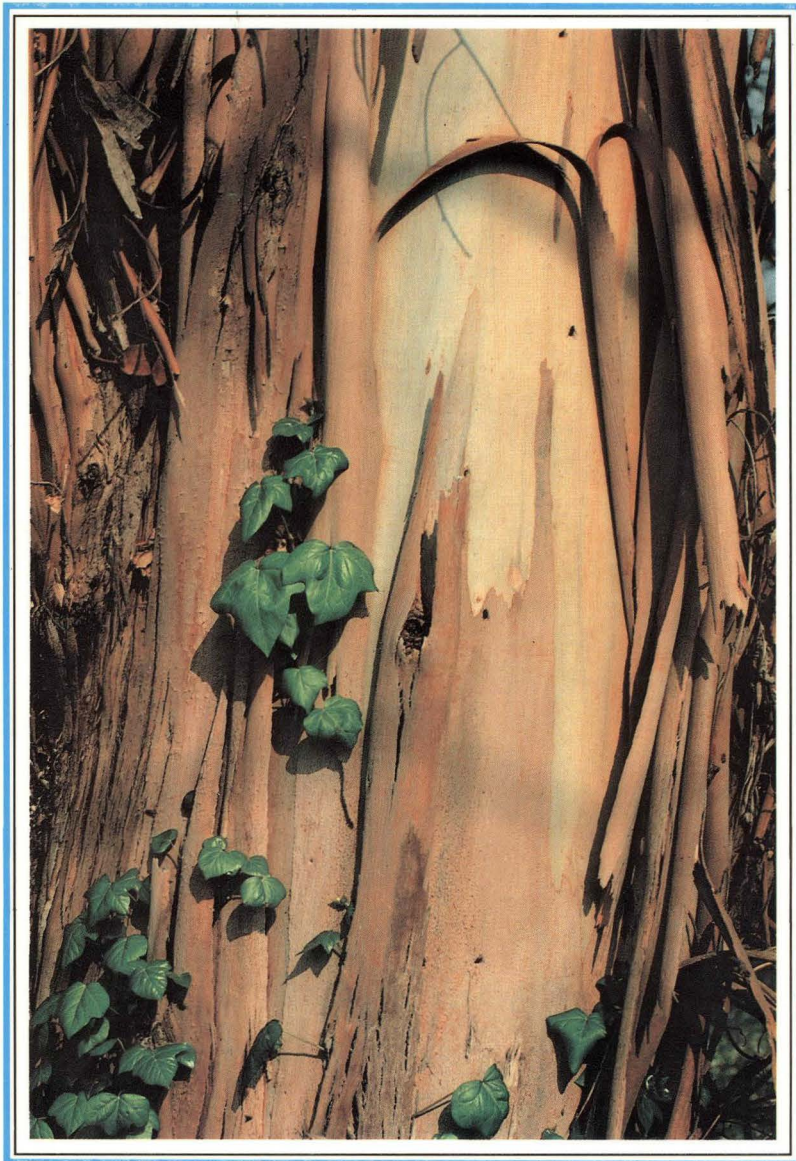


El Eucalipto en Galicia

Sus relaciones con el medio natural



Rosa Calvo de Anta

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

El Eucalipto en Galicia

Sus relaciones con el Medio Natural

Rosa Calvo de Anta

El Eucalipto en Galicia
Sus relaciones con el Medio Natural

1992

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA



Esta obra se encuentra bajo una licencia internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra no incluida en la licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 solo puede ser realizada con la autorización expresa de los titulares, salvo excepción prevista por la ley. Puede Vd. acceder al texto completo de la licencia en este enlace: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

© Universidade de Santiago de Compostela, 1992
Prohibida la reproducción total o parcial sin la autorización de la Editorial.

Este trabajo ha contado con la Colaboración de la
Agencia de Calidad Ambiental.
Consellería de Ordenación del Territorio.

Dibujos: Xosé Lomba y M^a Xesús Fernández
Fotografía: Documentación de A. Pérez Alberti y Rosa Calvo

EDITA
Edicións USC
Campus Vida
15782 Santiago de Compostela
<https://www.usc.gal/publicacions>

DOI: <https://dx.doi.org/10.15304/op.2025.1936>

INDICE

INTRODUCCION	7
--------------------	---

PRIMERA PARTE

Impactos del Eucalipto en el Sistema Edáfico

CAPITULO I.- EL EUCALIPTO Y LA ACIDEZ DEL SUELO	
EN GALICIA	13
Los equilibrios ácido-base en el medio natural	13
Los reguladores del pH.....	13
La "fuerza ácida" de los compuestos naturales	15
Características ácido-base de los suelos de Galicia	18
El papel de la vegetación	24
La modificación de las soluciones acuosas que entran en el suelo ...	24
Procesos biológicos en el suelo	26
El pH de los suelos forestales	30
La solución del suelo	33
Síntesis de resultados	36
Algunos ejemplos de interés	39
El proceso de podsolización	41
 CAPITULO II.- EL EUCALIPTO Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO ..	49
Introducción	49
El papel de la vegetación	51
El caso particular de Galicia	52
Los suelos forestales de Galicia	61
El eucalipto como cultivo	66
Demanda de nutrientes	68
Entrada de elementos al sistema	72
Balance anual	74
Algunas consideraciones al balance de nutrientes	75
Otros cultivos	79
La importancia del manejo	81
Síntesis de resultados	84
 CAPITULO III.- EL CICLO DEL AGUA	87
El eucalipto y el balance de agua	89
Balance de agua en el período húmedo	94

Balance de agua en el período seco	102
Conclusiones	110

SEGUNDA PARTE

El Eucalipto y la disyuntiva producción/conservación

CAPITULO IV.- APTITUD DE GALICIA PARA LA PRODUCCION DE EUCALIPTO	121
Generalidades	121
<i>Eucalytus globulus</i> : su adaptación a las condiciones de Galicia	122
Clases de aptitud	134
Sectorización del territorio de Galicia según Clases de aptitud	136
CAPITULO V.- LA CONSERVACION DE LOS SISTEMAS NATURALES	149
Apuntes históricos	149
El eucalipto y la conservacion de los espacios naturales	151
La diversidad genética en eucaliptales	152
La situación actual del uso de las tierras	156
Las alternativas a los sistemas forestales de producción	161
Modificaciones del paisaje	162
Los impactos humanos en las explotaciones forestales	170
La Evaluación del Impacto Ambiental en las actividades forestales	176
Conclusiones al capítulo	177
CAPITULO VI.- LA PLANIFICACION	179
Fases de la Planificación	179
Algunas aportaciones a la Planificación	180
BIBLIOGRAFIA	199
ANEXO	213

INTRODUCCION

* El estudio de los efectos que un determinado factor induce sobre el medio natural es complejo y cuando se trata de evaluar la influencia de una especie vegetal lo es de forma particular.

En un principio suele recurrirse a la obtención de determinados parámetros relacionados exclusivamente con la naturaleza de la especie considerada, comparando sus características con las propias de otras especies o variedades. De esta forma, surgen datos que hacen referencia a aspectos tales como la composición de los restos vegetales aportados al suelo en forma de hojarasca, frutos, corteza, etc., al incremento anual de biomasa y nutrientes, densidad, porte y morfología de la cubierta arbórea, características fisiológicas relacionadas con la nutrición, la evapotranspiración... En general, estos resultados suelen arrojar diferencias significativas entre especies, que se reproducen satisfactoriamente en distintos ambientes.

Paralelamente a este tipo de estudios se realizan normalmente ensayos de laboratorio que tratan de relacionar determinados componentes del factor vegetal con posibles efectos sobre el medio, en condiciones controladas. Tal es el caso de los trabajos más abundantes sobre alelopatía, acidez, carácter complejante... etc., de los componentes orgánicos o extractos acuosos de origen vegetal.

El tema se complica cuando se pretende extrapolar algunos resultados a las condiciones de campo. Las respuestas no siempre se ajustan a las situaciones previstas en los ensayos de laboratorio y, por otra parte, suelen ser

enormemente variadas dependiendo de las características propias del medio, dada la fuerte influencia que ejercen los factores dinámicos, tanto físico-químicos como biológicos.

* A la propia complejidad de los sistemas a analizar se añaden otras dificultades, de gran importancia cuando se pretende discutir (o transmitir) los resultados obtenidos. En ocasiones, el entendimiento se bloquea debido a la imprecisión de la terminología utilizada, lo que obliga a definir previamente cada uno de los conceptos que se utilizan. Así, por ejemplo, el empleo de sentencias simples tales como "*degradación del medio natural*" puede inducir a error o provocar discusiones innecesarias cuando no se utilizan dentro de un contexto, puesto que tal expresión podría ser aplicada a la mayoría o a ningún sistema, dependiendo de dónde se sitúe el umbral que fija el comienzo del término "*degradación*", lo que suele tener una definición específica según se aplique a suelos, estudios de población, etc., o dependiendo de los criterios que se utilicen al decidir el "*carácter natural*" de un medio.

En términos generales, todas las actividades humanas provocan una modificación del sustrato edáfico y una sustitución de anteriores poblaciones animales o vegetales; en este sentido, todas ellas conducen a un cambio o degradación de las condiciones naturales preexistentes. Establecer cuándo la dedicación de un determinado medio a un uso o explotación concreta debe ser considerada degradante, en términos que desaconsejen su implantación, puede implicar planteamientos de todo tipo, incluso éticos o filosóficos. No obstante, el término *degradación*, cuando se aplica a suelos, flora, fauna, paisaje, etc., suele aludir a un deterioro irreversible, o muy difícilmente reversible, de las propiedades de dichos sistemas, lo cual es considerado como un impacto serio cuando se trata de recursos escasos, valores singulares, patrimoniales, especies protegidas o en vías de extinción...etc.

* El objetivo de este estudio se centra, de forma especial, en el análisis de la posible degradación de las propiedades intrínsecas del suelo debido al desarrollo de *Eucalyptus globulus*, en Galicia. Es un tipo de aproximación parcial, pero muy importante, pareja al establecimiento de la degradación del aire o del agua, ya que el suelo es un bien no renovable, a escala humana, del que depende el asentamiento de la mayoría de las actividades y gran parte de los procesos vitales.

Por degradación edáfica entendemos la pérdida o transformación de las propiedades del suelo, acelerando o provocando un descenso (irreversible ?) de su fertilidad física o química... hasta un estado que impida, en el futuro, el desarrollo de otros usos. Es obvio que la identificación (o previsión) de un proceso de este tipo podría conducir a rechazar la utilización de un territorio para el uso que lo genera.

