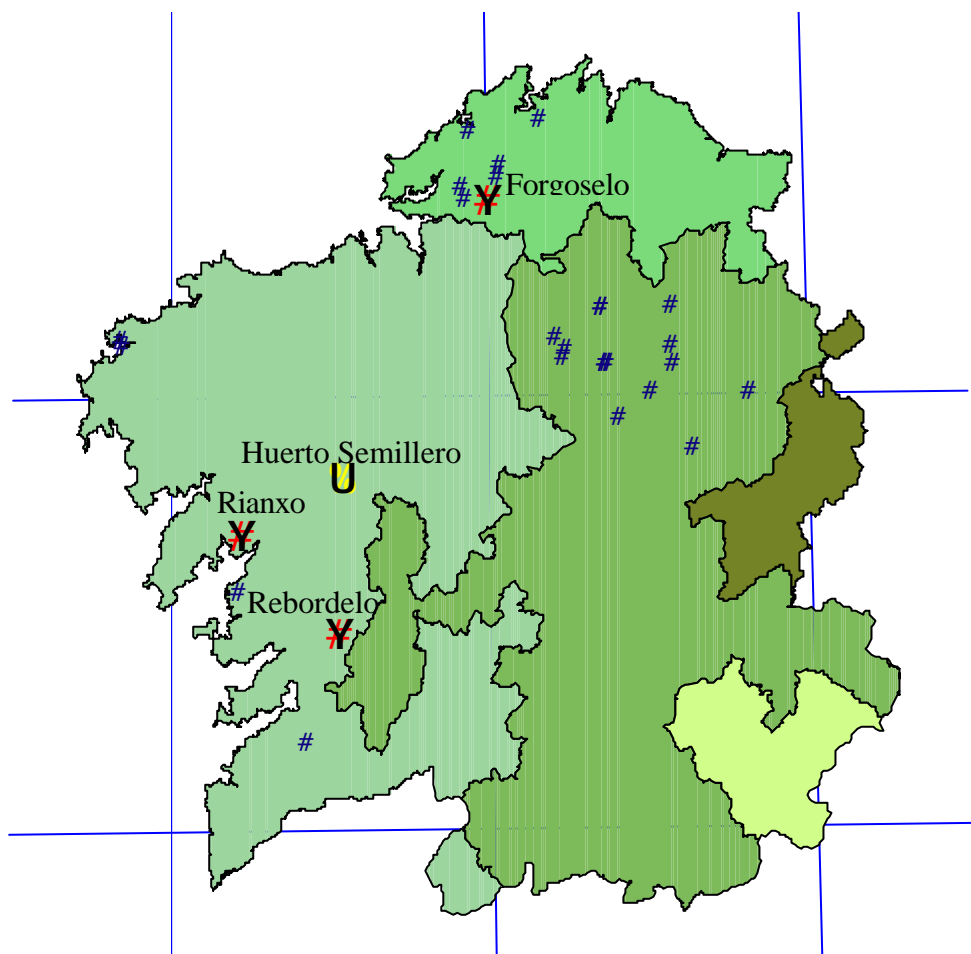


Tabla 2.- Situación de las parcelas del ensayo.

Parcela	Concello	Propiedad	Coordenadas UTM (Huso 29)		Altitud (m)
			X	Y	
Rebordelo	Cotobade	CMVMC Rebordelo	543.050	4.701.200	530
Rianxo	Rianxo	CMVMC Asados	518.000	4.726.000	90
Forgoselo	A Capela	CMVMC Forgoselo	581.220	4.812.472	530

4.4.2.- GEOLOGÍA Y LITOLOGÍA

De acuerdo con la información reflejada en los Mapas Geológicos de España, realizados por el Instituto Geológico y Minero de España en el año 1981, las parcelas de Forgoselo y Rianxo se asientan sobre rocas graníticas y sedimentos del Paleozoico Inferior muy consolidados. Presentan litofacies de areniscas, cuarcitas y pizarras. La geología de la parcela situada en Rebordelo, la conforman gneises glandulares con intercalaciones graníticas y esquistos indiferenciados, con lechos micáceos y megacrístales de feldespato muy característicos.

4.4.3.- EDAFOLOGÍA

Se tomaron muestras de suelo en las tres parcelas del ensayo para realizar análisis químicos y comprobar cual es el estado nutricional de partida. Se tomaron 3 muestras compuestas en cada parcela a partir de 5 submuestras cada una, en zonas donde no se había realizado ningún tratamiento de fertilización (T0). Las muestras de suelo se tomaron con un sacamuestras de suelo de 8 cm de diámetro, tomando muestras del estrato superficial de 20 cm de profundidad. Las muestras tomadas dentro de un bloque se mezclaron y luego se secaron al aire durante unos días. Posteriormente, se secaron en una estufa a 60° hasta alcanzar peso constante para poder analizarlas.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los análisis de suelos efectuados en las muestras recogidas en cada una de las parcelas. Los valores de pH caracterizan a los suelos de estas parcelas como muy ácidos, consecuencia de la roca madre sobre la que se han formado. Son suelos muy parecidos, especialmente Rianxo y Rebordelo. Tienen mucha materia orgánica y N. Los niveles de P son muy bajos especialmente en Rianxo, los niveles de K son medios y los niveles de Ca y Mg también son bajos. El análisis granulométrico muestra que se trata de suelos con textura franco arenosa (Figura 7), algo más gruesa en Forgoselo.

Tabla 3.- Resumen de la analítica edáfica de las tres parcelas. Se muestran los promedios de tres muestras compuestas por cinco submuestras superficiales (0-20 cm.) cada una.

	Forgoselo Rebordelo Rianxo		
Roca madre	Granito	Gneis	Granito
pH	4,2	4,0	4,3
M.O. (%) (%)	20,8	18,1	17,0
N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	8,3	7,1	6,3
P Olsen ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5,2	4,9	1,4
K⁺ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	119,6	94,9	117,0
Ca⁺² ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	156,7	68,7	52,7
Mg⁺² ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	29,6	25,6	24,4

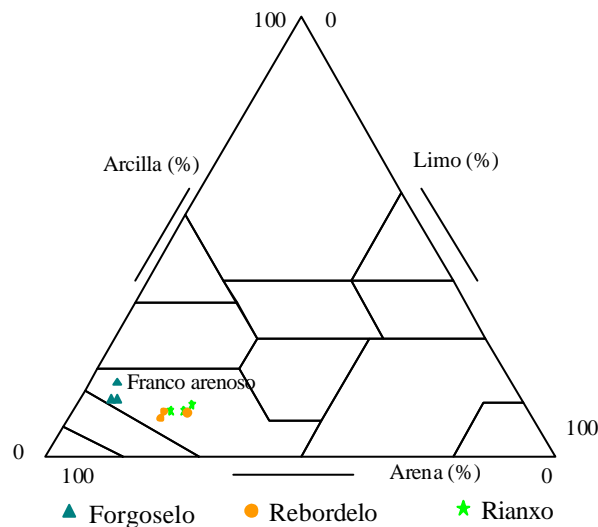


Figura 7.- Situación de las muestras de suelo de las tres parcelas en el triángulo de texturas (U.S.D.A., 1951).

El suelo en la parcela de Rebordelo es suelto y profundo, poco pedregoso. Posee una capa superficial de materia orgánica importante, con presencia de restos vegetales grandes y virutas procedentes del desbroce efectuado sobre el denso matorral preexistente. La tierra de Forgoselo posee una coloración negra, con escasa profundidad de suelo, variable en función de la presencia de rocas. Es una zona que tiende a encharcarse con facilidad. Hay afloramientos rocosos dispersos por la parcela, pero de pequeña dimensión. Por lo que respecta a la parcela de Rianxo, el suelo presenta una buena aptitud. La profundidad de suelo es elevada, con abundancia de materia orgánica en descomposición formando un humus de buena estructura y espesor, por lo que

presenta un llamativo color negro. Hay presencia de restos de corta triturados por toda la parcela. No presenta afloramientos rocosos destacables.

4.4.4.- CLIMATOLOGÍA

Para analizar la climatología de las parcelas se ha utilizado el programa informático CLIMGA, que partiendo de las coordenadas UTM y la altitud a la que se encuentran las parcelas, proporciona los datos de precipitación y temperatura media mensual normales (Acevedo, 2000; Zas y Acevedo, 2001).

El programa informático CLIMGA utiliza los datos de las estaciones meteorológicas del sector climático donde se encuentra el punto en cuestión corrigiéndolos según el desnivel altitudinal y la diferencia de latitudes mediante ecuaciones de corrección específicas de cada sector. En nuestro caso, los datos obtenidos en cada parcela se recogen en el ANEXO II.

Tabla 4.- Resumen de las variables climáticas de las tres parcelas.

	Forgoselo	Rebordelo	Rianxo
Precipitación anual (mm)	1931	2380	1872
Precipitación estival (mm)	119	79	56
Temperatura media anual (°C)	11,6	11,3	14,5
ETP: Evapotranspiración potencial (mm)	662	657	745
Índice hídrico (mm)	188,15	260,72	148,19
IBP: Intensidad bioclimática potencial (ubc)	9,9	9,6	16,8
IBL: Intensidad bioclimática libre (ubc)	9,9	9,6	14,8
IBS: Intensidad bioclimática seca (ubc)	0	0	0
Eficiencia térmica	Mesotérmico	Mesotérmico	Mesotérmico
Índice hídrico anual	Muy Húmedo	Muy Húmedo	Muy húmedo
Escasez de agua (meses)	0	2	3
Déficit de humedad (mm)	0	21,7	74,5
Parada vegetativa por frío (meses)	1,5	3	0

Partiendo de los datos anteriores y mediante el empleo del programa informático PROCLI 1.0, se han obtenido los valores de ETP calculada por Thornthwaite, balances hídricos y diagramas Bioclimáticos de las tres parcelas (ANEXO II). Para el cálculo de los índices bioclimáticos y de los bioclimodiagramas se utilizó una capacidad de

retención de agua en el suelo de 100 mm y un coeficiente de escorrentía del 10%. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 4 en la que se muestran diferentes clasificaciones climáticas e índices fitoclimáticos para las tres parcelas.

4.4.5.- VEGETACIÓN POTENCIAL

Las tres parcelas, según el Mapa de Series de Vegetación de Rivas - Martínez (1987), se encuentran dentro de la región eurosiberiana atlántico-europea. Pertenecen al piso Colino y dentro de este, se encuadra en la serie de vegetación 8ª o colina galaicoportuguesa acidófila del roble o *Quercus robur* (*Rusco aculeati-Querceto roboris sigmetum*) con una vegetación potencial de robledales acidófilos. Debido a la inexistencia de particularidades adversas en cuanto a pendientes, pedregosidad, etc, podemos concluir que la vegetación climax de la zona sería de robledales en toda la superficie.

4.4.6.- VEGETACIÓN PREEXISTENTE

En la parcela de Rebordelo existía matorral denso y alto de *Ulex* sp., *Rubus* sp. y *Cytisus* sp., con pies aislados de tamaño variable de *Quercus robur*, *Betula celtiberica*, *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*, *Ilex aquifolium*, *Pyrus* sp. y *Cornus* sp. A excepción de dos pies de dimensiones considerables de acebo, el resto se han desbrozado antes de la plantación, dejando un tamiz espeso de restos de materia orgánica.

La parcela de Forgoselo estuvo poblada con pino radiata con anterioridad, aunque presentaban mala conformación de los troncos y excesiva ramosidad. La masa fue talada varios años antes de la plantación del ensayo. Presenta muchos restos de materia orgánica procedentes de ramas, piñas y restos de material desbrozado. El matorral predominante es de *Ulex galli*. Además hay una incipiente vegetación herbácea recientemente pastoreada, pues existe ganado en la zona, principalmente vacas y caballos, por lo que se ha procedido a cerrar la parcela. Esta parcela está situada en terrenos pertenecientes a la Red Natura 2000.

Por su parte, la parcela de Rianxo estaba poblada de una masa adulta de aproximadamente 35 años de *P. pinaster*. Dicha masa presentaba buen aspecto con árboles grandes pero de malas formas y ramosos que se cortaron a hecho por estar en edad del turno, tan sólo unos meses antes del establecimiento del ensayo. Como sotobosque existía un matorral ralo formado principalmente por *Pteridium* sp., *Ulex* sp. y *Rubus* sp.

4.4.7.- CUIDADOS POSTERIORES A LA MASA

Después de la plantación, se realizaron en cada parcela labores de mantenimiento. Se realizaron desbroces anuales manuales y mecanizados en las calles de separación para evitar posibles incendios, mejorar la transitabilidad y reducir la vegetación competidora, así como desbroces manuales alrededor de las plantas. En la parcela de Forgoselo se aplicaron herbicidas en las líneas de plantación, cubriendo a los pinos con un protector a fin de evitarles daños.

4.5.- DISEÑO EXPERIMENTAL

4.5.1.- DISEÑO DE LAS PARCELAS

Las tres parcelas son ensayos de Familia x Fertilización y poseen igual diseño. Fueron realizados al amparo del Proyecto de Investigación INIA- RTA2-109, “Avance del programa de selección y mejora de *Pinus radiata* D.Don y *Pinus pinaster* Ait. para Galicia”. Estos ensayos son una réplica de los realizados para *P. pinaster* (Martíns, 2005).

Las tres parcelas se han distribuido conforme a un diseño *split-plot* con 10 bloques. Cada bloque se divide en 9 *whole plots* sobre los que se reparten al azar los 9 tratamientos de fertilización de establecimiento (especificados en Tabla 1). Dentro de cada *whole plot* se reparten al azar una planta de cada una de las 32 unidades genéticas (27 familias del huerto semillero de Sergude + 3 procedentes del programa de mejora genética del País Vasco + 1 de semilla comercial gallega + 1 planta extra de *P. pinaster* (utilizada en uno de los extremos de la unidad experimental, para facilitar la

localización)). El número total de plantas por ensayo es de 32 plantas/unidad experimental x 10 bloques x 9 tratamientos = 2880 plantas en cada ensayo.

En los croquis adjuntos en el Anexo I, se puede apreciar la distribución de los distintos tratamientos de fertilización y la distribución de los distintos genotipos dentro de cada tratamiento.

4.6.- MEDICIONES Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

4.6.1.- MEDICIONES

Se procedió a la medición, con una regla graduada en centímetros, de las alturas de todos los árboles de las tres parcelas después de transcurrir un período vegetativo tras la instalación en el monte (H1) y después de dos períodos vegetativos (H2) en los meses de Febrero y Noviembre de 2004, respectivamente. Posteriormente se realizó el cálculo del crecimiento relativo del primer al segundo año como $H = H2 - H1$.

En Rianxo, en el momento de realizar la primera medición, se detectó un fuerte ataque de *Hylobius abietis* L., lo que provocó fuertes daños en la masa. Este curculiónido descortezador, se mueve a través del tallo, rodeándolo y alimentándose del mismo a su paso, lo que provoca la pérdida de la guía terminal por anillamiento del tallo. Debido a este ataque y con el fin de tener una evaluación del desarrollo no afectada por la plaga, se evaluó también el diámetro en la base del tallo (medida con calibre (mm), variables D1 y D2) de todas las plantas vivas. El estudio del efecto de la fertilización y el genotipo sobre la incidencia de esta plaga ha sido objeto de otro Proyecto Fin de Carrera (Prada, 2006).

A su vez, se procedió a anotar los datos de supervivencia de las tres parcelas del ensayo.

4.6.2.- ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos correspondientes a las alturas y diámetros se analizaron mediante análisis de varianza para diseños factoriales split plot. El análisis individual de cada sitio se realizó utilizando el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS System (SAS-Institute, 1999) y el siguiente modelo mixto:

$$H_{jkl} = \mu + F_j + G_k + B_l + FG_{jk} + GB_{kl} + FB_{jl} + e$$

donde, H_{jkl} es la altura de las plantas (o el diámetro, en su caso), μ es el promedio global, F_j , G_k y B_l son los efectos del tratamiento de fertilización j , genotipo (familias de polinización abierta) k y bloque l respectivamente, FG_{jk} , GB_{kl} , FB_{jl} son las respectivas interacciones, y e es error o residuo del modelo. Para analizar cada factor con el error apropiado, todos los factores se han considerado fijos excepto la interacción FB_{jl} la cual se ha considerado como un factor al azar.

El análisis conjunto de los tres sitios de ensayo se llevó a cabo utilizando el siguiente modelo mixto, con la misma nomenclatura que el anterior:

$$H_{ijkl} = \mu + S_i + F_j + G_k + B_l(S_i) + SF_{ij} + FG_{jk} + SG_{ik} + GB_{kl}(S_i) + SFG_{ijk} + FB_{jl}(S_i) + e$$

donde, H_{ijkl} es la altura de las plantas, S_i es el efecto del sitio i , $B_l(S_i)$ es el efecto del bloque l dentro del sitio i y SF_{ij} , SG_{ik} , $GB_{kl}(S_i)$, SFG_{ijk} y $FB_{jl}(S_i)$ son las respectivas interacciones de los distintos factores con el sitio i . Como en el análisis individual para cada sitio, todos los factores se han considerado fijos excepto la interacción $FB_{jl}(S_i)$ la cual se ha considerado como un efecto al azar.

La comparación estadística de las medias de los tratamientos se realizó usando el comando LSMEANS del procedimiento MIXED (SAS-Institute, 1999).

También se realizó el análisis estadístico de la supervivencia de las plantas en las tres parcelas. La supervivencia de las plantas de cada *whole plot* se analizó como si se tratase de un diseño de Bloques Completos al azar. El modelo utilizado fue:

$$SUP_{jl} = \mu + F_j + B_l + e$$

donde, SUP_{jl} es la supervivencia en el *whole plot* jl y F_j y B_l son los efectos del tratamiento de fertilización j y del bloque l respectivamente.

4.6.3.- PARÁMETROS GENÉTICOS

Para estimar los componentes de la varianza y heredabilidad, se analizaron de nuevo estos dos modelos, considerando el efecto familiar (G_k) y todas las interacciones que encierran a este factor (FG_{jk} , SG_{ik} , $GB_{kl}(S_i)$, SFG_{ijk}), como factores al azar, excluyendo los testigos del análisis.

La heredabilidad individual en cada sitio fue estimada como (Wright, 1976):

$$h_i^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{fg}^2 + \sigma_{bg}^2 + \sigma_e^2}$$

donde, σ_A^2 es la varianza genética aditiva estimada como $4\sigma_g^2$, σ_g^2 es el componente de varianza familiar, σ_{fg}^2 y σ_{bg}^2 son los componentes de varianza para los términos de interacción correspondientes, y σ_e^2 es el componente de varianza para el error.

La heredabilidad familiar se estimó según Wright (1976) (misma nomenclatura que antes):

$$h_f^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{fg}^2 / F + \sigma_{bg}^2 / (B \cdot F) + \sigma_e^2 / (N \cdot B \cdot F)}$$

donde, F es el número de tratamientos de fertilización, B es el número de bloques por sitio y N es el número de plantas por unidad experimental.

Para el análisis conjunto se estimó la heredabilidad individual (Wright, 1976):

$$h_i^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{fg}^2 + \sigma_{sg}^2 + \sigma_{b(s)g}^2 + \sigma_{sfg}^2 + \sigma_e^2}$$

donde, σ_A^2 es la varianza genética aditiva, σ_g^2 es el componente de varianza familiar, σ_{fg}^2 , σ_{bg}^2 , σ_{sg}^2 , $\sigma_{b(s)g}^2$ y σ_{sfg}^2 son los componentes de varianza para los términos de interacción correspondientes, y σ_e^2 es el componente de varianza para el error.

La heredabilidad familiar para el análisis conjunto se calculó a partir de la siguiente expresión (misma nomenclatura que antes):

$$h_f^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{fg}^2 / F + \sigma_{sg}^2 / (S \cdot F) + \sigma_{b(s)g}^2 / (S \cdot B \cdot F) + \sigma_{sfg}^2 / (S \cdot F) + \sigma_e^2 / (N \cdot B \cdot F \cdot S)}$$

donde, S es el número de sitios.

4.6.4.- ESTABILIDAD GENOTÍPICA

Para analizar la estabilidad de cada familia en los diferentes tratamientos de fertilización dentro de cada sitio se han considerado varios parámetros de estabilidad (S_{4i} , W_i y coeficiente de regresión b_i).

S_{4i} es la desviación estándar de los rankings de cada familia sobre los tratamientos de fertilización. Es un método estadístico no paramétrico basado en el orden de los genotipos en los distintos ambientes; por tanto, un genotipo será estable si su posición en el ordenamiento general de todos los genotipos es similar en los distintos ambientes (Cubero et al., 1997). Siguiendo la misma nomenclatura propuesta por Hühn (1979), este estadístico se calcula como sigue:

$$S_{4i} = \left(\frac{1}{n} \sum_j (r_{ij} - \frac{1}{n} \sum_j r_{ij})^2 \right)^{1/2}$$

donde, r_{ij} es el ranking de la familia i en el tratamiento j y n es el número de tratamientos. Este parámetro se puede interpretar como la desviación estándar del ranking de cada familia en los tratamientos de fertilización.

La ecovalencia (W_i), es un estadístico definido por Wricke (1962), que nos aporta la contribución de cada genotipo a la interacción total $G \times E$. Un valor bajo en la ecovalencia refleja la capacidad del genotipo de aportar resultados más consistentes entre ambientes que otros genotipos.

$$W_i = \sum_j (Y_{ij} - Y_i - Y_j + Y_{..})^2$$

donde, W_i es el valor de la ecovalencia de la familia i , $Y_{..}$ es la altura global media, Y_i y Y_j son los valores medios de la familia i ($i = 1$ a 27) y del tratamiento j ($j = 1$ a 9), respectivamente, y Y_{ij} es el valor medio de la familia i en el tratamiento j .

La ecovalencia depende mucho del grupo de genotipos testados y de los ambientes incluidos en el ensayo. Es por ello que se pueden escoger genotipos específicos y sitios específicos. Un genotipo con $W_i = 0$ es considerado como estable en todos los ambientes.

Para el análisis de regresión conjunta se utilizó el modelo propuesto por Finlay y Wilkinson, (1963), el cual realiza la regresión de los valores medios genotípicos sobre las medias ambientales, estimando el coeficiente de regresión de cada genotipo b_i (misma nomenclatura que antes), lo que permite medir la estabilidad y la adaptabilidad relativa.

$$b_i = \frac{\sum_j (Y_{ij} - Y_i)(Y_j - Y_{..})}{\sum_j (Y_j - Y_{..})^2}$$

Cuanto más cercano esté la media de los valores de una familia a la media del sitio, este valor se acercará a 1, y la familia se considera que tiene una estabilidad media o relativa. Si el valor de b_i es mayor que 1, la familia se considera que tiene baja estabilidad, y estará mejor adaptada a sitios buenos. Cuando el valor de b_i es menor que 1 la familia se considera estable, mejor adaptada a sitios pobres.

Estos parámetros de estabilidad se calcularon para cada sitio independientemente. Para comparar la estabilidad entre sitios se estudiaron las correlaciones de los parámetros cada dos sitios para comprobar el grado de relación existente entre las parcelas.

5.- RESULTADOS

El presente capítulo se divide en tres apartados. En el primero se detallan los resultados obtenidos en los análisis de varianza realizados tanto para el desarrollo de la masa como para la supervivencia en los diferentes ambientes ensayados. A continuación se valora la estimación de los parámetros genéticos así como la interacción Familia x Fertilización. Por último, se analizan diversos parámetros para cuantificar la estabilidad de las familias testadas en el ensayo.

5.1.- VALORACIÓN DEL DESARROLLO

5.1.1.- ANALISIS DE LA VARIANZA

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el análisis de varianza para cada sitio individualmente (Tabla 5 y Tabla 6) y para el análisis de los tres sitios en conjunto (Tabla 7), según el modelo indicado en el apartado Material y Métodos.

Tabla 5.- Resumen del análisis de varianza para el crecimiento en altura (AH), altura en el primer año (H1) y altura en el segundo año (H2) para cada una de las tres parcelas. (***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; n.s: $p > 0,05$). Siendo G.L. los grados de libertad.

	Fuente de variación	G.L.	Término de error	AH		H1		H2	
				F	P>F	F	P>F	F	P>F
FORGOSELO	Fertilización (T)	8	T*B	4,94	***	9,84	***	7,65	***
	Bloque (B)	9	T*B	2,09	*	1,53	n.s.	1,44	n.s.
	Familia (G)	30	error	6,65	***	10,14	***	6,28	***
	T*G	240	error	1,14	n.s.	0,937	n.s.	1,05	n.s.
	B*G	270	error	0,88	n.s.	0,85	n.s.	0,86	n.s.
REBORDELO	Fertilización (T)	8	T*B	5,28	***	21,39	***	12,1	***
	Bloque (B)	9	T*B	3,46	n.s.	4,89	***	4,43	***
	Familia (G)	30	error	4,19	***	14,41	***	8,38	***
	T*G	240	error	1,03	n.s.	1,31	n.s.	1,08	n.s.
	B*G	270	error	1,11	n.s.	1,29	n.s.	1,22	*
RIANXO	Fertilización (T)	8	T*B	2,71	*	1,87	n.s.	6,52	***
	Bloque (B)	9	T*B	3,85	***	3,52	n.s.	4,08	***
	Familia (G)	30	error	2,38	***	2,16	***	2,26	***
	T*G	240	error	1,01	n.s.	0,95	n.s.	0,90	n.s.
	B*G	270	error	1,13	n.s.	0,91	n.s.	0,99	n.s.

En los análisis individualizados para cada sitio, se observa un efecto claro de los distintos tratamientos de fertilización (T) en el desarrollo de las plantas tanto en el primer (H1) como en el segundo año (H2) tras la instalación en el monte, así como para el crecimiento relativo entre el primer y el segundo año (AH). Son una excepción los resultados obtenidos en Rianxo para la altura en el primer año, sin duda debido al ataque de *Hylobius abietis* sufrido en esta parcela, que produjo el anillamiento de muchas de las mejores plantas, y la consiguiente pérdida de la guía terminal. Sin embargo, en los resultados obtenidos para ese mismo año sobre los diámetros (Tabla 6), se vuelve a obtener diferencias significativas entre tratamientos, pues *H. abietis* no afectó al crecimiento en grosor de los tallos el primer año. En el segundo año, a pesar de repetirse dicho ataque, los tallos tenían mayor grosor, por lo que no se completó el anillamiento, y por ello los resultados vuelven a mostrar diferencias significativas entre tratamientos, tanto para la altura como para el diámetro. Sin embargo, se pierde el efecto sobre el crecimiento en diámetro (AD).

Tabla 6.- Resumen del análisis de varianza para el crecimiento en diámetro (AD), diámetro el primer año (D1) y diámetro el segundo año (D2) sólo para Rianxo. (*: p < 0,001; **: p <0,01; *: p <0,05; n.s: p>0,05). Siendo G.L. los grados de libertad.**

	Fuente de variación	G.L.	Término de error	AD		D1		D2	
				F	P>F	F	P>F	F	P>F
				RIANXO	Fertilización (T)	8	T*B	2,96	n.s.
	Bloque (B)	9	T*B	2,23	*	7,41	***	3,12	n.s.
	Familia (G)	30	error	1,50	*	2,72	***	2,12	***
	T*G	240	error	0,96	n.s.	0,89	n.s.	0,92	n.s.
	B*G	270	error	0,93	n.s.	0,78	n.s.	0,87	n.s.

Por lo que respecta a la respuesta de las distintas familias (G) representadas en los ensayos, las diferencias resultan altamente significativas en todos los casos para las tres variables estudiadas (Tabla 5 y Tabla 6).

La interacción entre los distintos tratamientos de fertilización aplicados y las familias o genotipos (T*G) no tiene implicaciones significativas sobre el crecimiento en altura en ninguno de los tres ensayos. Tampoco en Rianxo, donde se han medido los diámetros en cuello de raíz, resulta un efecto significativo de dicha interacción sobre su desarrollo.

Por lo que respecta a los resultados para el análisis conjunto de los tres sitios (Tabla 7), los resultados para las tres variables estudiadas son análogos a los obtenidos para cada sitio de manera independiente. Los distintos tratamientos aplicados y los distintos genotipos muestran tener comportamientos significativamente distintos, siempre con una P>F menor de 0,001.

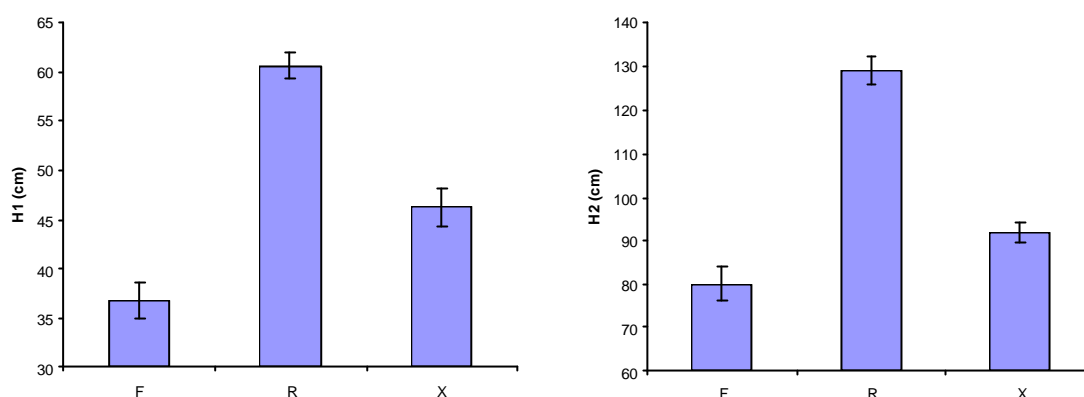
Tabla 7.- : Resumen del análisis de varianza para el crecimiento en altura (AH), la altura en el primer año (H1) y altura en el segundo año (H2) para el análisis conjunto de los tres sitios. (*: p < 0,001; **: p <0,01; *: p <0,05; n.s: p>0,05). Siendo G.L. los grados de libertad.**

Fuente de variación	G.L.	Término de error	AH		H1		H2	
			F	P>F	F	P>F	F	P>F
Sitio (S)	2	T*B(S)	330,21	***	477,24	***	542,06	***
Fertilización (T)	8	T*B(S)	11,36	***	22,81	***	23,18	***
S*T	16	T*B(S)	0,78	n.s.	2,11	n.s.	1,17	n.s.
B(S)	27	T*B(S)	3,1	***	2,99	***	2,82	***
Familia (G)	30	error	6,49	***	12,74	***	10,43	***
T*G	240	error	1,07	n.s.	1,07	n.s.	0,91	n.s.
S*G	60	error	1,74	***	4,22	***	2,62	***
S*T*G	480	error	1,05	n.s.	1,2	n.s.	1,03	n.s.
B*G(S)	810	error	1,06	n.s.	1,07	n.s.	1,04	n.s.

A su vez, la interacción entre los tratamientos de fertilización y las familias (T*G) no resulta significativa para ninguna de las tres variables. Sin embargo, la interacción entre los distintos sitios de ensayo y las distintas familias empleadas resulta altamente significativa tanto para ambos crecimientos como para el crecimiento relativo del primer al segundo año (Tabla 7).

En la Figura 8 se pueden observar las diferencias de los crecimientos alcanzados en cada una de las tres parcelas tanto el primer como el segundo año tras su instalación en el monte. Las plantas en Rebordelo presentan crecimientos mucho mayores en comparación con las de los otros dos sitios de ensayo, siendo Forgoselo, con unas condiciones tanto climáticas como edáficas mucho peores, el sitio donde peores crecimientos se han registrado.

Figura 8.- Media y error estandar para el crecimiento en altura el primer año (H1) y el segundo año (H2) en Forgoselo (F), Rebordelo (R) y Rianxo (X).



A pesar de la diferencia de calidad observada en la Figura 8 entre los tres sitios, la interacción entre el sitio y el tratamiento de fertilización (S*T) no resulta estadísticamente significativa (Tabla 7), lo que se puede apreciar también en la Figura 9 y en la Figura 10, viendo las respuestas paralelas a los diferentes tratamientos de fertilización aplicados en los tres sitios, especialmente en Forgoselo y Rebordelo, pues en Rianxo dicha respuesta no resulta tan uniforme debido al ataque de *H. abietis* sufrido en dicha parcela.

Figura 9.- Media de la altura en el primer año según los distintos tratamientos de fertilización, en las tres localidades del estudio. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada sitio de ensayo. T0 es el tratamiento de control.