* Por otra parte, si bien es cierto que el tema que abordamos aquí se restringe a un ámbito de interés muy concreto, es de todos conocido que incide en un aspecto que ha tenido y tiene, en Galicia, importantes implicaciones sociopolíticas y económicas, como es el de la *Ordenación del Territorio* y más concretamente del *Uso Forestal* del mismo. En este contexto, muy pocos resultados son susceptibles de un tratamiento simplista, directamente aplicable a una planificación monocorde, ya que, al igual que sucede en otros ámbitos de decisión, aquello que es recomendable en un ambiente determinado puede resultar nefasto en otro. Así, sería necio comparar sistemáticamente las características de los bosques de robledal y eucaliptal cuando se pretende ordenar áreas que no permiten ambas alternativas o cuando existe un "*uso obligado*" (de conservación del patrimonio forestal, por ejemplo). Por lo mismo, parece lógico que en zonas productivas los efectos del eucaliptal sean comparados con los de *cultivos* alternativos y, es probable, que en zonas con riesgos de erosión o nivel freático elevado, determinadas especies de eucalipto (que no todas) constituyan una de las posibles soluciones.

La discusión entre alternativas es un estudio que precisa de una exhaustiva base cartográfica temática y, evidentemente, no se restringe a los parámetros físicos o ecológicos que nosotros estudiamos. Se trata de una tarea interdisciplinar en la que intervienen, además de los condicionamientos del medio físico, las necesidades de la población, consideraciones económicas, culturales ... etc.

* Desde la perspectiva de nuestra especialidad dos son las principales líneas de trabajo en este campo: la caracterización cartográfica del medio en relación a las **APTITUDES** para diferentes usos (cultivos, prados, bosques... y, a mayor detalle, usos específicos dentro de cada apartado) y la **SENSIBILIDAD** de este mismo medio ante la implantación de los mismos, lo que vendría definido en términos de *degradación*.

Resulta evidente que la sectorización cartográfica del espacio de acuerdo a su *grado de aptitud* para cada uno de los usos considerados, facilita un primer marco de discusión lógica entre alternativas, en el que finalmente sean consideradas tan sólo aquellas que resulten posibles (con un cierto grado de aptitud) y evita, así, el innecesario establecimiento de "virtudes/defectos" de especies imposibles de implantar desde un punto de vista edáfico o climático, un error muy frecuente cuando se aborda el tema de forma genérica.

Si bien es cierto que la decisión final escapa de nuestro campo de trabajo, no lo es menos el hecho de que entre posibles alternativas agronómicas en conflicto (cultivos, praderas o bosques), o entre diferentes usos del bosque (productivo, conservativo, mixto...), una primera jerarquización puede ser

realizada desde nuestro ámbito de conocimiento. La jerarquización que aquí se propone tiene en cuenta la *función múltiple del bosque*, estableciendo:

- 1- Bosques de Conservación del Patrimonio Natural: USO OBLIGADO.
- 2- Bosques (Sistemas) de protección (áreas con riesgos de erosión, riesgos de colmatación de embalses, etc.) : USO OBLIGADO.
- 3- Bosques de recreo y "aulas" de la naturaleza.
- 4- Bosques de uso múltiple (producción/conservación, protección/producción, otros aprovechamientos de los sistemas de bosque...).
- 5- Áreas de producción: Es decir, no recogidas como áreas de USO OBLIGADO y seleccionadas por su especial aptitud (y sin sensibilidad) para una determinada especie, o variedad productiva.

Finalmente, la *Planificación* de los Recursos Forestales ha de ir necesariamente unida a la *Gestión*, en la que el tipo de manejo tiene un interés esencial. Es decir, se trata de un desarrollo integrado del Recurso que dé respuesta al total de las cuestiones planteadas:

Necesidades

Selección entre especies que se pueden desarrollar en cada área.

Lugares de implantación

Tipo de explotación y manejo

Canales de comercialización

Técnicas que permitan un incremento del valor añadido del producto
etc.

PRIMERA PARTE

**Impactos del Eucalipto en el
Sistema Edáfico**

CAPITULO I

El eucalipto y la acidez del suelo en Galicia

LOS EQUILIBRIOS ACIDO-BASE EN EL MEDIO NATURAL

Los reguladores del pH

La mayor parte de los sistemas terrestres son de carácter abierto, es decir, domina en ellos una dinámica de tipo sustractivo que provoca un lavado paulatino de los elementos más solubles, cationes alcalinos y alcalinotérreos, a favor de los medios endorréicos... de los que el mar podría representar el destino final. En consecuencia, la acidificación de los sistemas terrestres debe ser interpretada, en un principio, como una tendencia natural de los mismos y, paralelamente, resulta justificado el incremento de pH hacia el intervalo básico en las lagunas y los mares, colectores finales de las sales movilizadas.

Esta tendencia natural puede presentar una cinética extremadamente variada, muy rápida o muy lenta, por lo que en cualquier momento del ciclo geológico es posible encontrar suelos ácidos que hace algunas centurias tuvieron reacción neutra o básica... a la vez que suelos que se "mantienen" a lo largo de miles de años con valores de pH próximos a la neutralidad o muy por encima de este valor.

El pH del suelo, en cada momento, es la resultante entre procesos naturales de tendencia "ácida" y procesos amortiguadores específicos de los diferentes ambientes edáficos. Si el pH de los suelos fuese debido exclusivamente a la interacción entre los minerales de las rocas y el agua, todos los suelos tendrían un pH alcalino, entre 9 y 11, según la composición inicial y las características hidrodinámicas de cada sistema. En estas condiciones, la tierra sería estéril e improductiva para las actividades agronómicas tal como las conocemos. La existencia de procesos de acidificación natural se debe a la actuación de "agentes activos" de carácter "ácido", como el CO_2 , la materia orgánica, las formas reducidas de hierro, manganeso, nitrógeno, azufre...etc., y/o a procesos que actúan eliminando o diluyendo las sustancias de carácter básico. El resultado de su acción sería una acidificación, con una velocidad variable dependiente de las condiciones climáticas, topográficas, drenaje... y del tiempo de actuación de los procesos.

De todas formas, frente a esta tendencia acidificante, el suelo dispone de una serie de sistemas o mecanismos que tratan de impedir, o, al menos, prolongar en el tiempo, la disminución del pH. Son los sistemas tampón o mecanismos reguladores que se originan por la propia naturaleza de los componentes del suelo y su respuesta frente a las condiciones del medio en que se encuentren. De forma simplificada puede señalarse que los medios controlados por *silicatos o carbonatos sódicos* presentan una reacción fuertemente alcalina, *superior a 9,0*. Cuando el control lo ejercen *sulfatos o carbonatos de Ca, Mg y Na* (en los que el Na no es dominante), el *pH decrece ligeramente de 9,0*. En conjunto, estos sistemas vienen caracterizados por un carácter salino o alcalino, típico de medios áridos (o receptores de aguas salobres...).

En los medios calcáreos existe un equilibrio característico a *pH próximo a 8,0* debido al efecto del tampón *carbonato cálcico activo*, que neutralizará la acción de los compuestos ácidos, manteniendo constante aquel valor.

Los ambientes entorno a la neutralidad, que ocupan actualmente una gran extensión en las áreas templadas, y concretamente en la mayor parte de la Península Ibérica, aparecen tamponados en el *intervalo de pH 6-7,5* debido a la presencia de *bicarbonato Ca, arcillas 2:1 saturadas en bases...*

Finalmente, los sistemas neutro-ácidos y ácidos, con valores de pH inferiores a 6,0, suelen venir caracterizados por la existencia de *arcillas 1:1 más o menos saturadas*.

Mientras un sistema permanece controlado por alguno de estos componentes sus valores de pH no se modifican, es decir, los compuestos ácidos son neutralizados y se recupera el equilibrio inicial. Sólo cuando las "fuerzas ácidas" (y el tiempo, la pluviosidad, el drenaje...) consigan hacer desaparecer estos tampones se producirá un

cambio de pH hacia un intervalo menos básico, con un valor final dependiente del nuevo mecanismo control desencadenado, lo que en la naturaleza se produce normalmente a escalas de tiempo de cientos-miles de años. La mayor o menor sensibilidad de un medio ante un posible impacto ácido vendrá determinada por su propio estado ácido-base, la cantidad y naturaleza de sus agentes tampón y, en última instancia, de las características del nuevo sistema hacia el que se produzca su evolución.

La "fuerza ácida" de los compuestos naturales

Si la presencia, o no, de agentes tampón (y su cantidad, naturaleza...) puede resultar fundamental a la hora de valorar la posible sensibilidad de los sistemas ante un hipotético impacto ácido, también lo es el hecho de que la "fuerza ácida" de los compuestos naturales es muy diferente según las características físico-químicas del medio. *En general, cuanto más básico es un sistema tanto mayor es la importancia de los posibles componentes ácidos, lo que puede ser fácilmente comprendido a través de algunos ejemplos.*

El CO_2 (atmosférico o producido en el interior del suelo a través de mecanismos respiratorios de raíces, fauna, microorganismos...) se disuelve fácilmente en el agua de lluvia, convirtiéndose en CO_2 aquo (CO_3H_2). Si el medio es ácido (pH inferior o próximo a 4,5) el CO_3H_2 es estable como tal, pero cuando el pH es superior a este valor, se produce un desequilibrio de esta fase en favor del CO_3H^+ , con la consiguiente liberación de H^+ . En medios más básicos el bicarbonato disminuye su estabilidad, incrementándose la concentración de iones CO_3^{2-} y, en consecuencia, intensificándose la salida de H^+ (Fig.I.1). *Es decir, el carácter ácido del $\text{CO}_2\text{aq.}$ es tanto mayor cuanto más básico sea el medio y, así, en ambientes salinos y alcalinos incluso el agua de lluvia actúa como un ácido, debido a que el CO_2 atmosférico disuelto en ella es capaz de liberar, a los valores de pH típicos en estos sistemas, hasta 2H^+ por mol de CO_2 . Por el contrario, puede afirmarse que este efecto no se produce en ambientes con pH inferior a 5,0 (4,5 en suelos con una pCO_2 muy alta).*

Algo similar podría decirse en relación a los ácidos orgánicos, presentes en el suelo a través de la descomposición de los restos vegetales. De modo general puede asumirse que, en ambientes ácidos (pH < 5,0), sólo determinados compuestos orgánicos, generalmente poco abundantes, como los ácidos oxálico, tartárico, cítrico..., se comportan propiamente como tales, liberando protones al medio. A pH por encima de 5,0 suele comenzar la ionización de los radicales carboxilo; por encima de 7,0 pueden comportarse como ácidos determinados grupos OH-fenol ... y a pH superiores a 9,0 lo hacen, incluso, los grupos OH-alcohol. *Es decir, la materia orgánica del suelo presenta un carácter ácido tanto más importante cuanto mayor sea el pH del suelo; en suelos ácidos puede decirse que la materia orgánica apenas presenta un comportamiento ácido.*

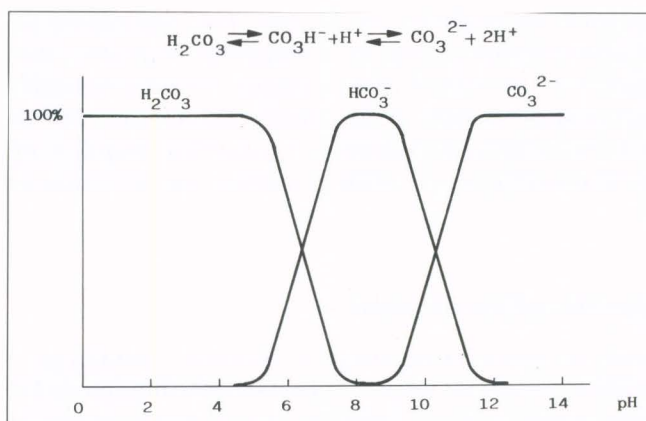
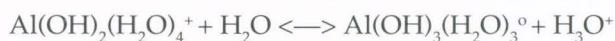
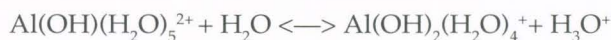


Fig. I.1.- Distribución de especies de CO_2 con el pH (Schmitt, 1955).

Una situación que puede resultar decisiva a la hora de interpretar este complejo juego de interacciones ácido-base es la que se refiere a los compuestos aluminicos. El Al es un elemento que puede aparecer en el suelo en cantidades importantes, dependiendo del material geológico. Las reacciones de hidrólisis de los polímeros aluminicos pueden ser representadas esquemáticamente como sigue:



Según esto, el aluminio trivalente es susceptible de hidrolizarse, convirtiéndose en complejos hidroxialuminicos mono y poliméricos, decreciendo su carga positiva y provocando la formación de iones H^+ (H_3O^+). Cuanto más elevado es el pH del medio más intenso es el desplazamiento de las reacciones hacia la derecha (fig. I.2), de tal manera que es mayor la fuerza ácida del elemento. De ahí que la expresión *carácter ácido del Al* pueda ser generalizada siempre que se aplique a ambientes próximos a la neutralidad y, sobre todo, a los de carácter básico.

Por el contrario, a medida que nos desplazamos hacia campos de pH por debajo de la neutralidad, las reacciones antes señaladas se desplazan hacia la izquierda, con la consiguiente aparición de formas hidroxiladas

positivamente cargadas y, lo que es más importante, con un consumo neto de hidrogeniones. De la observación de la fig. I.2 es fácil extraer la conclusión que aquí más nos interesa: *el aluminio es un elemento anfótero, que actúa como agente ácido en medios neutros y básicos y, por el contrario, es un consumidor de hidrogeniones en suelos ácidos. Ciñéndonos a este último rango, podemos afirmar que este elemento actúa como un amortiguador frente a eventuales entradas protónicas, a la vez que sufre una modificación hacia especies positivamente cargadas. En tanto no se agoten los minerales capaces de dar iones aluminicos, está asegurado el pH en un rango 4,5-5,0. Dado que el porcentaje de Al en las rocas suele ser elevado (es el tercer elemento más abundante después del silicio y el oxígeno) y su movilidad es muy baja, se da la circunstancia de que en la mayoría de los sistemas sus combinaciones son una de las principales, sino la principal, causas de que el avance de la acidificación en el abanico de suelos del mundo, desde los más jóvenes a los más evolucionados, no progrese más allá de estos valores, si exceptuamos determinadas situaciones puntuales, como es el caso de los medios sulfato-ácidos y, evidentemente, el campo de los suelos orgánicos (turberas ácidas) o los suelos desarrollados sobre rocas exclusivamente silíceas.*

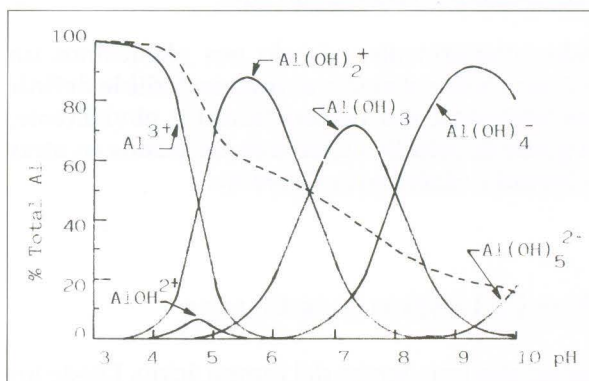


Fig. I.2.- Distribución relativa de especies aluminicas con el pH (Marion *et al.*, 1976).

Así pues, en los suelos que denominamos genéricamente "suelos ácidos" el pH tiende a mantenerse en el umbral 4,5-5,0, debido, tanto al hecho de que en tales sistemas el número y concentración de compuestos naturales capaces de generar acidez es muy reducido, como a la mayor eficacia de los agentes tampón (formas aluminicas activas). De todas formas, esta "ventaja" con respecto a medios neutros o ligeramente básicos no es más que aparente, si se tiene en cuenta que los suelos ácidos representan un estado más avanzado del "natural" proceso de acidificación y poseen importantes limitaciones, al menos desde el punto de vista de la fertilidad, entre las que cabe destacar la escasez de elementos nutritivos, tales

como K, Mg y Ca, *la toxicidad por Al*, debido al incremento de formas catiónicas en solución y en el complejo de cambio *y las deficiencias* (por fijación) *de aniones*, principalmente de fosfatos, debido al carácter positivo de la carga que pueden generar muchos coloides del suelo a estos valores de pH, etc. Todos estos aspectos se tratarán en un capítulo posterior.

Existen determinados ambientes (muy localizados) cuya dinámica ácido-base es más compleja que la mencionada hasta aquí. Un ejemplo poco frecuente lo constituyen las reacciones oxidativas que sufren los suelos que cambian temporal o definitivamente desde un estado hidromorfo a otro aireado, reacciones que están asociadas a la producción de protones cuando se ven implicadas transformaciones de determinados elementos, como el Fe, desde formas ferrosas a férricas, el S, desde sulfuros o sulfatos, o el N, desde formas amoniacales a nitratos. La producción de protones no resulta en este caso dependiente del pH inicial del sistema, sino del desencadenamiento de tales reacciones de oxidación, con la intervención de bacterias catalizadoras, en medios previamente mal drenados. Los suelos sulfato-ácidos pueden modificar bruscamente sus condiciones de pH desde un campo neutro o básico (en la fase reductora) hasta valores próximos a 3,0 (cuando se produce la oxidación). De todas formas, se trata de sistemas muy particulares, que se alejan totalmente del tema que estamos considerando aquí.

Según todo lo señalado anteriormente, cuando nos planteamos un estudio de posibles impactos ácidos sobre el medio **es imprescindible definir previamente las coordenadas ácido-base del sistema inicial y, obviamente, evitar las generalizaciones a partir de estudios similares realizados en otras áreas, con geología, clima o historia edafológica diferente.**

CARACTERISTICAS ACIDO-BASE DE LOS SUELOS DE GALICIA

Los suelos de Galicia se encuentran dentro del campo ácido. Desde los primeros estudios realizados (Muñoz y Guitián, 1956), tanto sobre rocas ricas en cuarzo como sobre rocas básicas, se reconocen suelos cuyo pH en agua es inferior a 5,5 (o incluso a 5,0) (fig.I.3).

Evidentemente, *el tiempo*, es decir, *la edad del suelo*, juega siempre a favor de este hecho, pero lo que en Galicia resulta decisivo, y diferencia esta zona de otras adyacentes, es la elevada pluviosidad y, sobre todo, la intensidad de las lluvias en un periodo continuo dentro del ciclo anual. Unas condiciones de drenaje que favorecen la infiltración del agua a través del suelo, un flujo rápido por escorrentía lateral, super y subsuperficial, así como un régimen de temperaturas de tipo *Subtrópico frío* (media mensual siempre superior a 5°C) (FAO, 1978) (Martínez Cortizas, 1987) facilitan, así mismo, el avance del proceso de alteración y, por lo tanto, de la acidificación.

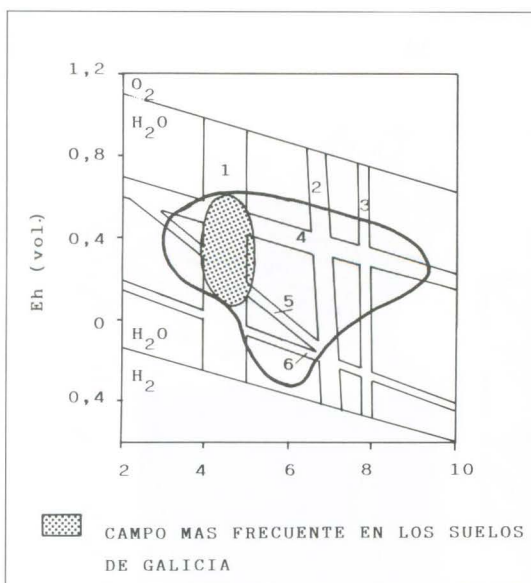


Fig. I.3.- Campo Eh-pH de los suelos de Galicia en comparación con otros del mundo (Chesworth y Macias, 1981) (barreras geoquímicas para minerales 1:1 (1), 2:1 (2), calcita (3), materia orgánica (4), goethita (5) y sulfato/sulfuro (6).

En la fig.I.4a puede observarse la síntesis de un estudio comparado de la evolución de un mismo tipo de roca en Galicia y en el Macizo Central francés, que resulta reveladora. Mientras en este último ambiente se aprecia una pérdida gradual de bases (K, Mg, Ca y Na) desde la roca fresca hasta el suelo, presentando este último material un estatus que podríamos considerar moderadamente bien provisto, en Galicia se produce una brusca transición ya entre dos estados de roca muy semejantes, visualmente hablando, *roca fresca* y *roca alterada*, de modo que lo que reconocemos como *roca alterada* aparece ya muy desprovista de bases, con respecto al material fresco. Tal pérdida resulta ser prácticamente del 90 % en los horizontes de suelo próximos a la roca y, lógicamente, a medida que se asciende en el perfil (es decir, a medida que la alteración tiene mayor antigüedad), el cortejo de bases es todavía menor.

Así pues, rocas similares y de la misma edad muestran actualmente suelos geoquímicamente “más desprovistos” de cationes en Galicia que en otras áreas de la región templada. Sin descartar el efecto que en dichas áreas puede haber ejercido el frío existente en las etapas glaciales del Cuaternario (que no afectaron prácticamente al territorio de Galicia) sobre la ralentización de los procesos de alteración, las condiciones actuales de pluviosidad y temperatura favorecen, también hoy, una evolución más intensa en nuestro medio.