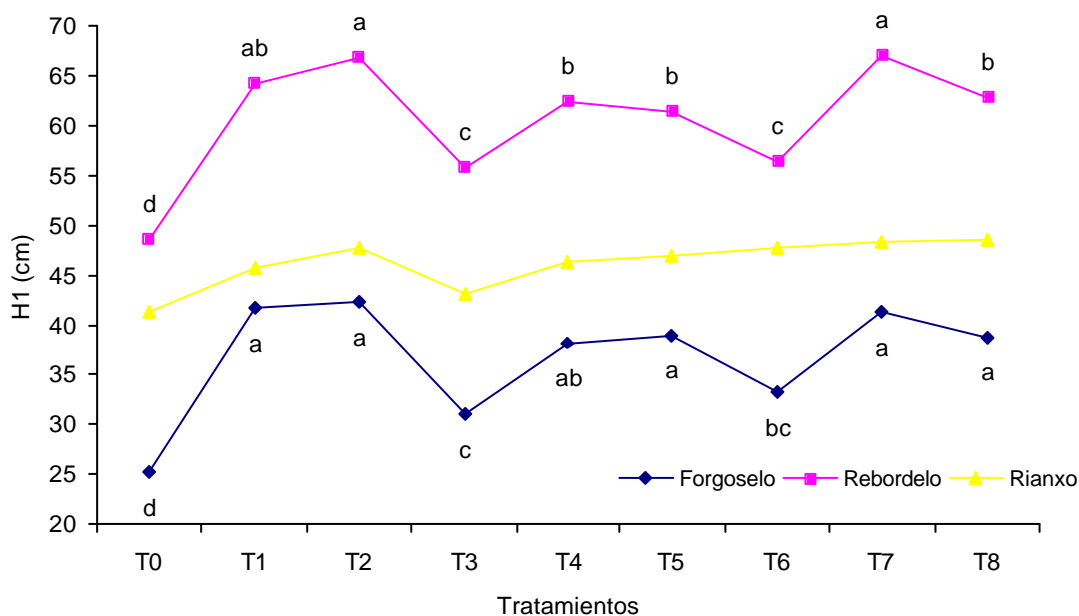
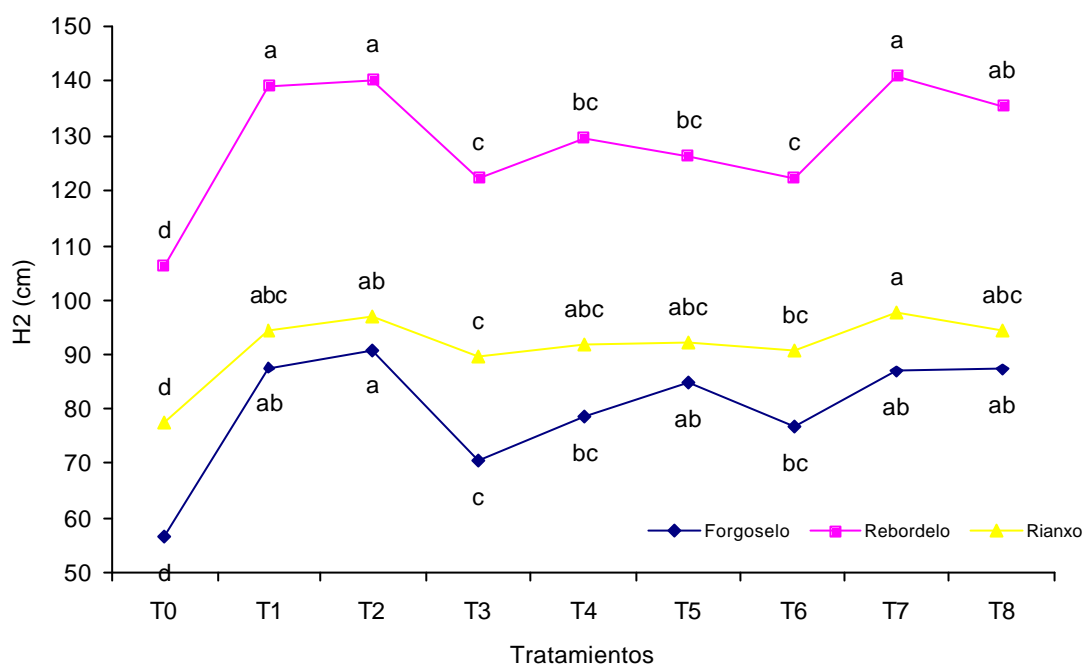


Figura 10.- Media de la altura en el segundo año según los distintos tratamientos de fertilización, en las tres localidades del estudio. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada sitio de ensayo. T0 es el tratamiento de control.



5.1.2.- COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS

Tanto en la Tabla 5 como en la Tabla 7 se podían apreciar diferencias significativas en los crecimientos de las plantas con respecto a los tratamientos de fertilización aplicados. Es por ello que se analizan a continuación las respuestas del conjunto de las familias testadas según los nueve tratamientos de fertilización que se les han aplicado.

En todos los casos estudiados las plantas que no han sido fertilizadas (T0) presentan un desarrollo significativamente menor tanto para el primer como para el segundo año que las que han sido fertilizadas. De entre las fertilizadas, las que mayores crecimientos han desarrollado tanto en la parcela de Forgoselo como en la de Rebordelo son las que crecieron bajo los tratamientos T2 y T7, caracterizados ambos por no aportar Nitrógeno y sí P y Mg, acompañados por el T1, que conlleva aporte de todos los nutrientes testados. Por su parte, el tratamiento T3 es significativamente peor que todos los demás, a excepción del testigo, y comparte comportamiento con el T6, precisamente el otro tratamiento que no lleva aporte de fósforo.

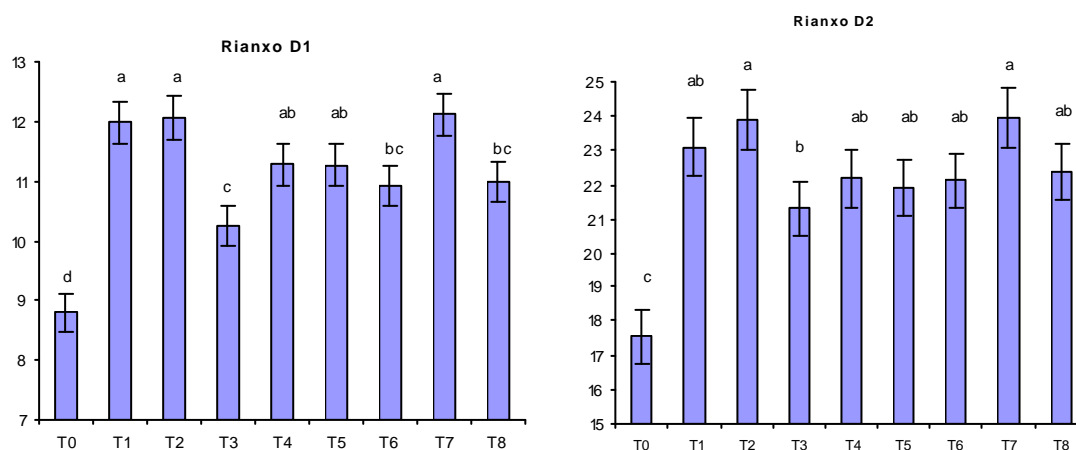
Estas diferencias se ven algo aminoradas en el segundo año (Figura 10) tras su establecimiento en el monte, aunque el testigo sigue resultando significativamente peor

que cualquiera de los tratamientos de fertilización, con diferencias de casi 40 cm con respecto al T2, por ejemplo, en Rebordelo.

Las series correspondientes a la parcela de Rianxo concuerdan con Forgoselo y Rebordelo en lo que al tratamiento T0 se refiere, el que no aporta ningún nutriente suplementario, siendo el que demuestra peores desarrollos en altura tanto para el primer (Figura 9) como para el segundo año (Figura 10). Sin embargo, el comportamiento de las plantas en los tratamientos que conllevan algún aporte de nutrientes varía con respecto a las otras parcelas, pues el ataque de *H. abietis* se ha centrado en las plantas fertilizadas, anillándolas durante el primer año, lo que ha llevado a la pérdida de su guía principal (Prada, 2006; Sampedro y Zas, 2005). Al ser una rama lateral la que recuperó el crecimiento para el segundo año, las diferencias entre tratamientos se han visto aminoradas. Es por ello que no se encuentran diferencias significativas entre las alturas del tratamiento T1 y el T3, por ejemplo, especialmente durante el primer año, pues vistos los resultados del segundo año en comparación con los anteriores cabe esperar que en años próximos los efectos del ataque de este insecto se reduzcan, y los efectos de la fertilización se parezcan más a los obtenidos en Forgoselo y Rebordelo.

En Rianxo, debido a que el ataque de *H. abietis* podía enmascarar los resultados para el caso de la altura, se ha procedido a medir el diámetro en cuello de raíz de todas las plantas. El resultado obtenido para los valores de diámetro, tanto para el primer como para el segundo año se muestran en la Figura 11.

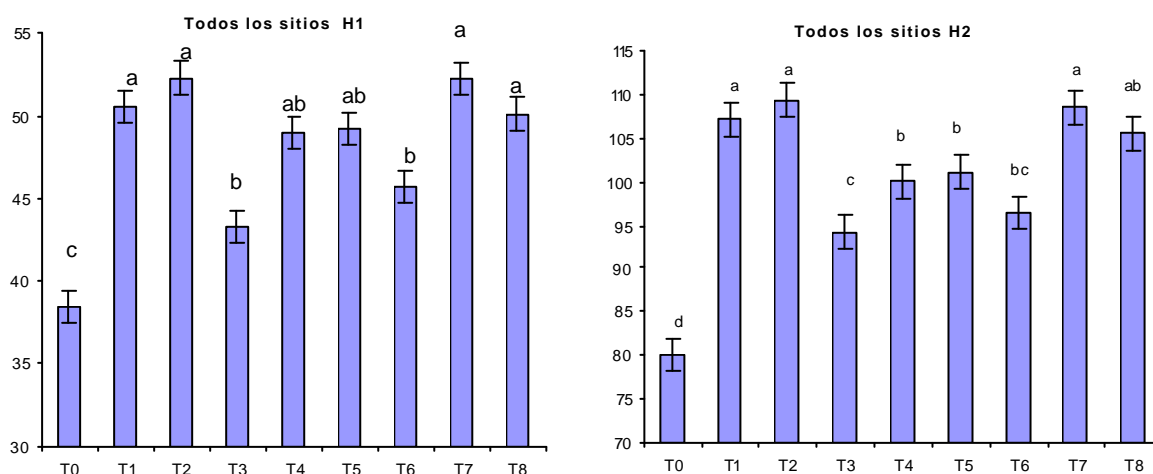
Figura 11.-Media y error estándar para el diámetro en el primer año (D1) y diámetro en el segundo año (D2) según los distintos tratamientos de fertilización para la parcela de ensayo localizada en Rianxo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.



En este caso, los resultados obtenidos para los diámetros son equivalentes a los obtenidos para la altura en las otras dos parcelas. Se puede observar de nuevo que los tratamientos T1, T2 y T7 son los que mejores crecimientos aportan, pues el ataque de *H. abietis* no ha afectado a esta variable. También son las plantas testigo, es decir, las que no han sido fertilizadas (T0) las que de manera significativa presentan los peores crecimientos, seguidos del T3, sin P y con N. En este caso, sin embargo, el T6, aunque comparte letra con el T3, no es diferente de manera significativa con respecto a los comportamientos intermedios de T4, T5 y T8.

En la Figura 12 se muestran los resultados del desarrollo en altura obtenidos en el análisis conjunto de las tres localizaciones simultáneamente. Los resultados se corresponden con los mostrados hasta ahora, siendo T1, T2, T7 y T8 los que mejores desarrollos presentan. Además, T3 y T6 son de nuevo los que peores crecimientos generan de forma significativa, de entre los tratamientos que aportaban nutrientes, pues el peor de todos, también de manera significativa, es el tratamiento control (T0). Los resultados obtenidos para el crecimiento relativo entre el primer y el segundo año (AH) no se muestran, por ser iguales a los obtenidos para H1 y H2.

Figura 12.-Media y error estándar de la altura en el primer año (H1) y altura en el segundo año (H2) según los distintos tratamientos de fertilización para el análisis conjunto de los tres sitios de ensayo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.



Comparando los resultados de la Figura 9 y la Figura 10, se puede deducir que la mayor respuesta a la fertilización se produce donde las plantas sin fertilizar presentan el peor crecimiento en altura, es decir, en Forgoselo. Este crecimiento es del 155%, frente a Rebordelo, que es donde las plantas no fertilizadas presentan las mayores alturas, y donde la respuesta del desarrollo en altura fue inferior (131%), si comparamos el mejor tratamiento (T2) con el peor (T0) para los resultados del segundo año.

Estas diferencias son aún mayores durante el primer año, donde comparando de nuevo T2 con T0, obtenemos un incremento en la altura del 172% en Forgoselo frente a un 137% en Rebordelo.

En Rianxo, estas diferencias son las más pequeñas, siendo del 111% en la altura del primer año y del 127% el segundo, debido al efecto compensatorio que introdujo el ataque de *H. abietis*, secando la guía terminal de las plantas más vigorosas en el primer año, y reduciendo el crecimiento durante el segundo año, sin llegar a anillarlas por completo, debido al mayor diámetro que presentaban tras dos años en el monte.

5.1.3.- COMPARACIÓN DE FAMILIAS

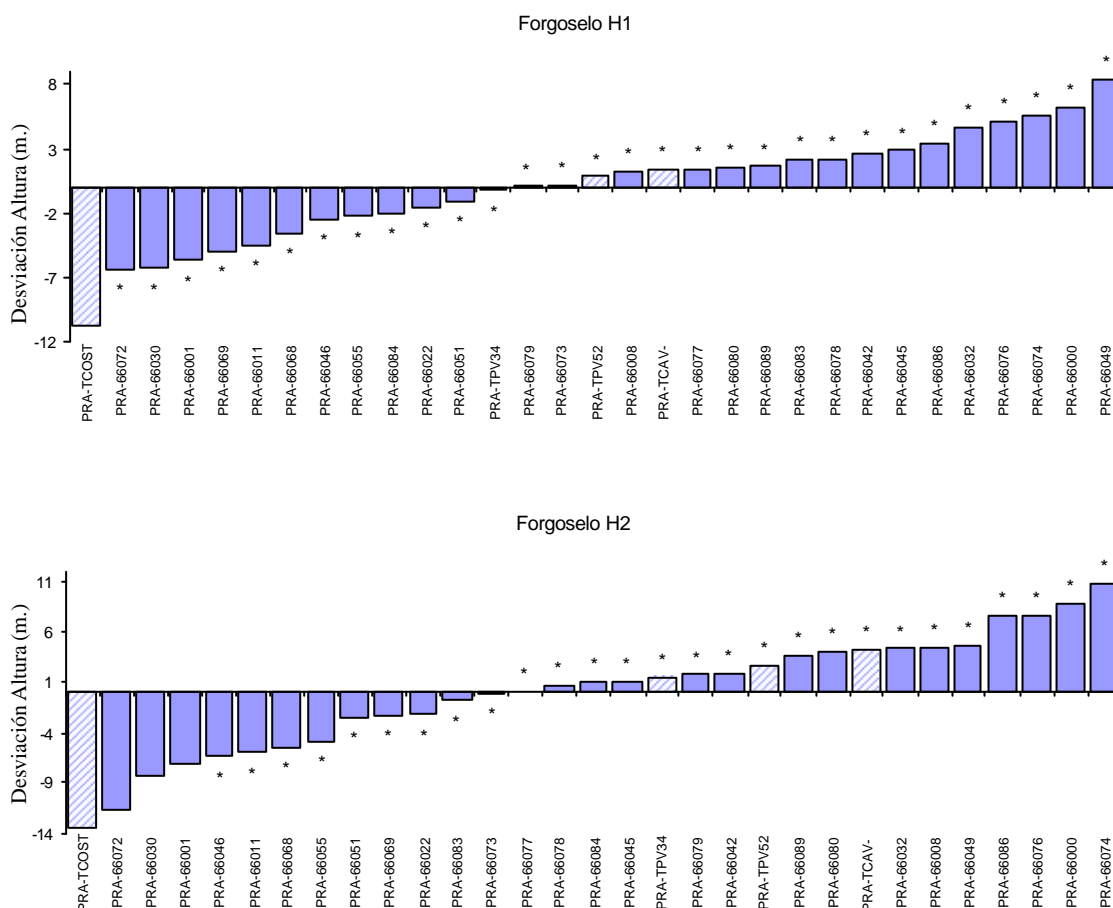
Como se refleja en la Tabla 5 y en la Tabla 7, las diferencias entre familias (G) son también altamente significativas en todos los casos.

En la Figura 13 se muestra el comportamiento de las 27 familias en la parcela de Forgoselo así como de los tres testigos del programa de mejora del País Vasco y de la semilla comercial gallega (TCOST). Como se puede observar, el testigo comercial es significativamente peor que la mayoría de las familias del ensayo, a excepción de la 66072, 66030 y 66001, que se comportan igual que el testigo comercial en el segundo año tras la plantación en el monte. Además, hay otra serie de familias con crecimientos inferiores a la media tanto en el primer como en el segundo año, que son 66046, 66011, 66068, 66055, 66051, 66069 y 66022.

También hay correspondencia en el comportamiento de las diez mejores familias en los dos años en que han sido medidas, siendo las familias 66032, 66049, 66086, 66076, 66000 y 66074 las que mejores crecimientos han alcanzado en ambos años.