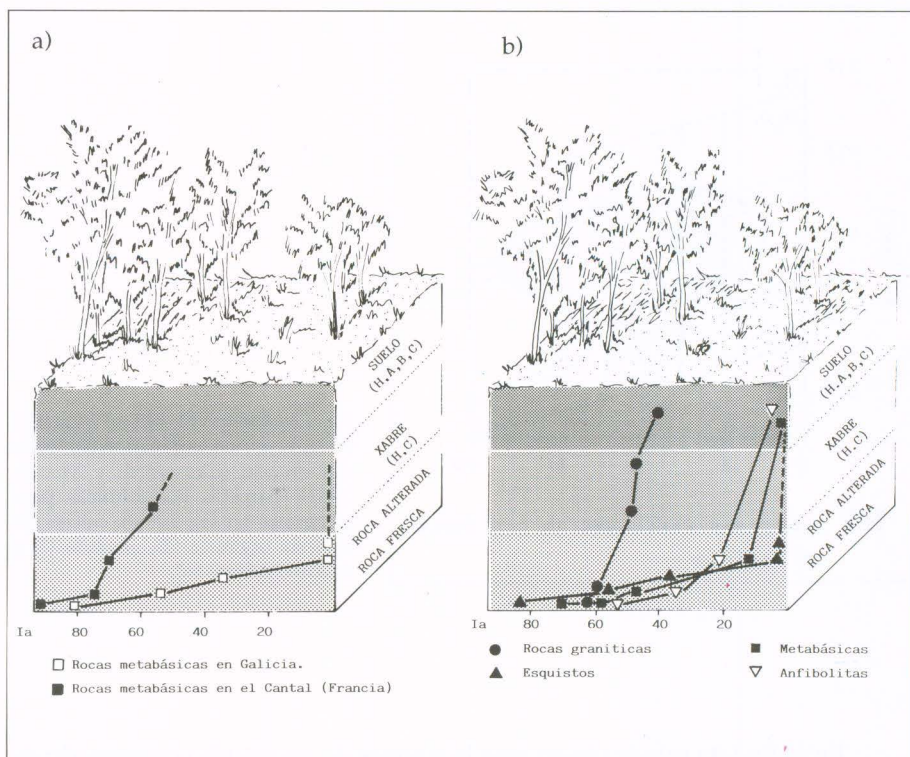


Fig. I.4.- a) Variaciones geoquímicas en perfiles de alteración sobre rocas metabásicas en Galicia y en el Cantal (Francia): variación del índice de Parker desde roca fresca a horizontes de suelo (datos de Macías *et al.*, 1980 y Dejou *et al.*, 1977).

$$Ia = (Ca/0,7 + Mg/0,9 + K/0,25 + Na/0,35) 100$$

b) Variación del índice de Parker en diferentes perfiles de alteración de Galicia.

Estas consideraciones permiten comprender la situación que ocupan los suelos de Galicia dentro del marco mundial (fig.I.5). Según Chesworth (1973), los suelos-tipo de zonas templadas presentan un contenido medio de elementos básicos que se aleja discretamente del campo ocupado por sus rocas originales. En ambientes más cálidos y húmedos el grado de alteración es mayor y, por tanto, resulta mayor su alejamiento de la posición inicial; así, los suelos de las zonas tropicales húmedas y ecuatoriales aparecen prácticamente desprovistos de bases y exclusivamente constituídos por mezclas de oxihidróxidos de Si, Al y Fe, el denominado *sistema residual*. Pues bien, los datos obtenidos en Galicia distan mucho de situarse en el campo habitual de áreas templadas, tal y como parecería lógico suponer, apareciendo muy próximos (o en) al entorno característico de los medios tropicales o ecuatoriales (fig.I.5).

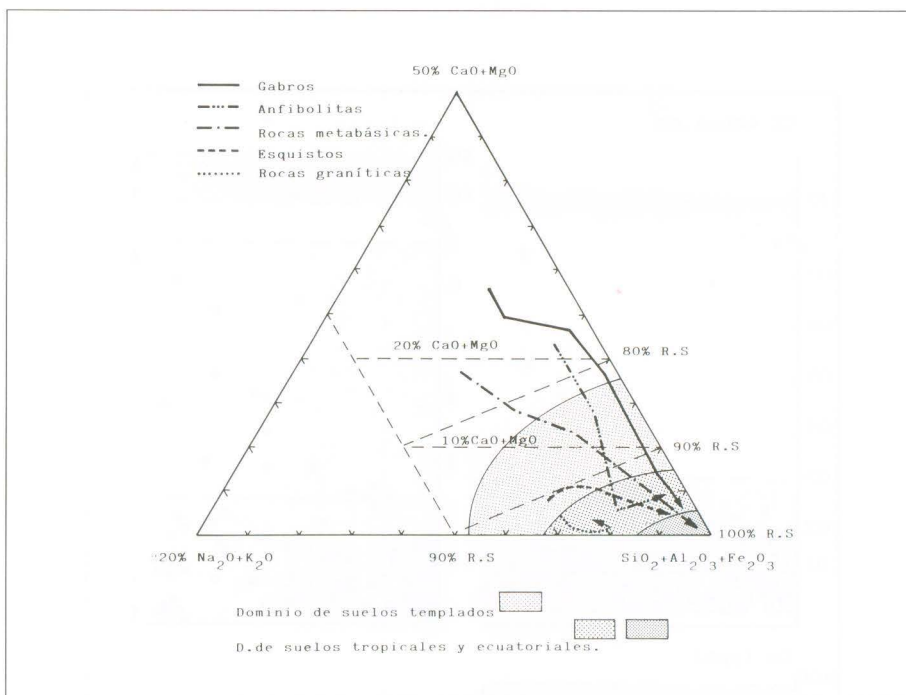


Fig. I.5.- Intensidad de la alteración en rocas de Galicia (Macías *et al.*, 1981): diferencias de composición entre roca y suelos derivados, en relación con lo habitual en diferentes ambientes, según Chesworth (1973). (El extremo final representa las características del suelo en cada medio de alteración).

Según esto, no es de extrañar que los recientes resultados obtenidos sobre la solución de los suelos, la fase que representa más fielmente la dinámica actual, muestre una fuerte dilución, alejándose ostensiblemente de los umbrales medios que se citan en la bibliografía como propios de áreas templadas... y aproximándose a los datos recogidos por Gillman y Bell (1977) en los suelos mas evolucionados de Australia y áreas climáticas similares (fig.I.6). Así, la conductividad eléctrica de nuestras soluciones no suele superar los 0,25 mmhos/cm; la concentración de Na, 15 ppm; la de Ca y Mg, 7 ppm y la de Si y K, 2 ppm (Calvo *et al.*, 1987).

Todos los estudios conducen al mismo punto y, así, los trabajos realizados sobre el complejo de cambio de los suelos de Galicia ponen de manifiesto un estatus de la suma de bases de cambio ($\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Na}+\text{K}$) muy débil, que podría definirse, según la clasificación FAO (1980) como *muy bajo dentro del campo de los muy bajos* (fig.I.7).

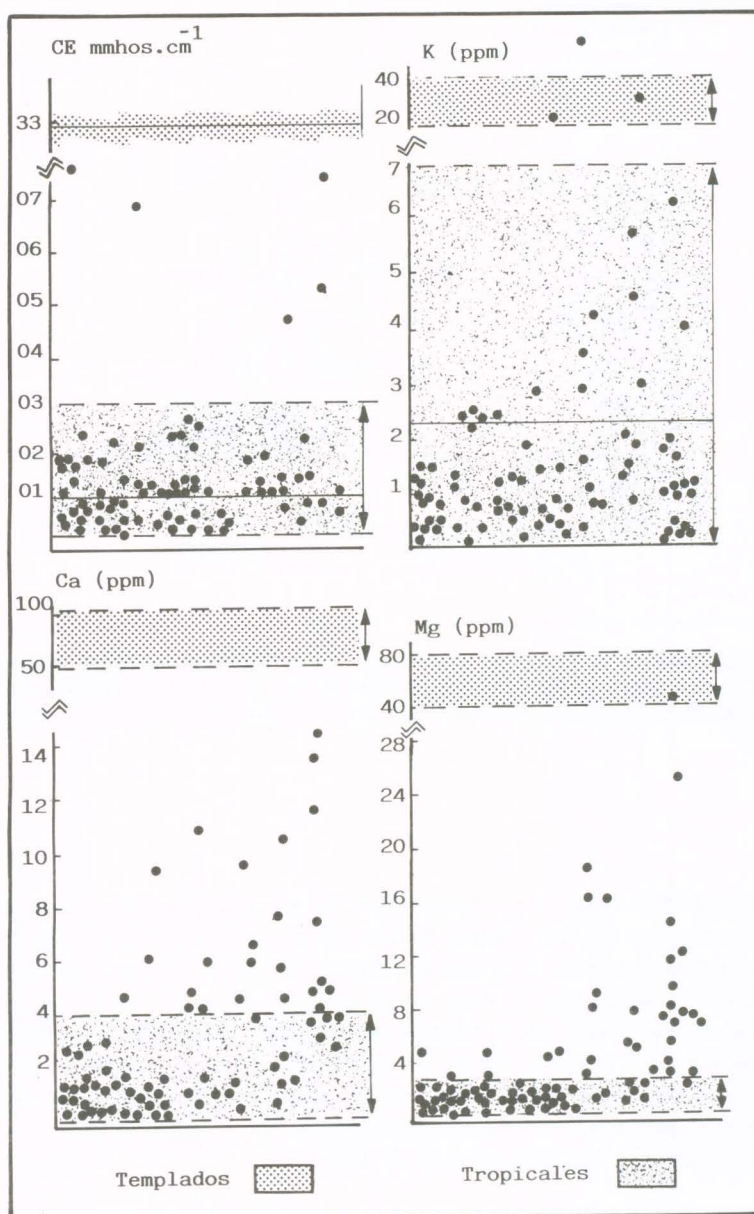


Fig. I.6.- Composición de la solución en suelos de Galicia sobre diferentes materiales originales (Calvo *et al.*, 1987). Comparación con los intervalos característicos de áreas templadas y tropicales (Altman y Dittmer, 1966; Murrman, 1972; Adams, 1974; Gillman y Bell, 1978).

...todos estos resultados independientemente del tipo de vegetación (si acaso un ligero empeoramiento en las áreas de brezal, Calvo y Macías, 1987) y con variaciones no muy acusadas según el material geológico. Evidentemente, el resultado final no podía ser otro que una acidez generalizada en todo el territorio de Galicia.

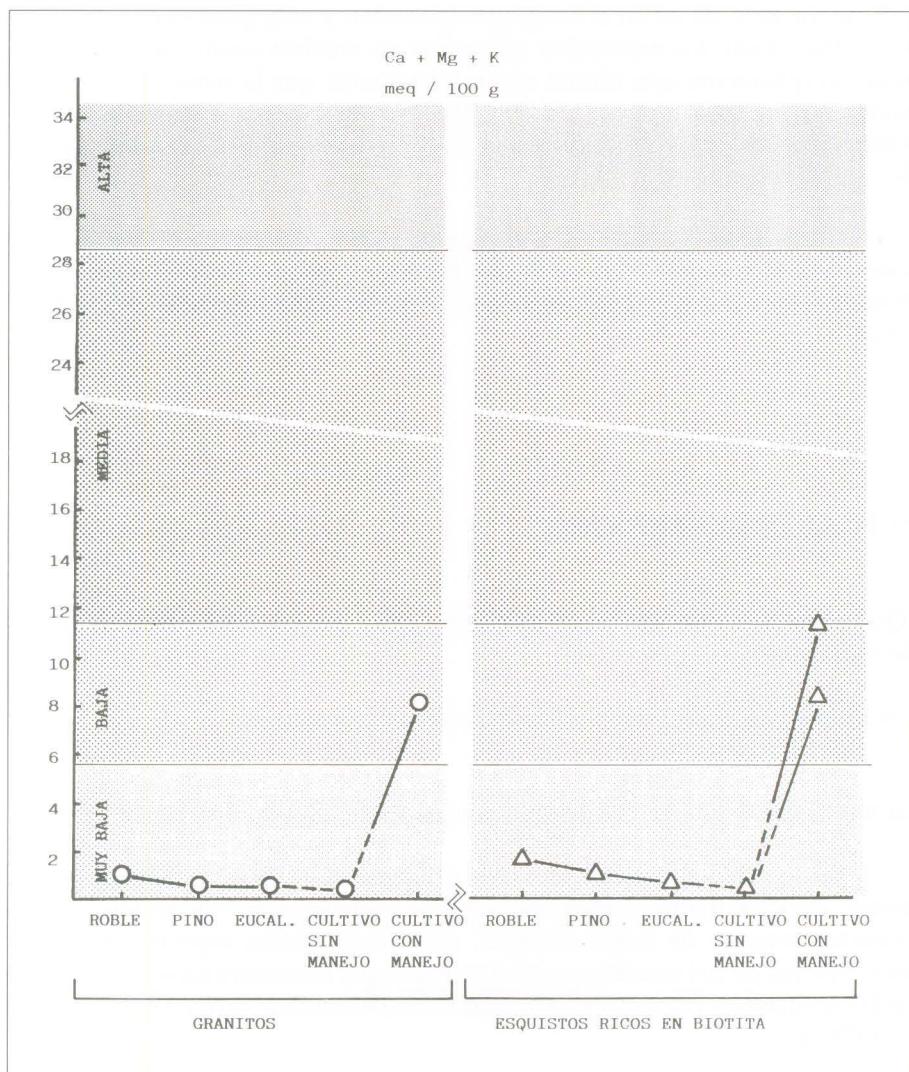


Fig. I.7.- Cationes de cambio (Ca+Mg+K) en suelos de Galicia (medias de más de 200 horizontes superficiales (Macías y Calvo, 1987; Alvarez *et al.*, 1989).
(Se señalan umbrales de fertilidad según FAO, 1980).

La acidificación trae consigo las transformaciones relativas a los compuestos aluminicos, tendentes a neutralizar el proceso. Se produce, por tanto, la paulatina aparición de especies catiónicas hidroxiladas (ver fig. I.2) que resulta paralela a un incremento de aluminio en solución y en el complejo de cambio de los suelos. Si la neutralización de ácidos fué considerada como una reacción favorable, la presencia de aluminio en posiciones fácilmente asimilables no puede ser observada sino como un aspecto limitativo de la fertilidad. La mayor parte de los sistemas de evaluación consideran *grave* la presencia de más de un 40 % de Al en el complejo de cambio y *muy grave* si es mayor del 60 %. Pues bien, los resultados obtenidos en muchos suelos de Galicia superan ampliamente este último nivel. Es por esto, que la mayor parte de los suelos que se utilizan para cultivo han estado, y están, sometidos a diferentes prácticas de corrección de la toxicidad por Al (estercolado, encalado...).

En resumen, los suelos de Galicia presentan un generalizado carácter ácido como consecuencia de la fuerte evolución que han sufrido los materiales geológicos. Paralelamente a la escasez de cationes básicos se produce un incremento relativo del Al activo.

EL PAPEL DE LA VEGETACION

¿Qué influencia pueden ejercer diferentes especies vegetales sobre los suelos de esta zona?

Los datos de que se dispone afectan a distintos procesos:

La modificación de las soluciones acuosas que entran en el suelo

En los tejidos vegetales existe una serie de compuestos orgánicos que tienen carácter ácido. Todos los análisis realizados en laboratorio sobre extractos acuosos de hojas, cortezas, etc., de diferentes especies, muestran unos valores de pH sensiblemente más bajos que los observados inicialmente en las soluciones extractoras (Guitián, 1963; Fernandez Ferro, 1979; Calvo *et al.*, 1979...).

Algo similar se observa en relación a las soluciones naturales que toman contacto con las vegetaciones. Así, cuando se analiza el agua de lluvia una vez atraviesa las cubiertas de distintas especies arbóreas (*pluviolavado*) se observa

un importante descenso del pH, revelándose los pinos (*P. pinaster* o *radiata*) considerablemente más acidificantes que eucaliptos (*E. globulus*) y robles (*Q. robur*). En las experiencias realizadas en las proximidades de Santiago los valores más frecuentes de pH, desde el agua de lluvia a los *pluviolavados* de roble, eucalipto y pino fueron, respectivamente, de 6.0, 5.6, 5.1 y 4.4, aunque el rango obtenido es muy amplio, llegando en el caso de los pinos a registros de pH de hasta 3.9 (fig.I.8).

Cuando toman contacto con el tronco de estas especies (*escurrido*), las aguas de lluvia adquieren valores de pH todavía mas bajos, siempre de forma más acusada en pinos, que llega a dar resultados incluso inferiores a 3,5 (fig.I.8).

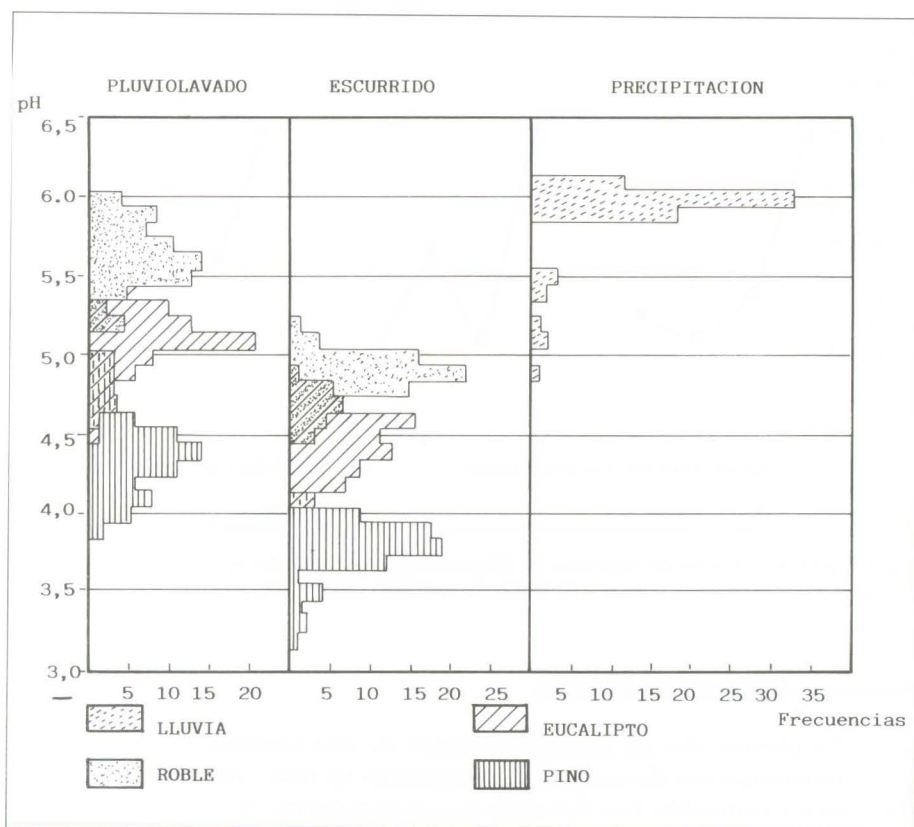


Fig. I.8.- Carácter ácido de cubiertas y troncos de algunas especies arbóreas (*Q. robur*, *P. pinaster* y *E. glóbulus*). Variaciones de pH sufridas por el agua de lluvia al contacto con las mismas (pluvio-lavado y escurrido) (Calvo *et al.*, 1979).

Por otra parte, la maceración de hojarasca de diferentes especies arbóreas con agua destilada conduce a resultados similares; es decir, no sólo las hojas vivas sino también la hojarasca caída al suelo provoca un importante descenso del pH de la solución de contacto, descenso que llega a ser de hasta dos unidades de pH en extractos de hojarasca-agua de relación 1/10, después de 3 días de contacto. De todas formas, de los datos que poseemos se desprenden resultados que difieren de los anteriores en el sentido de observarse un carácter menos acidificante por parte de hojarascas de *P. pinaster* que de *E. globulus* y *Q. robur*, al menos en algún período (fig.I.9) (Alvarez y Calvo, 1991). Estos resultados parecen indicar el tipo de diferencias que se establecen entre distintas especies con relación a los procesos biológicos del suelo, tal y como veremos a continuación.

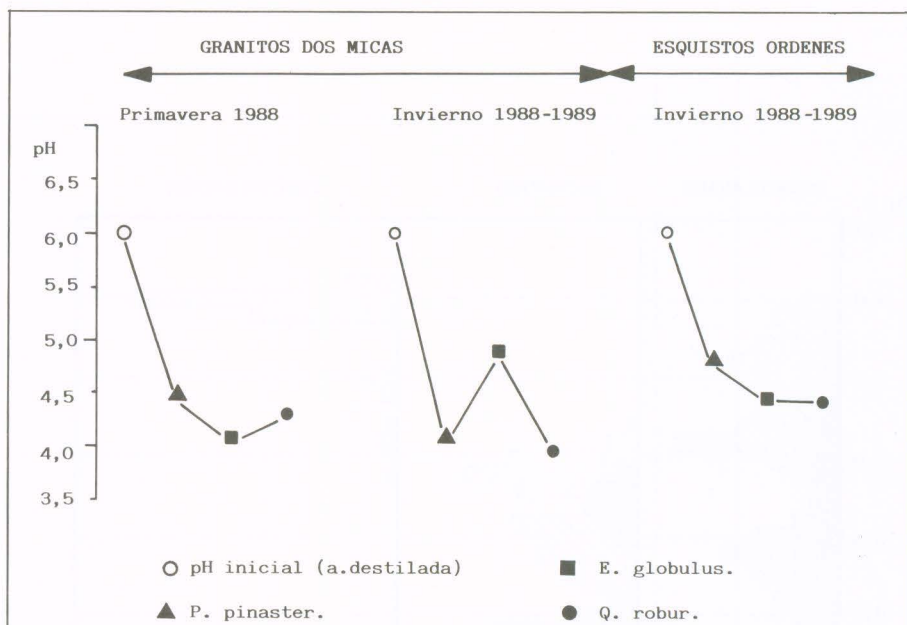


Fig. I.9.- pH de extractos de hojarasca de distintas especies forestales (*Q. robur*, *P. pinaster* y *E. globulus*) relación hojarasca/agua 1:10, 3 días de contacto (Alvarez y Calvo, 1991).