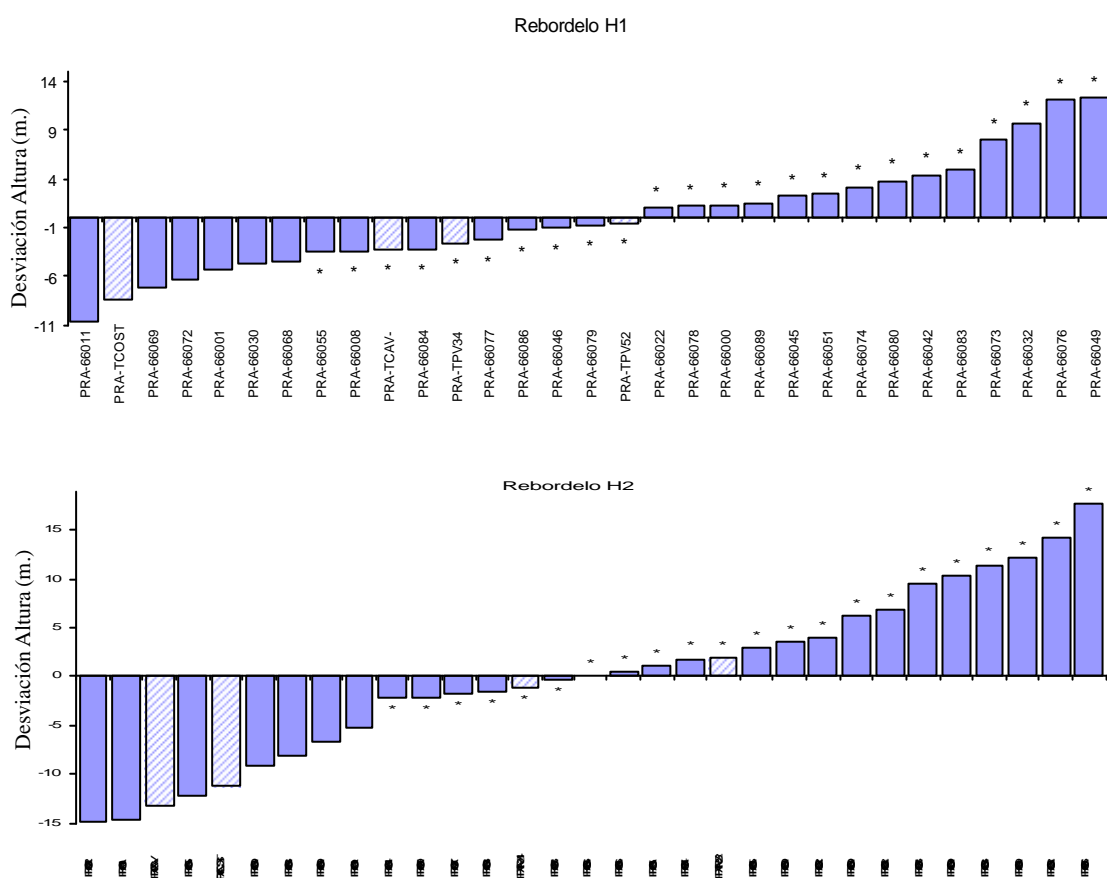
Las familias procedentes del programa de mejora del País Vasco, marcadas como testigos en el Figura 13 presentan comportamientos intermedios, casi siempre con crecimientos por encima de la media, pero sin llegar a alcanzar los 10 mejores puestos, a excepción del TCAV, que se coloca octavo en el segundo año.

Figura 13.- Diferencia entre la media familiar y la media global de los valores de alturas para el primer (H1) y segundo año (H2) en la parcela de Forgoselo. “ * ” indica diferencias significativas con respecto al testigo comercial gallego (TCOST). Sombreados los tres testigos del programa de mejora para pino radiata del País Vasco, y la semilla comercial gallega.



Análogamente se presenta en el Figura 14 la respuesta de las distintas familias en la parcela de Rebordelo.

Figura 14.- Diferencia entre la media familiar y la media global de los valores de alturas para el primer (H1) y segundo año (H2) en la parcela de Rebordelo. “*” indica diferencias significativas con respecto al testigo comercial gallego (TCOST). Sombreados los tres testigos del programa de mejora para pino radiata del País Vasco, y la semilla comercial gallega.



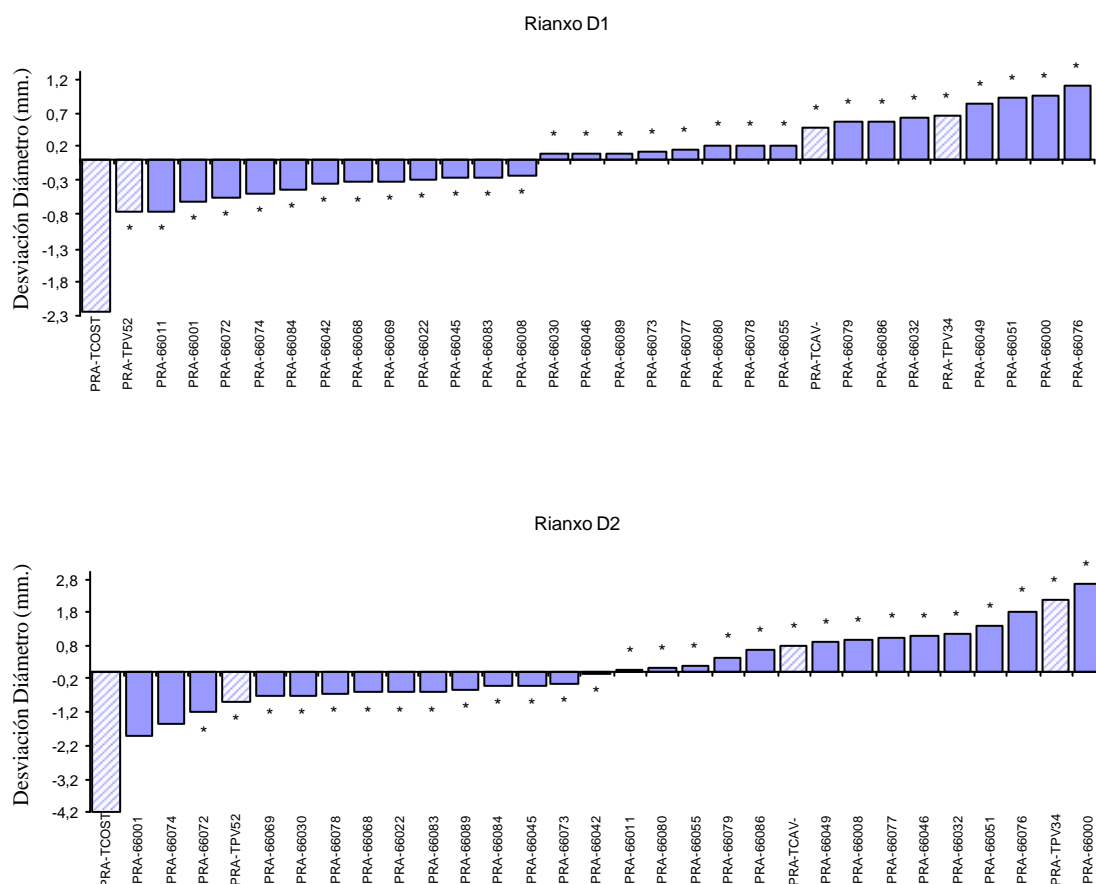
El testigo comercial gallego resulta nuevamente ser el peor de manera significativa, compartiendo esa última posición en cuanto a desarrollos con las familias 66072, 66011, TCAV, 66055, 66030, 66088, 66069 y 66001. Además, se encuentran por debajo de la media las familias 66084, 66079, 66077, 66008, TPV34 y 66078 en ambas mediciones.

En esta parcela de Rebordelo, los testigos procedentes del País Vasco se encuentran por debajo de la media, no como ocurría en Forgoselo, que presentaban un comportamiento medio.

Las familias que conservan alguno de los diez primeros puestos del primer al segundo año son la 66080, 66042, 66073, 66083, 66049, 66032 y 66076.

Para la parcela localizada en Rianxo sólo se muestran los gráficos del comportamiento de los diámetros (Figura 15), pues como ya se ha comentado, los datos para las alturas se han visto alterados por el ataque de *H. abietis* sufrido en esta parcela.

Figura 15.-Diferencia entre la media familiar y la media global de los valores de los diámetros para el primer (D1) y segundo año (D2) en la parcela de Rianxo. “*” indica diferencias significativas con respecto al testigo comercial gallego (TCOST). Sombreados los tres testigos del programa de mejora para pino radiata del País Vasco, y la semilla comercial gallega.



En esta Figura 15 se observa que de nuevo el TCOST presenta los peores crecimientos, junto con las familias 66001 y 66074, mientras que los otros testigos, del programa de mejora del País Vasco, presentan resultados muy dispares, desde el TPV52 que ocupa el quinto peor puesto, hasta el TCAV y TPV34, situados ambos entre los diez mejores tanto para el primer como para el segundo año.

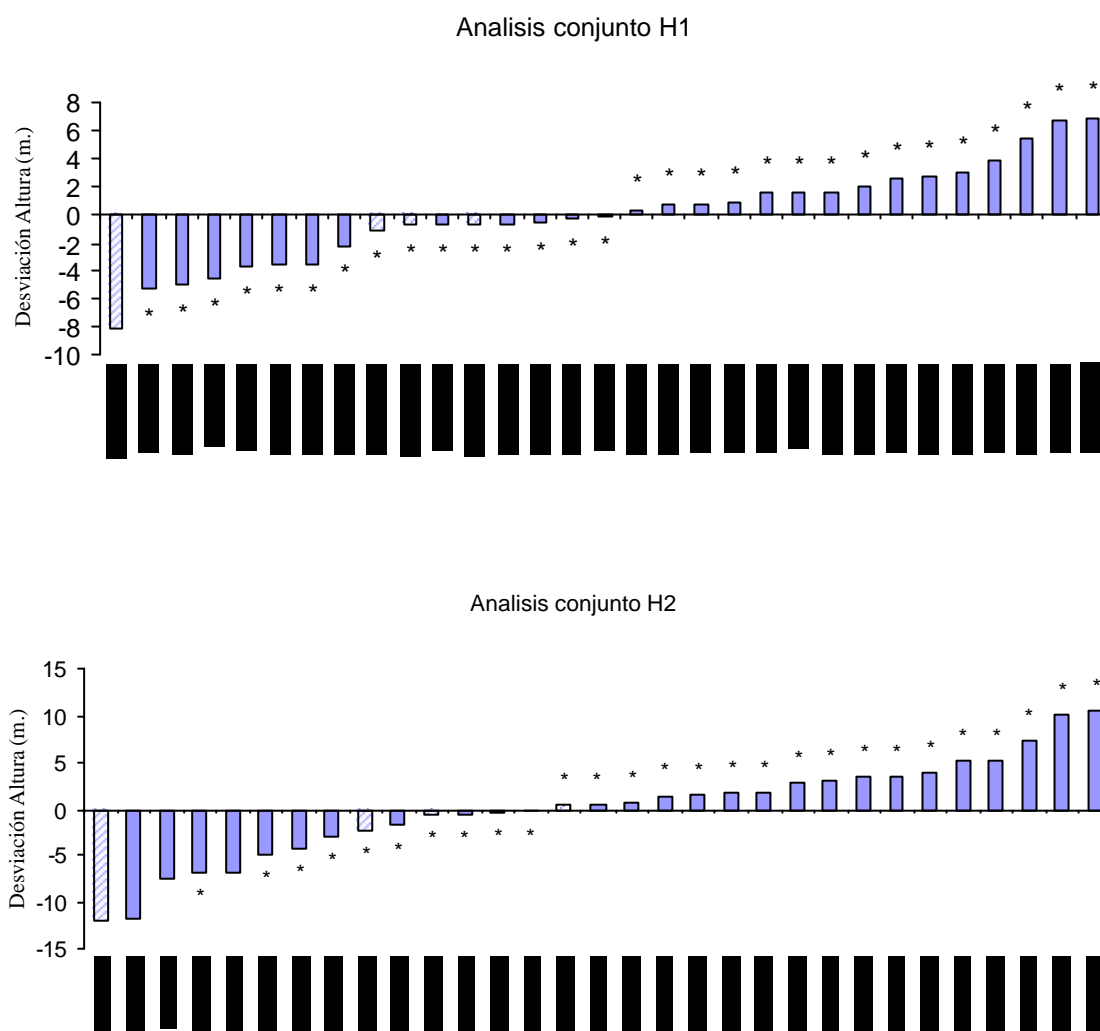
Las plantas que presentan crecimientos inferiores a las media, aunque no tan malos, de manera significativa, que el TCOST son, en este caso, 66072, 66069, 66030, 66068, 66022, 66083, 66084 y 66045, además del mencionado TPV52.

Por otra parte están las familias situadas para ambos años entre las diez mejores posiciones, que son, en esta parcela de Rianxo, las familias 66049, 66032, 66051, 66076 y 66000, además de las dos mencionadas provenientes del País Vasco.

Para finalizar con la valoración del desarrollo se muestra en el Figura 16 los crecimientos relativos de las familias con respecto a la media global para el análisis conjunto en las tres parcelas. Cabe destacar que de nuevo el TCOST presenta los peores crecimientos, en este caso sólo acompañado de 66072, 66068 y 66011 en el segundo año tras la instalación en el monte.

Además, hay una serie de familias con crecimientos inferiores a la media en los dos años, como son las familias 66030, 66055, 66001, 66069, TCAV, 66046, TPV52, 66077 y 66022. Por lo que respecta a las familias que se mantienen ambos años por encima de los diez mejores puestos están 66073, 66042, 66080, 66049, 66086, 66032, 66000 y 66076.

Figura 16.- Diferencia entre la media familiar y la media global de los valores de alturas para el primer (H1) y segundo año (H2) en el analisis conjunto. “*” indica diferencias significativas con respecto al testigo comercial gallego (TCOST). Sombreados los tres testigos del programa de mejora para pino radiata del País Vasco, y la semilla comercial gallega.



De los resultados obtenidos en esta comparación entre las familias podemos deducir que el testigo comercial TCOST y la familia 66001 son significativamente las peores en las tres parcelas estudiadas. Además, las familias 66072 y 66030 son significativamente las peores tanto en Forgoselo como en Rebordelo, ocupando, además, uno de los últimos lugares también en Rianxo.

Por su parte, las familias 66032, 66049 y 66076 son con las que mejores resultados se han obtenido, de manera significativa, en las tres parcelas, y la familia 66000 es la

mejor tanto en Forgoselo como en Rianxo, ocupando un puesto intermedio en Rebordelelo.

Los testigos procedentes del programa de mejora del País Vasco presentan comportamientos intermedios en todos los casos analizados.

5. 2.- VALORACIÓN DE LA SUPERVIVENCIA

Se realizó el análisis de la varianza con el objeto de valorar si existen diferencias significativas en la supervivencia entre los distintos tratamientos aplicados. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.- Resumen del análisis de varianza para la supervivencia en las tres parcelas de ensayo. (*: p < 0,001; **: p <0,01; *: p <0,05; n.s: p>0,05). Siendo G.L. los grados de libertad.**

FORGOSELO		SUP1			SUP 2		
Fuente de variación	G.L.	F	P>F	Sig	F	P>F	Sig
Tratamiento (T)	8	2,66	0,0130	*	3,20	0,0037	**
Bloque (B)	9	1,55	0,1471	n.s.	1,28	0,2640	n.s.
REBORDELO							
Tratamiento (T)	8	0,89	0,5283	n.s.	0,37	0,9344	n.s.
Bloque (B)	9	1,40	0,2033	n.s.	2,08	0,0422	*
RIANXO							
Tratamiento (T)	8	3,13	0,0044	**	2,51	0,0185	*
Bloque (B)	9	1,42	0,1959	n.s.	0,88	0,5513	n.s.

Los distintos tratamientos de fertilización tienen efectos sobre la supervivencia en las parcelas de Forgoselo y Rianxo, pero no en la de Rebordelelo, que es precisamente la parcela donde se ha registrado el menor número de marras.

Por lo que respecta a la parcela situada en Forgoselo, los tratamientos que mayores valores de supervivencia presentan son el control (T0), el T3, T6 y T7, mientras que el tratamiento que mayor número de marras ha producido es el T1 (Figura 17).

Rianxo, donde la supervivencia se ve reducida de manera considerable, debido al ataque de *H. abietis* que han sufrido las plantas de esta parcela, también muestra diferencias significativas entre tratamientos, siendo de nuevo el T0, T3, T6 y T7 los que mayores

valores de supervivencia presenta, esta vez junto con el T5. Por su parte, el tratamiento de fertilización que mayor número de marras tiene es de nuevo el T1, esta vez junto con al T2, T4 y T8.

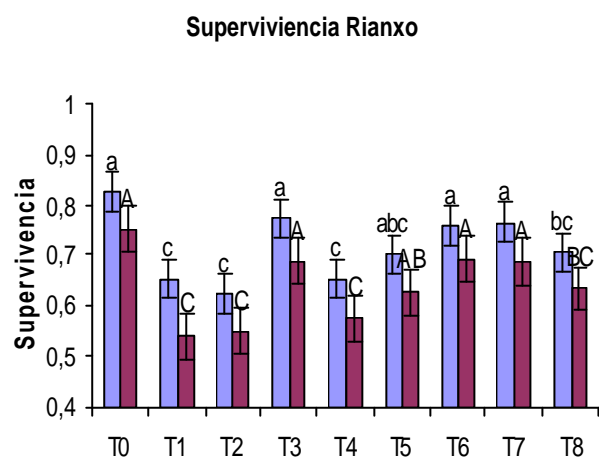
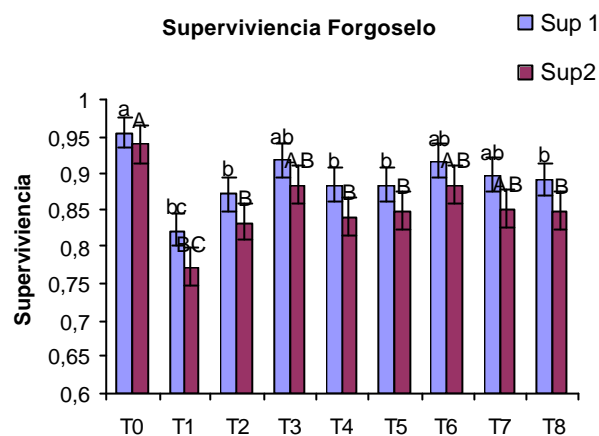


Figura 17.- Supervivencia de las familias en las tres parcelas de estudio en el primer (Sup1) y segundo año (Sup2) tras su instalación en el monte, según los tratamientos de fertilización aplicados. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.3.- ESTIMACION PARAMETROS GENETICOS

Se estimó la heredabilidad individual y familiar para el crecimiento en altura durante los dos años en los tres sitios por separado y en todos los sitios de manera conjunta. A su vez, se analizaron los mismos parámetros para los diámetros en Rianxo. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9. En todos los casos se realizó el análisis estadístico de las plantas procedentes del programa de mejora, sin tener en cuenta los testigos, pues el objetivo es el de estimar los parámetros genéticos en la población de mejora.