Procesos biológicos en el suelo

La producción de protones a través de mecanismos de descomposición/mineralización de compuestos orgánicos es muy compleja y, por ello, difícilmente estimable. Los datos de que se dispone hacen referencia a distintos aspectos de la cuestión.

Por una parte, la eficacia del proceso, que se puede medir indirectamente a través de la actividad microbiana, resulta ser más acusada en suelos

de robledal que en otros suelos forestales. Así, tanto la densidad de microflora total, como las poblaciones responsables de la degradación de pectina, celulosa, almidón, colonias de hongos y poblaciones amonificantes y nitrógenantes presentan, bajo comunidades de roble, un mayor desarrollo que bajo pino (*P. radiata*) (fig.I.10). Los únicos datos obtenidos en eucaliptales muestran una composición de la microflora menos importante, en cantidad y diversidad, que en robledales y, en general, mayor que en los pinares (*P. pinaster*) (Bará *et al.*, 1985), exceptuando las poblaciones de hongos (foto I.1).

Los anteriores resultados hallan buena correspondencia con las observaciones de campo y los estudios que realizan el seguimiento de la descomposición de la hojarasca de diferentes especies. Mientras que robledales y eucaliptales muestran una tasa de descomposición foliar similar, las acículas de pino, fundamentalmente las de *P. pinaster*, se mantienen "enteras" durante un largo periodo de tiempo, incluso años, formando sobre el suelo una capa de hojarasca de algunos cm, correspondiente a varias generaciones (Fernández Ferro y Díaz-Fierros, 1977; Calvo de Anta, 1979; Lozano y Velasco, 1981; Bará *et al.*, 1985).

Teniendo en cuenta estos datos, no es de extrañar que los niveles de producción de CO_2 observados en suelos forestales bajo robledal se mantengan, en cualquier época del año, por encima de los existentes bajo pinar. Estos niveles oscilan, según nuestras experiencias, entre 300 y 600 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hora}$, en el primer caso, frente a 200-450 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hora}$, en el segundo (fig.I.11). Es decir, la presión parcial de CO_2 en horizontes superficiales de suelos bajo robledal (y previsiblemente bajo eucaliptal) es indicativa de un *potencial ácido* superior que bajo sistemas forestales de pinar, *potencial* que resulta máximo en los periodos de primavera y otoño (fig.I.11).

No obstante, si bien la mayor o menor cantidad de microflora, tasa de descomposición y producción de CO_2 , suelen utilizarse como test de evaluación de las posibles reacciones oxidativas productoras de protones, no resultan los únicos factores a considerar. Es necesario tener en cuenta, entre otros, la relación bases/protones resultantes del proceso de mineralización, la cantidad y tipo de ácidos orgánicos producidos,...etc.

Una aproximación a la primera de las cuestiones planteadas ha sido obtenida en un ensayo de oxidación forzada de hojarasca realizado por Urrutia (1989). Según este estudio, en los extractos finales se obtienen unas relaciones cationes básicos/protones muy similares en *Q. robur* y *E. globulus* (próximas a 0,4), algo inferiores en *P. pinaster* (0,2-0,4) y mucho más bajas en *P. radiata* (0,18), todas ellas considerablemente alejadas de lo que resultaría el valor ideal de 1,0, que sólo es alcanzado por *Xarotamnus sp.*, en la experiencia realizada.

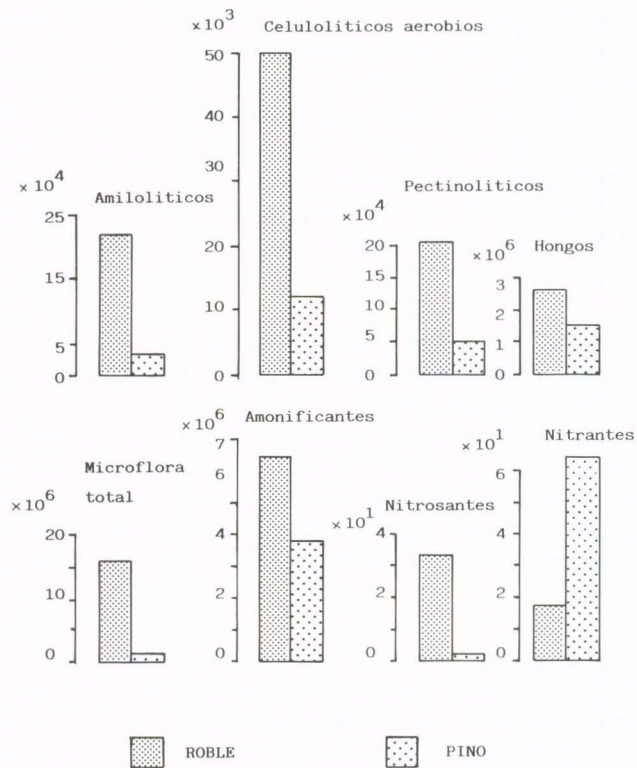


Fig. I.10.- Densidad de población microbiana bajo *Q. robur* y *P. radiata* (número de individuos/ gramo de suelo) (Calvo *et al.*, 1979).

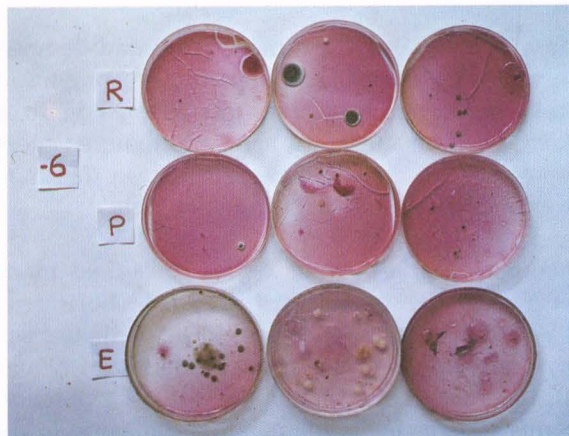


Foto I.1.- Los recuentos de hongos resultan normalmente más elevados en suelos forestales bajo *E. globulus* que bajo *Q. robur* y *P. radiata*.

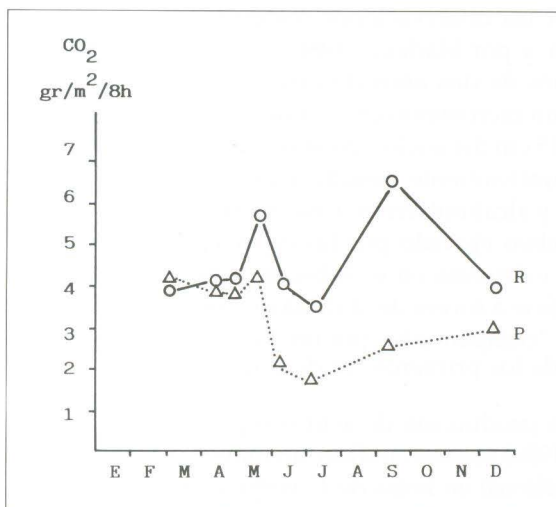


Fig. I.11.- Difusión de CO₂ en horizontes superficiales bajo *Q. robur* y *P. radiata* (g/m²/8h) (Calvo et al., 1979).

Sin embargo, en un ensayo en el que se han introducido minerales test monosaturados (vermiculitas-Na) en estos mismos sistemas forestales, se apreció que el cambio de Na⁺ por H⁺ y Alⁿ⁺ en la capa superior del suelo bajo robledal era escaso (tabla I.1), mientras que, bajo pinos y eucaliptos, el Na⁺ fue rápida y masivamente desplazado por otros elementos, sobre todo por el Ca⁺. Resulta así que, al cabo de 1 año de incubación en campo, la relación cationes básicos/cationes ácidos introducidos en las vermiculitas fue más favorable en las dispuestas bajo pinos y eucaliptos (1,6 y 2,2) que bajo robledales (0,6).

Tabla I.1. Variación del porcentaje de Na cambiado de vermiculitas-Na dispuestas en suelos forestales de robledales, pinares y eucaliptales y relación cationes básicos/ácidos al cabo de 12 meses de incubación (Calvo y Macías, 1990).

Tiempo (meses)	% de Na				Ca+Mg+K/H+Al
	0	3	6	12	
Roble	100	80-90	75-90	70-80	0,6
Pino	100	70-80	60-75	50-65	1,6
Eucalipto	100	70-80	60-70	32-45	2,2

Estos resultados apoyan las observaciones realizadas por Lozano y Velasco (1981), en Extremadura, y por Madeira (1986), en suelos de Portugal. Según este último autor, después de dos años de descomposición *in situ* de hojas de *E.globulus* se produce un incremento en la suma de bases (sobre todo Ca) y en el pH de los primeros 15 cm del suelo; en esta capa orgánica, un suelo bajo *Q.suber*, analizado comparativamente, resultó más ácido y con menor contenido en cationes alcalinos y alcalinotérreos. Una interpretación probable a estos datos es el mayor bombeo ejercido por las especies de crecimiento rápido sobre los iones básicos existentes en el subsuelo, parte de los cuales revertiría de nuevo en la superficie a través de la caída de hojarasca. El mayor consumo neto vendría en parte "compensado" por un efecto de concentración biológica del Ca y Mg a favor de los primeros cm de suelo.

Por lo que se refiere a la producción de ácidos orgánicos, los análisis realizados por Alonso y Bará (1989) parecen indicar un mayor potencial ácido (mayor cantidad de ácidos fenólicos) en hojas de *E. glóbulus* que en las de *P. pinaster* y *Q. robur* (Tabla I.2).

Tabla I.2. Concentraciones de ácidos fenólicos en hojas vivas y horizontes Ao de diferentes especies arbóreas, según Alonso y Bará, 1989) (datos en micromol/Kg).

	<i>E. globulus</i>		<i>P. pinaster</i>		<i>Q. robur</i>	
	H.viva	Aoo	H. viva	Aoo	H. viva	Aoo
Ac. gálico	1062	11,6	37	4,3	481	9,1
p-h. benzóico	4	2,1	93	2,3	8	2,0
ptocatéquico	57	6,6	319	24,4	0	13,3
vainílico	212	2,1	122	3,3	40	2,9
sirínico	0	2,0	6	1,7	76	2,2

El pH de los suelos forestales

De lo recogido hasta aquí se deduce la gran dificultad existente para caracterizar satisfactoriamente el diferente **potencial ácido** de las distintas especies forestales que estamos considerando. Los resultados obtenidos sobre aguas de pluviolavado y escurrido no coinciden con los que se derivan de los procesos de mineralización de restos vegetales, producción de CO₂ y ácidos orgánicos, relaciones bases/protones...