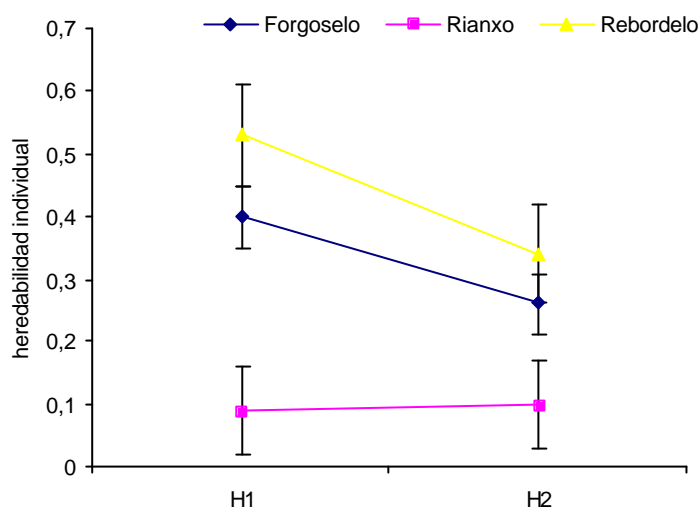
Tabla 9: Varianzas y parámetros genéticos para cada sitio y para el análisis conjunto de los tres sitios a la vez. s_g^2 representa la varianza del genotipo (familia), s_{fg}^2 de la interacción tratamiento de fertilización * genotipo, s_{bg}^2 de la interacción bloque * genotipo y s_e^2 la del error. Para el analisis conjunto, $s_{b(s)g}^2$ es la varianza del bloque dentro de cada sitio * genotipo, s_{sg}^2 de la interacción sitio (parcela) * genotipo y s_{sfg}^2 de la interacción entre sitio, tratamiento de fertilización y genotipo.

Sitio	Vble.	Varianzas (%)							Parámetros genéticos	
		s_g^2	s_{fg}^2	s_{bg}^2	s_e^2	$s_{b(s)g}^2$	s_{sg}^2	s_{sfg}^2	$h_i^2 \pm SE$	$h_f^2 \pm SE$
Forgoselo	AH	2,7	1,5	0	71,5				$0,14 \pm 0,049$	$0,74 \pm 0,473$
	H1	8,4	0	0	75,8	-	-	-	$0,40 \pm 0,110$	$0,91 \pm 0,262$
	H2	4,9	0,5	0	70,1	-	-	-	$0,26 \pm 0,078$	$0,85 \pm 0,186$
Rebordelo	AH	3,8	0,1	0,4	83,6				$0,17 \pm 0,057$	$0,80 \pm 0,544$
	H1	12,5	2	2	78,6	-	-	-	$0,53 \pm 0,137$	$0,91 \pm 0,326$
	H2	7,7	0,6	1,8	80,7	-	-	-	$0,34 \pm 0,097$	$0,88 \pm 0,231$
Rianxo	AH	3,4	0	2,4	78,9				$0,16 \pm 0,055$	$0,77 \pm 0,522$
	H1	2,0	0	0	92,4	-	-	-	$0,09 \pm 0,035$	$0,66 \pm 0,083$
	H2	2,4	0	0,9	91,6	-	-	-	$0,10 \pm 0,038$	$0,69 \pm 0,092$
	AD	0,2	0	0,2	91,4				$0,01 \pm 0,015$	$0,16 \pm 0,139$
	D1	1,6	0	0	90,2	-	-	-	$0,07 \pm 0,031$	$0,62 \pm 0,073$
	D2	0,5	0	0	89,3	-	-	-	$0,02 \pm 0,018$	$0,35 \pm 0,044$
Todos	AH	2,4	0,3	-	79,9	0,03	1,1	0	$0,12 \pm 0,035$	$0,88 \pm 0,575$
	H1	2,9	0	-	83,7	0	4,4	0,7	$0,13 \pm 0,037$	$0,89 \pm 0,154$
	H2	3,6	0,2	-	80,7	0,5	1,9	0,2	$0,16 \pm 0,047$	$0,92 \pm 0,196$

La heredabilidad individual en el primer año varía entre valores bajos (0,09) en Rianxo, y moderados para Forgoselo y Rebordelo (0,40 y 0,53 respectivamente). La heredabilidad familiar varía entre valores moderados (0,66) para Rianxo y altos para Forgoselo y Rebordelo (0,91 en ambos casos).

Como se muestra en la Figura 18, estos valores se reducen del primer al segundo año.

Figura 18.- Variación de los valores de heredabilidad individual entre el primer (H1) y segundo año (H2) tras la plantación en el monte.



Como se puede apreciar en la Figura 18, las parcelas de Forgoselo y Rebordele presentan un patrón de comportamiento similar, mientras que en Rianxo la heredabilidad el primer año es anormalmente baja, probablemente como consecuencia de la perturbación propiciada por el ataque de *H. abietis*.

5.3.1.- INTERACCIÓN FAMILIA X FERTILIZACIÓN

La importancia relativa de la interacción GxE se estudió como el ratio de la suma de todos los componentes de la varianza que afectan a la interacción con la varianza familiar (s_{ge}^2 / s_g^2), mostrando los resultados en la Tabla 10. Los valores son, en general, bajos para la interacción entre las distintas familias en los distintos ambientes (GxE), y muy bajos para las distintas familias y los tratamientos de fertilización (GxF).

Tabla 10: Ratios de las interacciones respecto a la varianza familiar (s_{gf}^2/s_g^2 y s_{ge}^2/s_g^2) para cada variable y para cada sitio. s_{ge}^2 es la varianza de la interacción global genotipo x ambiente estimada como $s_{ge}^2 = s_{bg}^2 + s_{fg}^2 + s_{sg}^2 + s_{sfg}^2$.

Sitio	Variable	nivel significación	s_{gf}^2/s_g^2	s_{ge}^2/s_g^2
Forgoselo	AH	n.s.	0,21	0,56
	H1	n.s.	0,00	0,00
	H2	n.s.	0,02	0,11
Rebordelo	AH	n.s.	0,01	0,13
	H1	n.s.	0,01	0,32
	H2	n.s.	0,01	0,31
Rianxo	AH	n.s.	0,00	0,69
	H1	n.s.	0,01	0,02
	H2	n.s.	0,00	0,38
	AD	n.s.	0,00	0,96
	D1	n.s.	0,00	0,00
	D2	n.s.	0,00	0,00
Todos	AH	n.s.	0,06	0,58
	H1	n.s.	0,00	1,79
	H2	n.s.	0,01	0,64

5.4.- ESTABILIDAD GENOTÍPICA

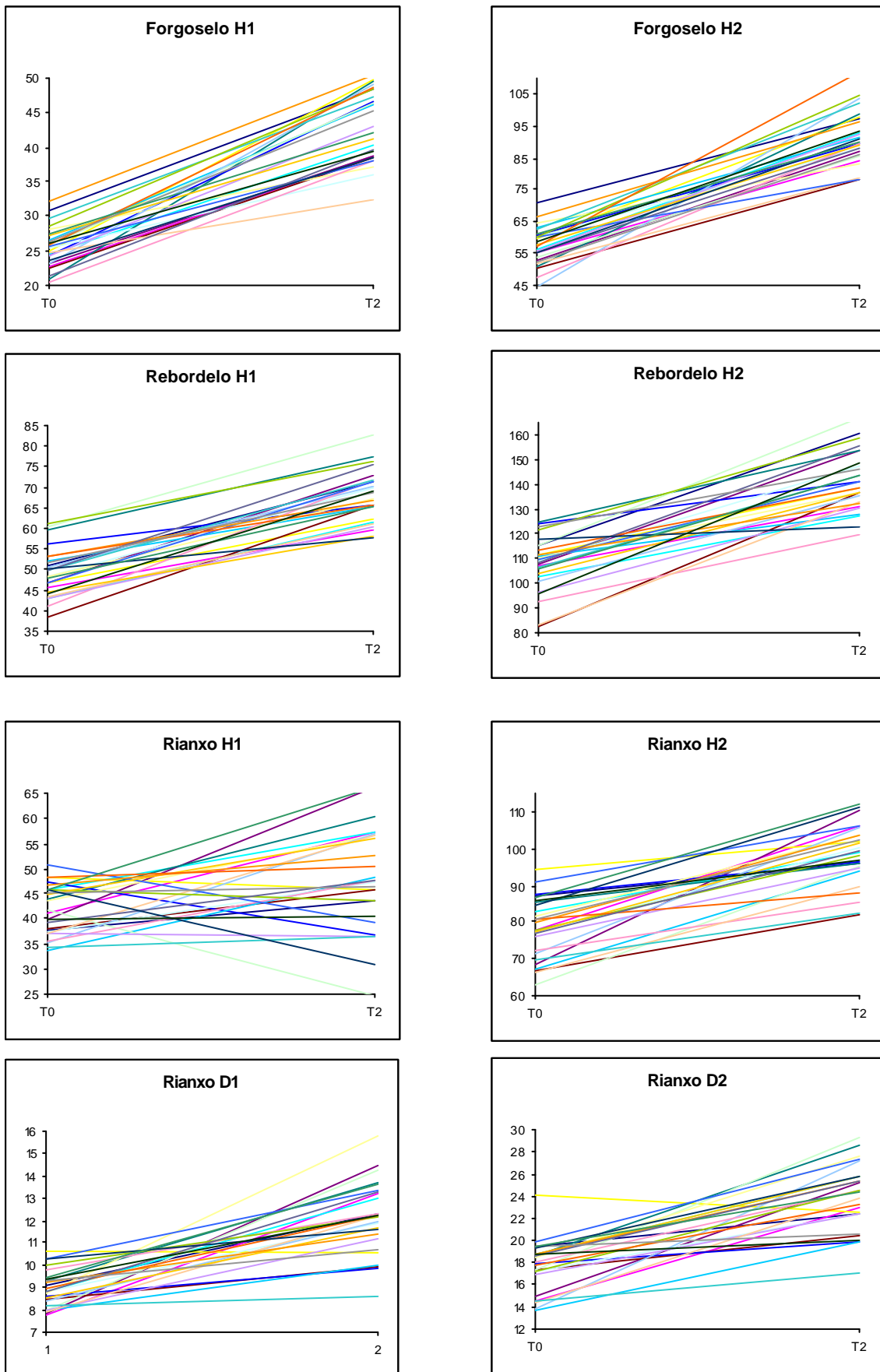
Para analizar la estabilidad de las familias testadas en los distintos tratamientos de fertilización se han utilizado las normas de reacción, la desviación estándar de los rankings de cada familia sobre los distintos tratamientos, la ecovalencia y el análisis de regresión simple.

5.4.1.- NORMAS DE REACCIÓN

En la Figura 19 se muestran las medias familiares en el tratamiento testigo (T0), que es en el que peores resultados se han obtenido, en contraposición con los obtenidos en el T2, tratamiento que mejores crecimientos ha generado en todos los sitios de ensayo y para todas las variables estudiadas. Se puede observar como el efecto de la fertilización es, en general, positivo, obteniendo mejores crecimientos en las plantas fertilizadas con P, K y Mg, que son los nutrientes que aporta el tratamiento T2. Sin embargo, se observan importantes cambios de ranking, a pesar de que la interacción entre la familia y el tratamiento aplicado tiene valores bajos.

En el caso de las alturas para el primer año (H1) en la parcela de Rianxo se observan comportamientos anómalos, existiendo familias que presentan peores crecimientos cuando han sido fertilizadas. Esto se debe a la acción de *H. abietis*, que ha estado presente en la parcela y ha atacado, preferentemente, a las plantas más desarrolladas, produciendo un anillamiento en la guía principal que ha terminado por secarla, obligando a una rama lateral a retomar el crecimiento en altura. Este efecto se ve aminorado en el segundo año (H2), pues al tener un diámetro superior las plantas, el insecto no ha producido el anillamiento total de la guía, con lo que las consecuencias de ataque no son tan drásticas.

Figura 19.- Normas de Reacción para cada una de las parcelas y variables estudiadas. Se muestran los resultados de T0 frente a T2, por ser los tratamientos que difieren en mayor medida.



5.4.2.- DESVIACIÓN ESTANDAR, ECOVALENCIA Y ANÁLISIS DE REGRESIÓN SIMPLE.

El uso de la desviación estándar de los rankings de cada familia (S_{4i}) se basa en el orden de los genotipos en los distintos tratamientos de fertilización. Se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 11.

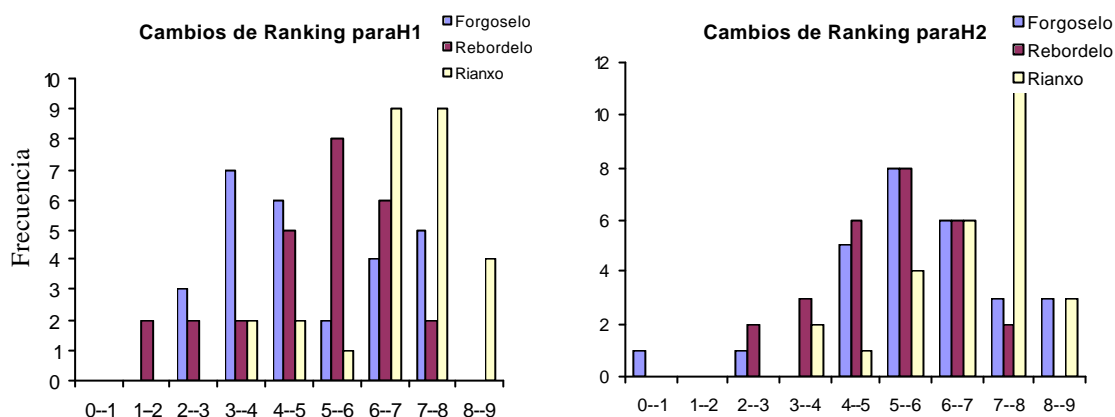
Tabla 11: Valor de S_{4i} para cada una de las parcelas de ensayo y para cada familia testada. Se muestran los valores obtenidos para el primer (H1) y segundo año (H2). También se muestran los resultados obtenidos para el estudio de los diámetros (D1 y D2) en la parcela de Rianxo.

	Forgoselo		Rebordelo		Rianxo			
	H1	H2	H1	H2	H1	H2	D1	D2
PRA-66000	6,32	6,98	4,24	4,69	7,82	5,88	6,36	5,76
PRA-66001	2,44	5,44	5,24	4,77	6,3	7,57	7,11	6,53
PRA-66008	5,48	4,53	5,58	6,19	9,42	7,1	8,39	8,88
PRA-66011	4,86	6,94	2,3	2,71	7,02	5,5	6,64	8,09
PRA-66022	3,71	6,05	5,27	5,5	6,98	7,59	9,26	7,7
PRA-66030	2,27	6,34	5,35	4,36	3,52	5,99	7,85	6,02
PRA-66032	7,72	5,98	2,79	3,95	3,06	6,9	5,95	5,92
PRA-66042	7,29	7,64	5,59	5,1	8,12	7,77	7,1	7,56
PRA-66045	3,86	7,33	6,38	5,75	7,42	7,02	7,24	9,18
PRA-66046	5,1	5,36	3	6,02	7,92	6,58	5,39	6,58
PRA-66049	4,84	8,67	1,49	4,9	5,83	6,27	7,76	7,48
PRA-66051	6,34	7,93	4,81	4,57	7,77	5,63	7,95	5,51
PRA-66055	7,7	9,32	6,2	2,87	6,65	7,2	5,65	8,92
PRA-66068	3,71	6,91	7,41	7,3	6,89	4,76	7,09	5,64
PRA-66069	4,51	4,88	1,63	5,65	8,61	8,41	8	6,37
PRA-66072	3,2	2,02	3,16	3,35	7	3,12	6,34	4,76
PRA-66073	6,4	5,39	5,21	3,75	6,12	7,64	7,83	8,52
PRA-66074	2,22	0,96	6,08	5,7	7,09	6,96	7,07	8,25
PRA-66076	3,65	5,97	4,57	6,33	6,63	8,16	4,71	7,45
PRA-66077	4,7	4,31	7,38	6,48	6,45	6,55	4,46	7,13
PRA-66078	7,01	6,23	5,77	6,67	4,62	7,03	6,5	6,67
PRA-66079	7,23	8,99	6,61	5,85	7,7	7,35	4,52	7,66
PRA-66080	6,78	5,77	6,62	6,75	6,38	7,03	8,03	8,43
PRA-66083	4,16	4,64	4,42	4,52	6,48	6,55	9,15	9,07
PRA-66084	3,59	5,2	6,16	7,63	7,25	8,54	7,59	6,96
PRA-66086	4,31	4,16	5,1	5,85	4,39	3,4	5,47	5,03
PRA-66089	3,83	5,3	4,55	5,68	8,51	7,85	7	7,89

Los valores observados en la Tabla 11 son, en general, altos, pero para hacernos una mejor idea del significado de estos valores, se presenta en la Figura 20 la distribución de frecuencias de los resultados obtenidos. Vemos que los valores para los cambios de ranking varían mayoritariamente entre 3 y 6 posiciones para Forgoselo y entre 4 y 7

posiciones en Rebordelo conforme una campana de Gauss con distribuciones centradas en la media. Sin embargo, en Rianxo, estos valores se encuentran desplazados hacia la derecha, variando mayoritariamente entre 6 y 9 posiciones, indicando una variación mayor en la sensibilidad genotípica a la fertilización, posiblemente debido a las interferencias del ataque del insecto.

Figura 20.- Gráficos de frecuencias de la estabilidad de rankings (S_{4i}) para las alturas el primer (H1) y segundo año (H2) para cada una de las parcelas de ensayo.



Aunque no se presentan los resultados, se ha analizado la correlación entre los diferentes sitios, comprobando que no existe ningún tipo de correlación. Esto indica que hay familias que pueden ser estables en un ambiente determinado, con un S_{4i} reducido, pero no ser estable en otros ambientes.

Además, se calcularon los valores de la ecovalencia (W_i) y para el coeficiente de regresión (b_i), los cuales se muestran en la Tabla 12 para Forgoso y Rebordelo y en la Tabla 13 para Rianxo.

Tabla 12: Valores de W_i (%) y b_i para Forgoso y Rebordelo obtenidos con los datos del primer (H1) y segundo año (H2).

	Forgoso				Rebordelo			
	H1		H2		H1		H2	
	W_i (%)	b_i	W_i (%)	b_i	W_i (%)	b_i	W_i (%)	b_i
PRA-66000	7,7	0,732	5,7	0,655	1,9	0,907	3,0	1,160
PRA-66001	1,0	0,837	3,1	0,696	2,4	0,719	1,8	0,671
PRA-66008	2,5	1,368	2,6	1,202	5,1	0,996	4,1	0,809
PRA-66011	4,3	1,050	6,3	1,233	5,6	0,720	5,8	0,634
PRA-66022	1,3	0,916	2,2	1,048	3,2	1,405	4,3	1,260
PRA-66030	2,6	0,964	4,7	1,127	4,0	1,116	3,1	1,346
PRA-66032	5,0	1,324	1,9	1,300	3,4	0,713	2,0	0,850

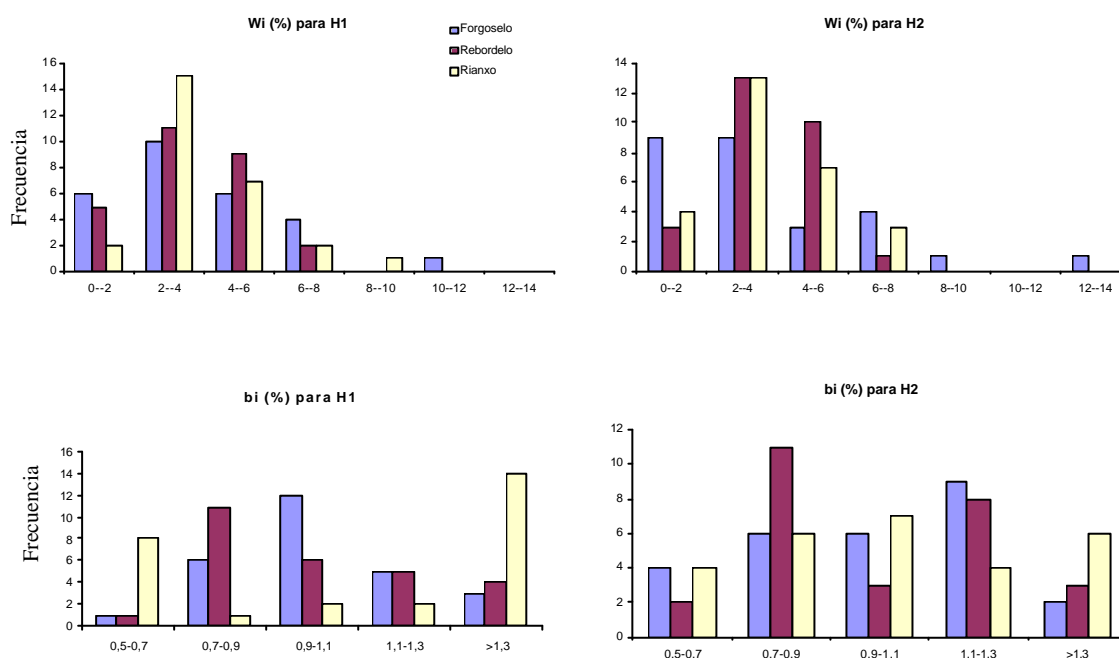
PRA-66042	7,5	1,481	6,5	1,089	3,4	0,705	2,4	0,779
PRA-66045	1,9	1,299	4,7	1,182	5,6	0,634	2,6	0,835
PRA-66046	2,5	0,713	2,1	0,729	1,3	1,111	3,2	1,121
PRA-66049	6,8	1,236	6,0	0,946	1,6	1,100	4,4	1,177
PRA-66051	2,3	0,757	4,6	0,689	4,2	0,873	1,8	0,791
PRA-66055	11,1	1,125	12,3	1,389	4,2	1,043	3,9	1,109
PRA-66068	1,2	0,993	6,7	1,100	6,2	1,607	5,8	1,229
PRA-66069	5,2	0,745	1,5	0,879	0,7	0,866	3,0	1,085
PRA-66072	3,1	0,560	1,4	0,682	2,4	1,168	2,7	1,194
PRA-66073	4,1	1,158	2,2	0,840	3,8	1,489	1,6	1,124
PRA-66074	0,7	0,996	0,8	1,010	3,5	1,087	3,9	1,058
PRA-66076	2,2	1,024	3,6	1,100	5,5	0,831	7,7	0,893
PRA-66077	2,2	0,992	1,0	1,031	6,6	0,795	5,1	0,787
PRA-66078	4,9	0,790	2,5	0,878	3,5	0,919	5,3	0,759
PRA-66079	6,9	1,025	9,0	1,219	4,2	0,732	2,9	0,835
PRA-66080	4,4	1,119	2,3	1,143	5,6	1,604	4,8	1,496
PRA-66083	2,7	0,931	1,4	0,996	3,6	1,021	4,3	0,846
PRA-66084	1,3	0,980	1,6	1,138	3,6	0,775	5,8	0,756
PRA-66086	2,5	0,923	1,8	0,812	2,9	0,824	2,5	1,077
PRA-66089	2,2	0,960	1,5	0,888	1,9	1,240	2,1	1,318

Tabla 13: Valores de W_i (%) y h_i para Rianxo. Se muestran los resultados obtenidos de las alturas en el primer (H1) y segundo año (H2), así como los obtenidos del estudio de los diámetros (D1 y D2).

	Rianxo							
	H1		H2		D1		D2	
	W_i	h_i	W_i (%)	h_i	W_i (%)	h_i	W_i (%)	h_i
PRA-66000	3,4	1,419	3,4	0,761	3,2	1,369	2,3	0,879
PRA-66001	3,2	1,475	4,0	1,137	4,4	1,241	2,4	1,310
PRA-66008	6,6	1,451	5,9	0,584	4,8	0,304	9,1	-0,190
PRA-66011	2,7	0,921	1,2	0,613	3,9	0,973	3,4	0,699
PRA-66022	7,0	1,557	6,1	1,386	8,9	1,323	4,1	1,470
PRA-66030	0,7	1,338	2,7	1,371	4,5	0,918	2,2	1,014
PRA-66032	0,7	1,473	1,9	0,737	2,1	1,023	2,4	1,345
PRA-66042	3,3	0,497	2,7	0,726	3,8	0,801	4,5	0,744
PRA-66045	2,6	1,164	4,3	1,296	5,3	0,594	6,2	1,260
PRA-66046	3,1	0,862	3,6	1,090	2,1	1,107	2,1	1,167
PRA-66049	5,7	-0,470	2,9	1,458	4,1	1,638	4,1	1,324
PRA-66051	4,2	-0,494	2,7	0,751	7,0	1,146	1,8	1,014
PRA-66055	2,1	1,527	3,3	0,986	1,6	0,973	5,0	1,579
PRA-66068	9,2	1,393	3,7	0,990	2,6	0,584	2,7	0,908
PRA-66069	4,7	1,126	4,9	1,132	3,2	1,005	2,0	1,095
PRA-66072	4,1	1,590	1,3	1,036	3,4	1,099	1,6	1,375
PRA-66073	2,0	0,052	4,3	0,814	4,2	1,110	3,5	1,083
PRA-66074	5,6	1,335	3,5	1,321	5,9	0,894	5,5	1,157
PRA-66076	2,7	0,647	6,2	0,865	1,6	0,715	2,6	1,105
PRA-66077	2,5	0,234	2,6	0,936	0,8	1,054	4,5	0,724
PRA-66078	2,7	0,957	5,1	0,465	2,4	0,730	3,7	0,405
PRA-66079	3,1	1,773	3,8	0,906	1,6	1,114	3,5	1,377
PRA-66080	2,5	1,304	3,3	1,403	4,6	1,335	6,8	1,070
PRA-66083	4,9	1,852	3,1	1,039	6,9	1,274	4,8	0,678
PRA-66084	3,4	0,279	5,8	1,694	3,2	0,693	2,9	1,063
PRA-66086	2,1	1,769	1,0	1,232	1,6	1,167	1,2	0,929
PRA-66089	5,1	-0,030	6,8	0,271	2,4	0,816	5,0	0,415

El valor de la ecovalencia (W_i) indica la contribución de cada genotipo a la interacción entre la familia y el tratamiento de fertilización (GxT), siendo más estables las familias con valores de ecovalencia próximos a cero. Como se puede observar en la Figura 21, los valores de W_i se distribuyen, para cada parcela, en forma de campana de Gauss, desplazada hacia la izquierda, agrupándose mayoritariamente entre los valores del 2% y el 4% en las tres parcelas del ensayo, lo cual indica que la mayoría de las progenies tienen una estabilidad familiar elevada.

Figura 21.- Gráficos de frecuencias de la ecovalencia (W_i) y de los valores del coeficiente de regresión para las alturas el primer (H1) y segundo año (H2) para cada una de las parcelas de ensayo.



El análisis de regresión muestra la existencia de familias estables, adaptadas a sitios pobres, con $b_i < 1$, y otras familias inestables, adaptadas a sitios buenos, con $b_i > 1$, que reaccionarían muy bien a los tratamientos de fertilización. En la Figura 21 se puede observar cómo en el caso de Forgoselo y Rebordelo los valores de b_i se distribuyen conforme una campana de Gauss, Igeramente tendida a la izquierda en el caso de Rebordelo, con la mayoría de los valores próximos al 1, indicando estabilidad en las familias. Sin embargo, en el caso de Rianxo, hay una cierta concentración entorno a los valores extremos en las alturas del primer año (H1), en especial en los valores más altos,

lo que indica la posibilidad de la existencia de familias que reaccionan muy bien a la aplicación de fertilizantes.

6.- DISCUSIÓN

6.1.- RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN

Los resultados del presente trabajo indicaron un efecto importante de los distintos tratamientos de fertilización sobre el desarrollo en altura de las plantas, tanto en el primer como en el segundo año tras la instalación en el monte en las parcelas situadas en Forgoselo y Rebordelo, donde las plantas fertilizadas presentaron un crecimiento significativamente superior al control. Sin embargo, en la parcela situada en Rianxo no se produjo dicho efecto debido a que un ataque de *Hylobius abietis* ha interferido en los resultados, especialmente en los del primer año. Dicho insecto ataca en mayor medida a las plantas fertilizadas (Sampedro y Zas, 2005), produciendo un anillamiento total de la guía terminal, con la consiguiente pérdida de altura. Estos efectos desaparecen el segundo año, cuando las plantas poseen diámetros mayores, por lo que el insecto no puede anillar por completo la guía principal. Estos mismos efectos se han podido apreciar en una parcela colindante de *Pinus pinaster* donde se lleva a cabo un ensayo similar (Martíns, 2005; Zas et al., 2005a).

Para estudiar el efecto de la fertilización sobre el desarrollo en la parcela atacada por el insecto, se analizó el crecimiento de los diámetros de las plantas de dicha parcela, pues sobre este parámetro el efecto del ataque de *H. abietis* es menos dañino. Los resultados mostraron de nuevo un efecto significativo de los distintos tratamientos aplicados sobre el crecimiento de las plantas, tanto para el primer como para el segundo año, como ocurría en las otras dos parcelas para el caso de las alturas.

Se ha comprobado que las plantas fertilizadas (tratamientos T1 a T8) han crecido más que las que no han sido fertilizadas (tratamiento T0) tanto en altura como en diámetro, por lo que la aplicación de algún tipo de nutriente mejora de manera significativa el crecimiento de la masa. Sin embargo, no todos los tratamientos se han comportado de la misma manera. De los ocho tratamientos de fertilización aplicados, los tratamientos que no llevan P son lo que, de manera significativa, peores resultados han aportado, indicando que las plantaciones estudiadas son deficitarias en este elemento. La adición de P, por tanto, se hace recomendable si se quieren obtener resultados óptimos en el

establecimiento de plantaciones de pino radiata. Estos resultados apoyan estudios anteriores que encontraron problemas nutritivos con P de manera generalizada en plantaciones jóvenes de pino radiata (Merino y Edeso, 1999; Zas, 2003a; Zas y Serrada, 2003) y también en plantaciones maduras (Mesanza et al., 1993; Romanyá y Vallejo, 1996; Sánchez-Rodríguez et al., 2002). Las deficiencias en P son más frecuentes en suelos de texturas arenosas con vocación forestal y predominio de matorral denso, especialmente de *Ulex* sp. (Zas y Serrada, 2003; Zas y Alonso, 2002), donde la fertilización fosfórica se vuelve más trascendente.

A su vez, aquellos tratamientos que no llevan N en su composición son los que mejores resultados han aportado, indicando que la adición de N no es recomendable en las masas de pino radiata gallegas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros estudios sobre la nutrición de las masas de pino radiata en el norte de España, donde encuentran que estas plantaciones suelen estar bien alimentadas de N, incluso en ocasiones, en exceso (Palacios et al., 1995; Sánchez-Rodríguez et al., 2002; Zas, 2003a; Zas y Serrada, 2003). La aplicación tradicional de enmiendas orgánicas en las tierras de cultivo (e.g. Sánchez, 1995), la asimilación de N atmosférico por el abundante matorral de leguminosas (*Ulex* sp., *Cytisus* sp., etc) (e.g. Augusto et al., 2005), o la deposición de N atmosférico procedente de fuentes contaminantes (e.g. Mesanza y Casado, 1994) pueden ser factores que contribuyen al exceso relativo de N en las masas de pino radiata en Galicia. El exceso de nitrógeno es esperable que sea mayor cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica en descomposición y en suelos de texturas más finas (Zas y Serrada, 2003; Zas y Alonso, 2002).

La respuesta a la fertilización observada concuerda, a su vez, con estudios de calidad de estación, que indican que el índice de sitio de pino radiata está positivamente relacionado con la disponibilidad en el suelo de P, así como de los niveles foliares de este mismo elemento, y negativamente relacionado con el N total en el suelo y en las hojas (Sánchez-Rodríguez et al., 2002; Romanyá y Vallejo, 2004). Los problemas nutricionales en Galicia también son frecuentes en otras especies forestales como *Eucalyptus globulus* (Merino et al., 2003), *Pseudotsuga menziesii* (Zas, 2003b) o *Pinus pinaster* (Martíns, 2005). Así, los beneficios de una fertilización adecuada han sido reflejados no sólo para radiata sino también para otras especies (Solla-Gullón et al., 2004; Omil et al., 2005; Solla-Gullón et al., 2005; Martíns, 2005). En particular, en

ensayos factoriales familia x fertilización en *Pinus pinaster* equivalentes a los del presente Proyecto, se observaron respuestas a la fertilización muy similares, con crecimientos claramente mayores al incluir P pero no N en el tratamiento de fertilización.

Un resultado llamativo del presente proyecto es que la interacción entre los distintos tratamientos de fertilización aplicados y los sitios de ensayo no resultó significativa. Es decir, los distintos tratamientos tuvieron efectos equivalentes en los tres sitios de ensayo, a pesar de las importantes diferencias de calidad de estación entre ellos. Estos resultados facilitan establecer recomendaciones de fertilización generalizadas para los suelos forestales gallegos. Los mayores crecimientos se obtuvieron en la parcela situada en Rebordelo, con alturas que rondan los 60 cm de media en el primer año y 130 cm en el segundo, mientras que en la parcela de Forgoselo, con una calidad de estación inferior, la altura media en el segundo año no llega a los 80 cm. La mayor respuesta a la fertilización se produce precisamente en la parcela de Forgoselo, es decir, en la parcela de peor calidad de estación, donde el mejor tratamiento de fertilización implica crecimientos 1,7 veces superiores en el primer año respecto a los de las plantas que no han sido fertilizadas, cifra que se sitúa en el 1,5 para el segundo año tras su establecimiento en el monte. Los beneficios de este aumento tan importante en el crecimiento son particularmente importantes en las plantaciones de pino radiata, acelerando el cierre de copas y por consiguiente, reduciendo la competencia con el matorral. Sin embargo, la fertilización de establecimiento sólo se debe recomendar si se combina con un control efectivo del matorral hasta la tangencia de copas, puesto que la aplicación de fertilizantes puede estimular el crecimiento de vegetación herbácea afectando de manera negativa al crecimiento del árbol (Will, 1985). Albaugh et al. (2004) encontraron respuestas positivas al control de malezas con un incremento medio en el diámetro de 3,1 cm y un metro en la altura con respecto a las parcelas sin control de malezas en plantas de pino radiata en Chile.