No obstante, hay un hecho que nos permite trascender de tal discusión. Sea cual fuere el potencial ácido de las diferentes especies, la situación que finalmente constatamos en los suelos forestales de Galicia es que el pH resultante no acusa diferencias significativas entre especies, revelándose como factor de distribución fundamental el tipo del material original. Es así, que la mayor parte de los suelos aparecen en un rango de pH entre 4,5 y 5,2 y únicamente se produce un descenso importante (por debajo de 4,0) sobre materiales cuarcíticos existentes en áreas muy puntuales.

Estudios en los que se analizan de forma comparada las variaciones del pH de horizontes A de suelos, medidos en agua y en KCl, arrojan sistemáticamente los mismos resultados (fig.I.12). El primero de estos parámetros representa la situación de equilibrio, *acidez actual*, medida en condiciones convencionales de laboratorio. Los resultados se encuadran en lo señalado más arriba para la mayoría de los suelos de Galicia, es decir, con valores medios en un intervalo 4,5-5,2 y con muy escasas diferencias entre suelos de roble, pino y eucalipto.

La medida en KCl representa, en cierto modo, la *acidez potencial* que pueden generar los suelos por adición de electrolitos. Tal y como se desprende de sus valores, en relación a los anteriores (fig.I.12), todos los suelos forestales de Galicia presentarían en su horizonte superficial la capacidad de generar una acidez suplementaria a la actual (capacidad de neutralizar bases). Las diferencias entre especies vegetales no son de gran significación, si bien se reconoce en el ensayo que recogemos un grupo de suelos bajo roble y esquistos de Ordenes con una especial tendencia ácida, lo que podría guardar relación con algunos de los datos señalados en el apartado anterior (mayor actividad biológica, menor bombeo de Ca hacia la superficie... etc).

En los horizontes más profundos (B y C) de los suelos de Galicia las diferencias entre especies no existen. Cabe señalar a este respecto que algunos datos obtenidos de la bibliografía ponen de manifiesto un descenso de pH en las partes medias y bajas del perfil en explotaciones intensivas de eucalipto, acusándose una mayor remoción de las bases en estos niveles.

La homogenización observada entre distintos suelos forestales de Galicia se pone, así mismo, de manifiesto cuando se hace un seguimiento del contenido de ácidos fenólicos en los horizontes superficiales. Según Alonso y Bará (1989), a pesar de las diferencias encontradas en los extractos de hojas, tal y como se señaló anteriormente, las variaciones se anulan en el horizonte A₀ del suelo, cuyo contenido es prácticamente el mismo bajo *E. globulus*, *P. pinaster* y *Q. robur* (tabla I.2). Resultados similares son señalados por Domínguez de Juan (1986) en análisis de hojarasca de distintas especies en la provincia de Huelva.

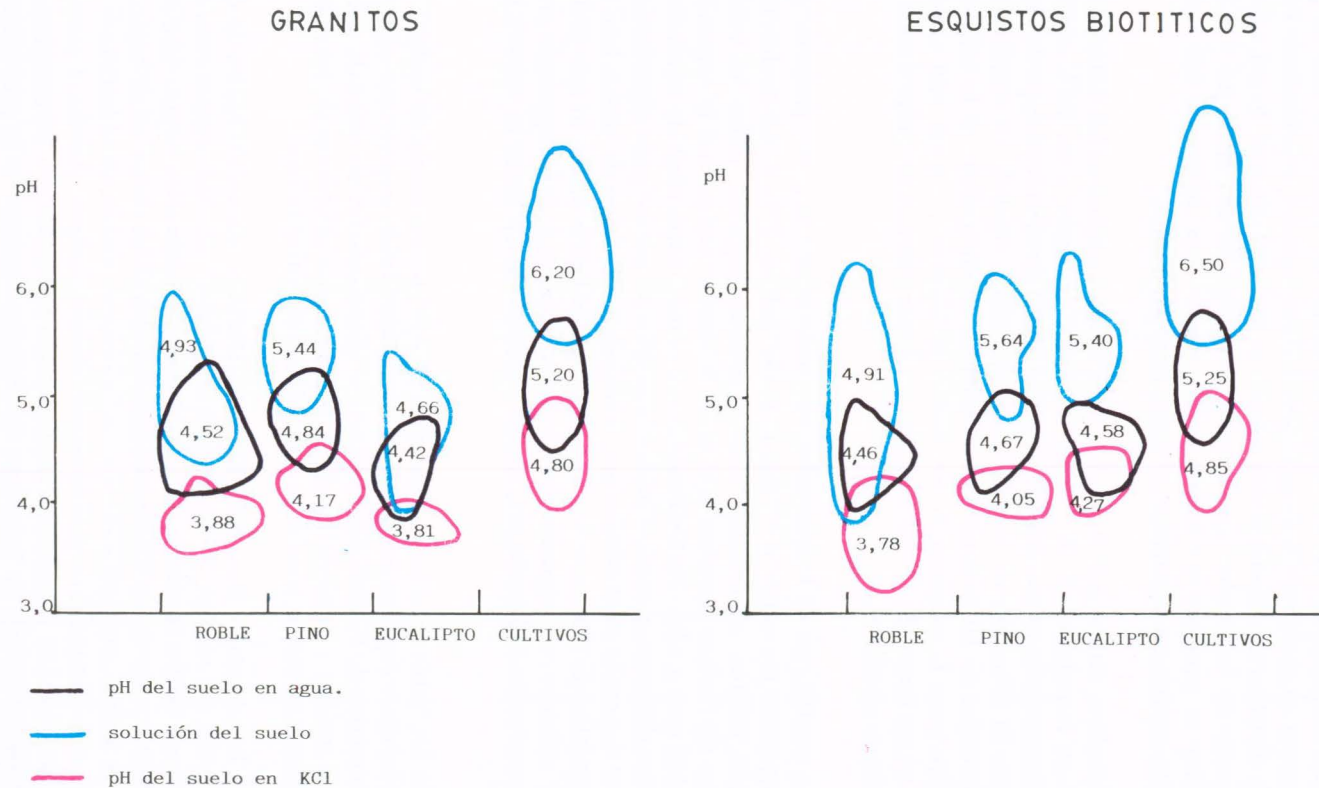


Fig. I.12.- pH del suelo bajo diferentes especies forestales (*Q. robur*, *P. pinaster* y *E. globulus*): diferencia entre el pH en agua, en KCl y el pH de la solución capilar del suelo (Hor. A) (se indican campos de frecuencia y valores medios) (Alvarez y Calvo, 1991).

La falta de respuesta edáfica ante posibles diferencias en el *input* ácido de distintas cubiertas vegetales (que no hemos podido caracterizar satisfactoriamente en Galicia, según hemos visto) se interpretó inicialmente como una consecuencia de un mecanismo tampón *Al de cambio-Al amorfo* desarrollado en estos suelos. Por lo tanto, nuestro estudio se orientó en años sucesivos hacia la caracterización de las variaciones en el contenido de Al en solución y en el complejo de cambio, como referencia indirecta a un posible proceso acidificante no detectable en los test de pH realizados al suelo.

Los resultados obtenidos bajo distintas vegetaciones arbóreas no muestran tampoco diferencias significativas en la proporción de Al cambiante, siempre dentro del rango considerado genéricamente como *muy alto* (> 60 %) (fig.I.13) y ligeras variaciones en la solución, si acaso con valores algo más elevados en algunos suelos bajo robledal (los mismos que resultaban más ácidos), si bien de muy escasa significación (diferencias del orden de $3 \cdot 10^{-5}$ moles/litro). Los resultados que se obtienen en algunos suelos de cultivo recogidos en la figura reflejan las prácticas de corrección a que han sido sometidos.

La solución del suelo

De todas formas, el estudio de la fracción sólida del suelo no permite establecer de forma precisa la tendencia actual de los procesos edáficos ni la respuesta inmediata ante diferentes eventos. Los análisis de la solución capilar se revelan más adecuados para el seguimiento de tales procesos.

Los resultados obtenidos en más de 200 muestras de solución de suelos forestales ponen de manifiesto un incremento generalizado de los valores de pH, en relación a los que presentaban las soluciones de entrada (*pluviolavado y escurrido*), lo cual parece contrastar, en principio, con los mecanismos ácidos relativos a los procesos de mineralización de la materia orgánica. El aumento de pH puede llegar a ser muy importante, por ejemplo, en el caso de los suelos de pinar los incrementos son de 4,4 a 5,6 y, en los de eucaliptal, de 5,1 a 5,4 (fig.I.9 y I.12).

Las diferencias entre especies, que resultaban muy ligeras en los análisis de suelo, se muestran aquí más acusadas. Así, la solución extraída de horizontes A con *P.pinaster* es siempre menos ácida (valores medios de 5,4 y 5,6 en granitos de dos micas y esquistos de Ordenes, respectivamente) que la recogida bajo *E. glóbulus* (4,7 y 5,4, respectivamente) y *Q. robur* (4,9 en ambos casos).

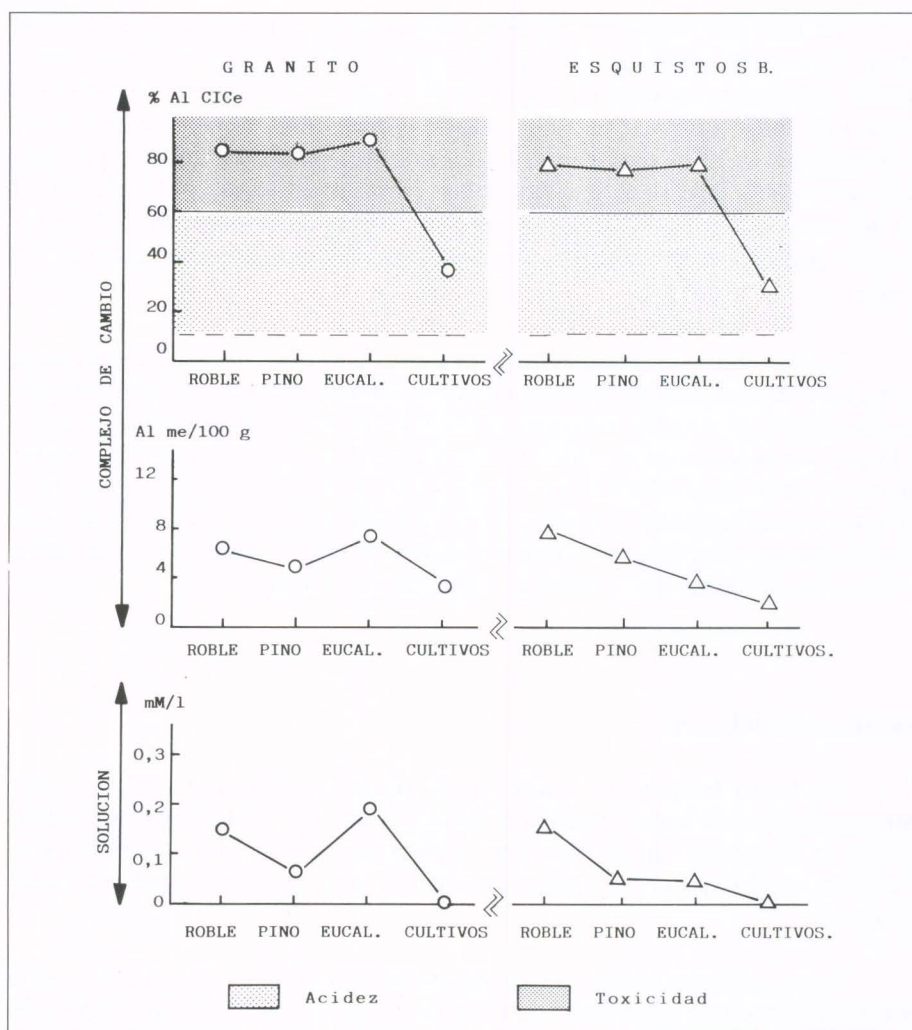


Fig. I.13.- Aluminio en el complejo de cambio y en la solución de suelos bajo *Q. robur*, *P. pinaster* y *E. globulus* (Alvarez y Calvo, 1991).