En relación con la aplicación de fertilizantes fosfatados a las masas de pino radiata con el fin de estimular su crecimiento inicial hasta la tangencia de copas, son muchos los trabajos (p.e. Downes y Turvey, 1990; Hunter et al., 1990) que advierten de la importancia de mantener un balance apropiado entre las concentraciones de P y de Cu, puesto que se ha demostrado que los excesos de P pueden inducir deficiencia de Cu, lo

que a su vez es causa de importantes deformaciones en los fustes. De hecho, se han detectado importantes curvaturas en los tallos de *P. radiata* de un año de edad en plantaciones gallegas, debido posiblemente a esta deficiencia de Cu inducida por la fertilización fosfórica (Zas et al., 2005c). Si estas deficiencias inducidas se confirman, las fertilizaciones con P deberían ir acompañadas de aplicaciones de Cu, en forma de sulfato de cobre u otro fertilizante equivalente (Will, 1985).

Por lo que respecta al efecto de los diferentes tratamientos de fertilización sobre la supervivencia de las plantas, se ha encontrado un efecto significativo en las parcelas de Rianxo y Forgoselo. En el caso de Rianxo, este efecto es atribuible al ataque de *H. abietis* sufrido en la parcela, pues coincide que las mayores tasas de ataque se encuentran en las plantas sometidas a algún tratamiento de fertilización (Sampedro y Zas, 2005). Dichos autores encuentran, a su vez, una correlación altamente significativa entre la supervivencia media familiar y los daños provocados por el insecto, lo cual sugiere que *H. abietis* es la principal causa de mortalidad de esta parcela. Resultados similares, con una mayor mortalidad de las plantas fertilizadas debido al ataque del insecto, se observaron en la parcela colindante de *P. pinaster* (Zas et al 2005b; Sampedro y Zas, 2005; Martíns, 2005).

En el caso de la parcela situada en Forgoselo también se encuentra un efecto de los diferentes tratamientos de fertilización sobre la supervivencia de las plantas, disminuyendo significativamente dicha supervivencia en las plantas fertilizadas. En este caso la parcela no ha sufrido el ataque de ninguna enfermedad o plaga, por lo que de acuerdo con Crawford et al. (1991), que encontraron menor supervivencia en algunas familias de *Pinus taeda* fertilizadas con N, P y K, se puede atribuir dicho aumento de la mortalidad al mayor estrés hídrico al que quedan sometidas las plantas fertilizadas. La escasa profundidad de suelo, la textura muy arenosa y los fuertes vientos reinantes pudieron haber intensificado la sequía estival en esta parcela.

6.2.- COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE MEJORA

Se ha encontrado un efecto significativo del genotipo (familia) sobre el crecimiento, tanto en altura como en diámetro en los tres ensayos, indicando la diferente capacidad

de crecimiento que poseen las distintas familias. Las plantas procedentes del programa de mejora genética para esta especie en Galicia han sido las que de manera significativa y consistente mejores resultados han mostrado, siempre por encima de la semilla comercial (TCOST).

Por su parte, la semilla procedente de los programas de mejora del País Vasco han dado resultados intermedios, estando en ocasiones entre los de mayor crecimiento, por lo que no se debe descartar su uso en Galicia, ya que, en todo caso, han dado resultados significativamente superiores a la semilla comercial. Dentro de las familias pertenecientes al programa de mejora para Galicia, hay una serie de ellas (66072, 66030 y 66001) que dan resultados por debajo de la media en todas las parcelas y para todas las variables estudiadas, mientras que otras (66011, 66068, 66055 y 66022) tienen, en general, malos crecimientos, aunque no en todas las ocasiones. Por otro lado, otras familias (66032, 66049, 66076 y 66000) han mostrado resultados superiores a la media en todos o casi todos los casos. De todas formas, hay que tener en cuenta que estos resultados son los primeros que se obtienen de las familias presentes en el huerto semillero de Sergude, por lo que sus resultados no pueden ser concluyentes. Sería necesario tener en cuenta más ensayos de progenie donde se ensayasen esas mismas familias para poder realizar las selecciones familiares que conduzcan a un aclareo del Huerto Semillero, lo que conllevaría una mayor ganancia genética. También es importante tener en cuenta que estos resultados pertenecen a edades muy tempranas, por lo que es necesario un seguimiento de estas parcelas para comprobar si el comportamiento del material de mejora se mantiene a lo largo de los años.

Las estimaciones de la heredabilidad individual para el crecimiento en altura durante el primer año fueron altas en Forgoselo y Rebordelo (0,40 y 0,53 respectivamente), reduciéndose un poco del primer al segundo año. Como era de esperar, estos valores son mayores en la parcela de Rebordelo, con condiciones climáticas, y sobre todo edáficas, superiores a la de Forgoselo, pues como ya establece Wright (1976), las mejores condiciones ambientales favorecen la expresión de las diferencias genéticas del material, indicando la necesidad de establecer los ensayos de progenie en estaciones de alta calidad.

Estos valores son relativamente superiores a los estimados para esta misma especie en otros programas de mejora (Burdon, 1992; Espinel y Aragonés, 1997; Arregui et al., 1999; Jayawickrama, 2001). De todas formas, esto puede ser debido a la diferencia en las edades entre estos estudios, y por lo tanto al efecto materno que puede permanecer en estos ensayos, por tener las plantas tan corta edad. Sin embargo estos resultados son prometedores para los objetivos de la mejora, sobre todo teniendo en cuenta la poca información que hay sobre este aspecto para el material de mejora de pino radiata en Galicia. Considerando el escaso número de clones presentes en el huerto semillero de la especie, la alta variabilidad genética observada es un dato muy favorable para obtener un buen rendimiento de los procesos de selección y mejora. Es necesario continuar con estos estudios, pues de mantenerse la alta heredabilidad en edades adultas, se podría realizar selección individual en un proceso de mejora recurrente que permitiese obtener genotipos altamente cualificados para la producción en Galicia.

En Rianxo, sin embargo, se observa una heredabilidad anormalmente baja, probablemente debido al ataque de *H. abietis*, que muestra un control genético importante, dañando mucho más a unas familias que a otras (Sampedro y Zas, 2005). Por lo que respecta a la estimación de la heredabilidad familiar, sus valores son muy altos en Forgoselo y Rebordelo (0,91 en ambos casos) y moderados en Rianxo (0,66), reduciéndose, como en el caso de la heredabilidad individual, del primer al segundo año. Estos resultados permiten esperar importantes ganancias a través de la selección familiar, aunque de nuevo, es preciso confirmar estos resultados con evaluaciones a edades más adultas.

6.3.- INTERACION GENOTIPO X NUTRICION Y ESTABILIDAD GENOTÍPICA

No se ha encontrado interacción significativa entre los distintos tratamientos de fertilización y las familias utilizadas en el ensayo, por lo que respecta al crecimiento en altura y en diámetro (Rianxo), lo que parece indicar que todas las familias han tenido respuestas similares a los diferentes tratamientos de fertilización. Sin embargo, la interacción Genotipo x Sitio resultó significativa, lo cual sugiere que hay otros factores además de la nutrición afectando a la interacción Genotipo x Ambiente. Estos resultados

no se corresponden con los de otros programas de mejora de coníferas de Europa y América, donde la interacción Genotipo x Nutrición resulta significativa y cuantitativamente importante (Mullin, 1985; Crawford et al., 1991; Li et al., 1991; Jonsson et al., 1992; Jonsson et al., 1997; Mari et al., 2003a, 2003b; Xiao et al., 2003) incluyendo pino radiata (Fife y Nambiar, 1995). Sin embargo, son pocos los estudios donde la interacción Genotipo x Nutrición se analiza en condiciones reales en campo, como es el caso del presente estudio. Por ejemplo Crawford et al. (1991) encontró importantes cambios de ranking en familias de *Pinus taeda* tras fertilización en campo, mientras que Fife y Nambiar (1995) encontraron respuestas distintas tras la adición de N entre familias de pino radiata en un suelo arenoso en el Sur de Australia.

Sin embargo, en los gráficos de las Normas de Reacción se aprecian cambios de ranking importantes entre el control y el tratamiento T2 (aporte de P, K y Mg), que ha sido el que consistentemente mejores resultados generó. Por ejemplo, en Rebordelo, de entre las cinco peores familias en el tratamiento control hay dos que aparecen entre las mejores en el caso de ser fertilizadas, mientras que hay familias que bajan posiciones en el ranking cuando son fertilizadas en relación al tratamiento control. También se encuentran casos similares en las otras dos parcelas, aunque hay que tener en cuenta que estas variaciones no están respaldadas por los resultados del ANOVA. En cualquier caso, estos cambios de ranking en algunas familias del ensayo bajo estos dos tratamientos contrastados hacen que no se descarte la existencia de variaciones genéticas en la asimilación y utilización de los nutrientes extra que la fertilización supone.

Por lo que respecta a los parámetros de estabilidad estudiados se ha encontrado que en las parcelas de Forgoselo y Rebordelo la mayoría de las progenies tienen una estabilidad familiar elevada, mientras que en la de Rianxo se aprecia una mayor variación en la sensibilidad genotípica a la fertilización, posiblemente debido al ataque del insecto que ya ha sido comentado anteriormente. Sin embargo, no se ha encontrado correlación en los parámetros de estabilidad entre los distintos sitios estudiados, indicando que es posible la existencia de familias estables en un ambiente determinado, pero inestables en otros, lo que también puede explicar, en parte, la falta de relación entre la respuesta familiar a la fertilización entre los distintos sitios. Esta falta de correlación entre sitios dificulta notablemente la posibilidad de seleccionar genotipos eficientes en la

asimilación y utilización de los nutrientes que la fertilización puede aportar, pues aunque los genotipos puedan responder de manera distinta a la fertilización, dicha respuesta puede variar entre sitios. Este aspecto no se ha podido contrastar con ensayos anteriores, pues en la bibliografía consultada se aprecia que los ensayos en campo se llevan a cabo, normalmente, en una sola localización (Crawford et al., 1991; Fife y Nambiar, 1995), por lo que no analizan la correlación entre parámetros genéticos entre sitios. Por otra parte, Xiao et al. (2003) analizaron la variación intraespecífica en crecimiento y concentración foliar de nutrientes en respuesta a la fertilización en *Pinus ellioti* y *Pinus taeda* plantados en dos localizaciones distintas en el norte de Florida, pero no estudiaron la relación entre sitios. De todas maneras, estos resultados hay que manejarlos con cautela. La falta de relación en los parámetros de estabilidad entre los distintos sitios puede estar relacionada con la falta de interacción Familia x Fertilización. Si la interacción no es significativa, las familias tienen un comportamiento *estable* frente a la fertilización y, por tanto, los valores de los parámetros de estabilidad serán similares para las distintas familias, dificultando la comparación entre sitios.

De entre las posibles causas por las que no se ha encontrado interacción entre la familia y el tratamiento de fertilización es posible que se encuentren el pequeño número de plantas de cada familia en cada tratamiento, o incluso las diferencias en el nivel inicial de nutrientes dentro de cada parcela. La respuesta a la fertilización es esperable que sea mayor cuando la disponibilidad de nutrientes en el inicio es baja, y será baja cuando la disponibilidad de nutrientes antes de aplicar el tratamiento de fertilización sea mayor. La heterogeneidad en las condiciones del suelo dentro de las parcelas pudiera, por tanto, estar afectando, por lo que convendrá reanalizar los ensayos con métodos de análisis espacial que tengan en cuenta esta posible heterogeneidad. Zas (2006) encontró que la heterogeneidad espacial tiene efectos dramáticos en el análisis genético de ensayos forestales en Galicia, y propone un método de análisis espacial que podría utilizarse para analizar las parcelas del presente trabajo.

El interés de mejorar genéticamente la eficiencia nutricional de especies forestales como herramienta para incrementar la productividad del material y minimizar la necesidad de fertilizantes ha sido indicada por varios autores (Crawford et al., 1991; Li et al., 1991; Jonsson et al., 1992; Jonsson et al., 1997; Mari et al., 2003a, 2003b; Miller y Hawkings, 2003). Además, el hecho de que existan familias más eficaces que otras en lo relativo a

la absorción y aprovechamiento de los nutrientes puede suponer una notable mejoría del pobre estado nutricional de las plantaciones gallegas de *P. radiata* sin necesidad de recurrir a la fertilización intensiva, con las consecuencias que ello tendría en cuanto a rentabilidad de las explotaciones y en la disminución del impacto ambiental que las fertilizaciones pueden generar, sobre todo teniendo en cuenta que los fertilizantes fosfóricos son un recurso no renovable que se encarecerá en el futuro (Runge-Metzger, 1995) y que la acidez de los suelos gallegos impide un buen rendimiento de la fertilización fosfórica, dado que la mayoría del P aportado tiende a precipitar en fosfatos insolubles. La consecución de un material genético más eficiente tanto en la adquisición como en el uso del P se presenta como una alternativa muy interesante para corregir los problemas nutricionales de las plantaciones forestales gallegas, minimizando la necesidad de fertilizantes, de la misma manera que ya se está teniendo en cuenta en cultivos agrícolas (Hammond et al., 2004).

7.- CONCLUSIONES.

- ✍ Hay un efecto importante de los distintos tratamientos de fertilización sobre el desarrollo tanto en altura como en diámetro de las plantas. Todos los tratamientos de fertilización han dado resultados satisfactorios, pero son los que incluyen P los que mejores resultados consiguen. El N no supone un mayor crecimiento en ninguno de los casos, por lo que su adición no es recomendable en las masas de *P. radiata* gallegas.
- ✍ Las familias procedentes del Programa de Mejora Genética de *P. radiata* en Galicia han sido las que de manera significativa mejores resultados han mostrado, siempre por encima de la semilla comercial gallega. La heredabilidad individual es elevada lo cual augura un buen rendimiento en los procesos de selección y mejora. Además los valores de heredabilidad familiar son muy altos, por lo que es esperable la obtención de importantes ganancias a través de la selección familiar.
- ✍ No se ha encontrado interacción significativa entre los distintos tratamientos de fertilización y las familias presentes en el ensayo. A pesar de ello se encontraron cambios de ranking familiares entre los distintos tratamientos de fertilización, lo cual hace que no se descarte la existencia de variaciones genéticas en la asimilación y utilización de los nutrientes extra que la fertilización supone.
- ✍ La interacción Genotipo x Sitio ha resultado significativa. Esto unido al hecho de que no se ha encontrado interacción significativa Genotipo x Fertilización sugiere que hay otros factores, además de la nutrición, afectando a la interacción Genotipo x Ambiente.
- ✍ La mayoría de las familias presenta una estabilidad familiar elevada. Sin embargo no se ha encontrado correlación en los parámetros de estabilidad entre los distintos sitios estudiados, lo cual dificulta la posibilidad de mejora en función de la eficiencia nutricional.

8.- REFERENCIAS.

- Abraitis, R., Norell, L., Eriksson, G., 1998. *Retrospective studies on nitrogen response of Pinus sylvestris L.* Forest Genetics, 5(1), 39-45.
- Acebedo, C., 2000. *Modelización climática para el seguimiento de las repoblaciones forestales en tierras agrarias en Galicia.* Proyecto Fin de Carrera, EPS Lugo, Ingeniería de Montes, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, 103 pp.
- Albaugh, T., Rubilar, R., Alvarez, J., Allen, H., 2004. *Respuesta a la preparación de suelos, control de malezas y fertilización en plantaciones de pino radiata en Chile.* Revista Bosque (25) 2: 5-15.
- Aragonés, A., Barrena, I., Espinel, S., Herrán, A., Ritter, E., 1997. *Origin of Basque populations of radiata pine inferred from RAPD data.* Annales des Sciences Forestieres; 54:8; 697-703.
- Arregui, A., Espinel, S., Aragonés, A., Sierra, R., 1999. *Estimación de parámetros genéticos en un ensayo de progenie de Pinus radiata D. Don en el País Vasco.* Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 8 (1): 119-128.
- Augusto, L., Crampon, N., Saur, E., Bakker, M.R., Pellerin, S., C. de Lavaissière, and Trichet, P., 2005. *High rates of nitrogen fixation of Ulex species in the understory of maritime pine stands and the potential effect of phosphorus fertilization.* Canadian Journal of Forest Research, 35: 1183-1192.
- Bará, T.S., 1974. *Ensayos de fertilización forestal. Respuesta de Pinus radiat (D. Don) a la adición de macronutrientes en un suelo deficiente en potasio.* Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Serie Recursos Naturales 1, 109-127.
- Bará, T.S. y Morales F.S., 1977. *Suministro lento de nutrientes con fertilizantes pastillados para uso forestal. Estudio lisimétrico de las pastillas y resultados de las experiencias de fertilización.* Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Serie Recursos Naturales 3, 235-249.
- Bará, T.S., 1990. *Fertilización forestal.* Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Xunta de Galicia, Santiago, 175 pp.
- Birk, E.M., 1994. *Fertiliser use in the management of pine and eucalypt plantations in Australia: A review of past and current practices.* New Zeland Journal of Forest Science. 24(2-3), 289-320.
- Brañas, J., Rodriguez, R., Merino, A., 2000. *Nutrient stores in above-ground biomass, understory vegetation and soil of Pinus radiata plantations in NW Spain.* International Symposium on Managing Forests Soils for Sustainable Productivity, Vila Real (Portugal). pp. 135-136

- Burdon, R.D., 1992. *Genetic survey of Pinus Radiata. 9: General discussion and implications for genetic management.* New Zealand Journal of Forestry Science 22 (2/3): 274-298.
- Castillón, P.P.A., Álvarez, A.P., Rodríguez, S.R., y Rigueiro, R.A., 1998. *Estudio de evaluación de técnicas de repoblaciones forestales.* Proxecto Columella. Area Forestal, Serie Manuales Técnicos. Santiago, Universidad de Santiago de Compostela, 90 pp.
- Cigalat, E., Soler, M., 2003. *Guía de las principales maderas y de su secado.* Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, 542 pp.
- Codesido, V., Merlo, E., 2001. *Caracterización fenológica del huerto semillero de Pinus radiata D. Don de Sergude.* Actas del III Congreso Forestal Español, Mesa 3, pp. 69-74.
- Crawford, D.T., Lockaby, B.G., Somers, G.L., 1991. *Genotype nutrition interactions in field-planted loblolly pine.* Canadian Journal of Forest Research. 21, 1523-1532.
- Cubero, J.J., Flores, F., Millán, T., 1997. *Complementos de mejora vegetal.* Universidad de Córdoba, Córdoba, 179 pp.
- Dans, F.V., Fernández, F.A. y Romero, A.G., 1999. *Manual de selvicultura del pino radiata en Galicia.* Proxecto Collumella. Área Forestal, Serie Manuales Técnicos. Santiago, Universidad de Santiago de Compostela, 199 pp.
- Downes, G.M., Turvey, N.D., 1990. *Lignification of wood from deformed Pinus radiata.* Forest Ecology and Management 37(1-3): 123-130
- Espinel, S., Aragonés, A., 1997. *Genetic parameter estimates for Pinus radiata in Basque Country, Northern Spain.* New Zealand Journal of Forestry Science 27 (3): 272-279.
- Fernández-López, J., 2001. *El programa de genética forestal del Centro de Investigaciones Forestales e Ambientales de Lourizán.* Proceedings del III Congreso Forestal Nacional. Granada.
- Fife, D.N., Nambiar, E.K.S., 1995. *Effect of nitrogen on growth and water relations of radiata pine families.* Plant and Soil, 168-169, 279-285.
- Finlay, K.W., Wilkinson, G.N., 1963. *The analysis of adaptation in a plant breeding programme.* Australian Journal of Agricultural Science. 14, 742-745.
- Gandullo, J.M., Gonzales, A.S., Sánchez, P.O., Úbeda, J.M., 1974. *Ecología de los pinares españoles. IV Pinus radiata D. Don.* Monografía INIA N° 13, Madrid, 187 pp.
- Gwazw, P., Wolliams, J.A., Knowski, P.J., Bridgwater, F.E., 2001. *Interactions of genotype with site for height and stem straightness in Pinus Taeda in Zimbabwe.* Silvae Genetica 50, 3-4.

- Hammond, J.P., Broadle, M.R., White, P.J., 2004. *Genetic responses to phosphorous deficiency*. *Annals of Botany* 94(3): 323-332.
- Hansen, E.M., Lewis, K. J., 2003. *Plagas y enfermedades de las coníferas*. Ed. Mundiprensa, Barcelona, 101 pp.
- Hühn, M., 1979. *Beiträge zur Erfassung der phänotypischen Stabilität. I. Vorschlag einiger auf Ranginformationen beruhenden Stabilitätsparameter*. *EDV in Medizin und Biologie* 11, 112-117.
- Hunter, I.R., Gibson, A.R., 1984. *Predicting Pinus radiata site index from environmental variables*. *New Zealand Journal of Forest Science*, 14(1), 53-64.
- Hunter, I.R., Hunter, J.A.C., Nicholson, G., 1990. *Current problems in the copper nutrition of radiata pine in New Zealand: a review*. *Forest Ecology and Management*. 37(1-3):143-149.
- Jackson, D.S., Gifford, H.H., 1974. *Environmental variables influencing the increment of radiata pine. I.- Periodic volume increment*. *New Zealand Journal of Forest Science*, 4 (1), 3-26.
- Jayawickrama, K. J. S., 2001. *Genetic parameter estimates for radiata pine in New Zealand and New South Wales: a synthesis of results*. *Silvae Genetica* 50 (2): 45-53.
- Jonsson, A., Dormling, I., Eriksson, G., Norell, L., 1992. *GCA variance components in 36 Pinus sylvestris L. full-sib families cultivated at five nutrient levels in a growth chamber*. *Forest Science* 38: 575-593.
- Jonsson, A., Ericsson, T., Erikson, G., Kähr, M., Lundkvist, K., Norell, L., 1997. *Interfamily variation in nitrogen productivity on Pinus sylvestris seedlings*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12, 1-10.
- Kanzler, A., 2002. *Genotype x Environment interaction in Pinus patula and its implications in South Africa*. Thesis. Department of Forestry, Raleigh, N.C.
- Lavery, P.B., 1986. *Plantation forestry with Pinus radiata*. Christchurch, NZ, School of Forestry. University of Canterbury, 255 pp.
- Lewis, N.B., Keeves, A., Leech, J.W., 1976. *Yield regulation in south Australian Pinus radiata plantations*. *Bulletin N° 23*. Woods and Forests Department, South Australia, 173p.
- Li, B., McKeand, S.E., Allen, H.L., 1991. *Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings*. *Forest Science*, 37 (2): 613-626.
- Lynch, M. y Walsh, B., 1997. *Genetics and analysis of quantitative traits*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, USA.

- Macías, F., Calvo, R.M., García, C., García-Rodeja, E., Silva, B., 1982. *El material original: su formación e influencia en las propiedades de los suelos de Galicia*. Anuales de Edafología y Agrobiología. 42, 1746-1768.
- MAPA, 2001. *Tercer Inventario Forestal Nacional (A Coruña, Lugo, Orense y Pontevedra)*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente.
- Mari, S., Jansson, G., Jonsson, A., 2003a. *Genetic variation in nutrient utilization and growth traits in Picea abies seedlings*. Scandinavian Journal of Forest Research, 18, 19-28.
- Mari, S., Jonsson, A., Fonlay, R., Ericsson, T., Kähr, M., Eriksson, G., 2003b. *Genetic variation in nitrogen uptake and growth in mycorrhizal and nonmycorrhizal Picea abies (L.) Karst. seedlings*. Forest Science 49, 258-267.
- Martíns, P., 2005. *Efecto de la fertilización de establecimiento en el comportamiento de familias de polinización abierta de Pinus pinaster*. Director: R. Zas. Proyecto Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo.
- Merino, A., Edeso, J.M., 1999. *Soil fertility rehabilitation in young Pinus radiata D. Don plantations from northern Spain after intensive site preparation*. Forest Ecology and Management. 116, 83-91.
- Merino, A., Rodríguez-López, A., Brañas, J., Rodríguez-Soalleiro, R., 2003. *Nutrition and growth in newly established plantations of Eucalyptus globulus in northwestern Spain*. Annals of Forest Science 60(6): 509-517
- Mesanza, J.M., Casado, H., Castillo, F.J., 1993. *Nutrient concentrations in Pinus radiata D. Don needles in the Basque country (Spain): a preliminary classification of parameters and sites*. Annual Science of Forests. 50 (1), 23-26.
- Mesanza, J. M., H. Casado, 1994. *Atmospheric deposition at Pinus radiata sites in the Spanish Basque country*. Journal of Environmental Science and Health, A29, 729-744.
- Miller, B.D., Hawkins, B.J., 2003. *Nitrogen uptake and utilization by slow and fast growing families of interior spruce under contrasting fertility regimes*. Canadian Journal of Forest Research 33(6): 959-966.
- Mullin, T.J., 1985. *Genotype-nitrogen interactions in full-sib seedlings of black spruce*. Canadian Journal of Forest Research 15: 1031-1038.
- Omil, B., Solla-Gullón, F., Merino, A., 2005. *Fertilización en una plantación de Pinus radiata D. Don mediante lodos de lechería estabilizados con cal*. En Proc. of the 1ª Reunión del Grupo de Trabajo de Ecología, Ecofisiología y suelos Forestales. Pontevedra. Eds: L. Sampedro. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 20. pp. en prensa.

- Ouro, G., Pérez-Batallón, P., Merino, A., 1999. *Dinámica de los nutrientes en una plantación de pinus radiata D Don en Galicia*. Actas del Congreso de Ordenación y Gestión Sostenible de Montes, Santiago. Tomo 1: 641-647.
- Pardos, J.A., 1988. *Mejora genética de especies arbóreas forestales*. Ed. E.T.S. de Ingenieros de Montes de Madrid. España. 461pp.
- Palacios, P.L., Casado, H., Mesanza J.M., Castillo, F.J., 1995. *Pinus radiata site quality study in the Basque Country (Spain) using nutritional and physiographical criteria*. Water and Soil Poll. 85 (3), 1275-1280.
- Peraza, F., 2004. *Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario*. Asoc. de Investigación Técnica de Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). 867 pp.
- Prada, E., 2006. *Efecto da fertilización e do xenotipo no grado de ataque de Hylobius abietis L. en plantacións de Pinus pinaster Ait. e Pinus radiata D. Don*. Proyecto Fin de Carrera. E.P.S. de Lugo. (U.S.C.), en preparación.
- Richardson, B., Gjertad, D.H., Glover, G.R., Mitchell, R.J., Horsley, S.B., Campbell, R.A. Zedaker, S.M. y Dougherty, P.M., 1993. *Vegetation management practices in plantation forests of Australia and New Zeland*. Canadian Journal of Forest Research, 23(10): 1989-2005.
- Rivas-Martínez, S., 1987. *Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 269 pp.
- Romanyá, J., Vallejo, V.R., 1996. *Nutritional status and deficiency diagnostic of Pinus radiata plantations in Spain*. Forest Science. 42 (2), 192-197.
- Romanyá, J., Vallejo V.R., 2000. *Procutivity factors of Pinus radiata D. Don plantations in Spain*. International Symposium on Managing Forests Soils for Sustainable Productivity, Vila Real (Portugal). pp. 155-156.
- Romanyà, J., y Vallejo, V.R., 2004. *Productivity of Pinus radiata plantations in Spain in response to climate and soil*. Forest Ecology and Management. 195, 177-189.
- Romanyk, N., y Cadahía, D., 2001. *Plagas de insectos en las masas forestales*". Ed. Mundi-Prensa. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Barcelona, 336 pp.
- Runge-Metzger, A., 1995. *Closing the cycle: obstacles to efficient P management for improved global security*. Phosphorous in the global environment: transfers, cycles and management. H. Tiessen. Chichester, John Wiley and Sons: 27-42.
- Sánchez, 1995. *La fertilidad de los suelos de la provincia de Orense*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Misión Biológica de Galicia, Pontevedra.
- Sánchez-Rodríguez, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Rodriguez-Soalleiro, R., Rojo-Alboreca, A., 1998. *Primeros resultados de estudios de indices de sitio para Pinus*

- radiata* D. Don en Galicia (España). Primer congreso Latinoamericano de IUFRO, Valdivia, Chile. 22-28 de noviembre.
- Sánchez-Rodríguez, F., Rodríguez-Soalleiro, R., Español, E., López, C.A., Merino, A., 2002. *Influence of edaphic factors and tree nutritive estatus on the productivity on Pinus radiata D. Don plantations in northwestern Spain*. Forest Ecology and Management. 171 (1-2), 181-189.
- Sampedro, L., Zas, R., 2005. *Herbivoría de corteza sobre coníferas de interés forestal, el caso de Hylobius abietis. Efecto de la fertilización de establecimiento y posibilidades de selección de progenies resistentes*. En Proc. of the IV Congreso Forestal Español.
- SAS-Institute, 1999. *SAS/STAT User's guide, Version 8*. SAS Institute Inc., Cary, NC, 3848 pp.
- Scola, M., García-Borregón, R., De María, A. y Novo, A.F., 1997. *Coníferas utilizadas en reforestación*. Asociación Profesional de Selvicultores de Galicia, Santiago de Compostela, 79 pp.
- Squillace, A. E., 1969. *Field experiences on the kinds and sizes of genotype-environment interaction*. Silvae Genetica 18.
- Solla-Gullón, F., Taboada, M.P., Rodríguez-Soalleiro, R., Merino, A., 2004. *Respuesta inicial al aporte de cenizas de biomasa arbórea en el estado nutricional de una plantación joven de Pinus radiata D. Don*. Investigación Agraria, 13(2), 281-294.
- Solla-Gullón, F. Rodríguez-Soalleiro, R., Merino, A. , 2005. *Respuesta de plantaciones forestales jóvenes sobre suelos ácidos a la fertilización con cenizas de biomasa*. En Proc. of the 1ª Reunión del Grupo de Trabajo de Ecología, Ecofisiología y suelos Forestales. Pontevedra. Eds: L. Sampedro. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 20. pp. en prensa.
- Turner, J., Holmes, G.I., 1985. *Site clasification of Pinus radiata plantations ion the Lithgow district, New South Wales*. Forest Ecology and Management. 12, 253-263.
- Turner, J. y Lambert, M.J., 1986. *Nutrition and nutritional relationships of Pinus radiata*. Annual Review of Ecology and Systematics, 17: 325-350.
- U.S.D.A., 1951. *Soil Survey Manual*. U.S. Department of Agriculture, Washington.
- Vignote, S., Peraza, F., Perezagua, R., 1983. *Tecnología del aprovechamiento de la madera del Pino insignis-Pinus radiata*. Tomo I: Memoria General. Madrid, 115 pp.
- Will, G.M., 1985. *Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zeland exotic forests*. FRI Bulletin N° 97. Forest Research Institute, Rotorua, New Zeland. 53 pp.

- Wricke, G., 1962. *Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen*. Zeitung für Pflanzenzüchtung 47, 92-96.
- Wright, J.W., 1976. *Introduction to forest genetics*. Academia Press, New York, 463 pp.
- Xiao, Y., Jokela, E.J., White, T.L., 2003. *Growth and leaf nutrient responses of loblolly and slash pine families to intensive silvicultural management*. Forest Ecology and Management, 183, 281-295.
- Zas, R., Acebedo, C., 2001. *Modelización climática. Una aplicación práctica para Galicia*. Proceedings del III Congreso Forestal Nacional. Granada, pp. 126-131.
- Zas, R., Pichel, F., 2001. *Efecto del genotipo en la respuesta a fertilizantes en Chamaecyparis lawsoniana(A. Murr.) Parl y Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco*. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 473-479.
- Zas, R., Alonso, M., 2002. *Understory vegetation as indicator of soil characteristics in northwest Spain*. Forest Ecology and Management, 171: 101-111.
- Zas, R., 2003a. *Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones jóvenes de Pinus radiata D. Don en tierras agrarias en Galicia*. Investigación. Agraria.: Sistemas y Recursos Forestales. (2003) 12 (2), 3-11.
- Zas, R., 2003b. *Foliar nutrient status and tree growth response of young Pseudotsuga menziesii Mirb. (Franco) to nitrogen, phosphorus and potassium fertilization in Galicia (Northwest Spain)*. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. 12(1): 75-85.
- Zas, R., Serrada, R., 2003. *Foliar nutrient status and nutritional relationships of young Pinus radiata D. Don plantations in northwestern Spain*. Forest Ecology and Management. 174, 167-176.
- Zas, R., Sampedro, L., Prada, E., Fernández-López, J., 2005a. *Genetic variation of Pinus pinaster Ait. seedlings in susceptibility to Hylobius abietis L*. Annuals of Forest Science. 62: 681-688.
- Zas, R., Sampedro, L., Prada, E., Lombardero, M.J., Fernández-López, J., 2005b. *Fertilization increases Hylobius abietis L. damage in Pinus pinaster Ait. seedlings*. Forest Ecology and Management., en prensa.
- Zas, R., Pichel, F., Martíns, P., Fernández-López, J., 2005c. *The impact of fertilization in the breeding program of Pinus radiata in Galicia (NW Spain)*. Proceedings del IUFRO International Meeting on The Economics and Management of High Productivity Plantations. Lugo.
- Zas, R., Fernández-López, J., 2005. *Juvenile genetic parameters and genotype stability of Pinus pinaster Ait. open pollinated families under different water and nutrient regimes*. Forest Science 51, 165-174.

Zas, R., 2006. *Iterative kriging for removing spatial autocorrelation in the analysis of forest genetic trials*. *Tree Genetics and Genomes*, en prensa.

Zobel, B., Talbert, J., 1984. *Tree Improvement*. Ed. John Wiley and Sons, Inc. North Carolina State University. 505pp.

9.- ANEXOS.