Resulta particularmente llamativa la acidez de determinadas soluciones de suelos de roble/esquisto (que también resultaban más ácidos y con más Al de cambio, en su fracción sólida). Esta situación sólo puede ser comprendida teniendo en cuenta la gran acumulación de hojarasca en vías de descomposición de estos sistemas, por otra parte bastante frecuentes. No es de extrañar el carácter particularmente ácido de esta capa, sobre todo en la fecha en que se realizó el muestreo, primavera, de mayor actividad biológica. La

fig.I.12 recoge gráficamente estos datos, que resultan más que anecdóticos si se tiene en cuenta que pueden representar las condiciones de un amplio número de sistemas forestales bajo robledales, libres de explotación y con una gruesa capa superficial rica en materia orgánica.

A medida que profundizan en el perfil (horizontes B y C), las soluciones experimentan un importante ascenso de pH, de hasta una unidad, con relación a los horizontes superficiales (fig.I.14).

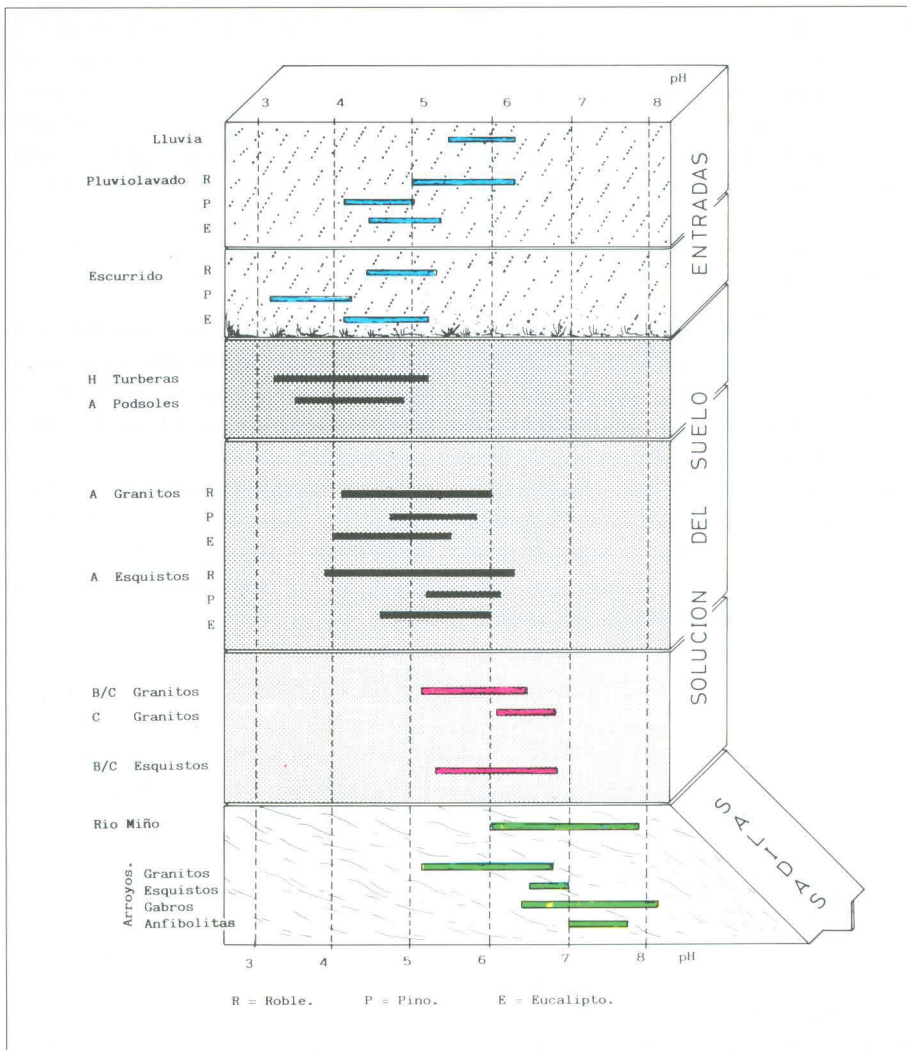


Fig. I.14.- Síntesis del estado ácido base de soluciones de entrada y salida de sistemas forestales de Galicia (datos de diversos autores).

Los análisis de las aguas de drenaje y escurrentía que abandonan los sistemas edáficos son reflejo de lo señalado anteriormente. La mayor parte de los arroyos y ríos de Galicia presentan valores de pH por encima de 6,0, o incluso de 7,0 (fig.I.14).

SINTESIS DE RESULTADOS

1. La mayoría de los suelos de Galicia presentan un fuerte grado de evolución geoquímica con relación a la composición de los sustratos geológicos. Los mecanismos de meteorización han progresado a favor de los procesos de lavado de cationes alcalinos y alcalinotérreos, apareciendo actualmente fuertemente desaturados el complejo de cambio y la solución del suelo y, como consecuencia, resultando un pH en el campo de los *medios ácidos*, entre 4,5 y 5,5.

2. Los procesos actuales que se detectan en estos suelos pueden resumirse diciendo:

Los horizontes A de los suelos forestales de Galicia son receptores de aguas de pluvio lavado de cubierta y tronco de carácter ácido. En ellos se origina, además, una producción de protones (menor que la que sería de esperar en ambientes más básicos) relacionada con la oxidación de los restos vegetales y con el incremento de ácidos orgánicos y de la presión parcial de CO₂. Las diferencias encontradas entre especies forestales son poco claras y así, por ejemplo, mientras *P.radiata* y *P.pinaster* muestran una importante liberación de protones al agua de lluvia, desde hojas y troncos vivos, y *Q.robur* parece provocar una importante acidificación de los horizontes superficiales a través de los procesos de mineralización (sobre todo en determinados sistemas y épocas del año), *E.globulus*, que también tiene una importante tasa de descomposición, presenta, además, una mayor cantidad de ácidos fenólicos en hoja.

No obstante, se desarrollan en estos horizontes mecanismos reguladores, de los que resulta una situación de "equilibrio" en la fracción sólida y un incremento de pH en las soluciones que los atraviesan, incremento que se intensifica con la penetración de dichas soluciones en el perfil, resultando próximo a la neutralidad en las cuencas fluviales que actúan de receptoras finales de estos sistemas.

* El aumento de pH observado es indicativo de la presencia del tampón aluminio, que se revela muy importante en todos los casos, así como del proceso de alteración hidrolítica de los minerales primarios, tanto en los horizontes A como en los B y C, manteniendo la tasa del complejo de cambio y, por lo tanto, poniendo en solución cationes alcalinos y/o alcalinotérreos

existentes en su estructura. Una referencia clara a este hecho viene dada por los valores de pH de abrasión (el pH del agua puesta en contacto con suelo molido e indicativo de la reserva total de cationes básicos) obtenidos sobre materiales edáficos de Galicia por Taboada *et al.*, (1990) y Romero *et al.*, (1990). Según sus resultados, mientras que los valores más habituales en horizontes A oscilan entre 4,6 y 5,0, en granitos y esquistos ricos en biotita, respectivamente (una vez eliminada la materia orgánica), ascienden hasta 5,0-5,7, en los horizontes B sobre los mismos materiales, ascenso que continua en profundidad. Es de destacar que en horizontes A sujetos a aportes por ladera los pH de abrasión resultan más elevados, oscilando para materiales graníticos entre 5,6 y 6,2.

3. En conjunto, considerando globalmente todo el suelo, no existen diferencias significativas entre sistemas forestales con distinto tipo de vegetación, de modo que la pérdida de bases, y por lo tanto la intensificación de los mecanismos de hidrólisis (a las temperaturas existentes en Galicia), no resulta finalmente una variable dependiente del factor "ácido", sino, en último extremo, de la cantidad total de flujo de agua a través de los sistemas.

La importancia del flujo de agua a través del suelo (y, por lo tanto, la importancia de la cantidad de precipitación) sobre la eficacia del lavado se desprende fácilmente de la observación de la fig.I.15, que recoge las pérdidas de K, Mg y Ca en aguas lisimétricas de dos horizontes A de suelos, bajo *Q.robur* y *P. radiata*, a lo largo de un ciclo anual. La dinámica de lavado es prácticamente idéntica en ambos casos, siendo el total de elemento desplazado una función lineal de la cantidad de agua infiltrada, que, para un mismo valor de precipitación, varía según factores tales como la densidad y tipo de cobertura vegetal, textura, estructura y porosidad del suelo...etc. Con precipitaciones anuales medias por encima de los 1000 mm y las demás características antes señaladas, no es de extrañar que el lavado de los materiales progrese en Galicia de forma tan acusada.

4. Bajo unas mismas condiciones microclimáticas son las variaciones de *roca y tipo de suelo* quienes deciden las características finales del sistema, resultando que en la mayor parte de los horizontes superficiales de los suelos de Galicia la solución capilar es neutra a débilmente ácida y con muy escasos niveles de Al en solución. Lógicamente, a medida que el pH desciende se incrementa la concentración de Al. Las variaciones más frecuentes dentro del campo en que nos movemos pueden sintetizarse como sigue:

- En suelos jóvenes, con la roca próxima a la superficie o con coluvios de material fresco alterable, es decir, una gran parte del territorio de Galicia (ver fotos II.1, II.2 y II.4), el mantenimiento de la capacidad de neutralización de ácidos puede durar cientos (miles) de años. Realmente, es a través de los mecanismos de alteración acidolítica que estos suelos continúan su evolución, desarrollándose en profundidad. La fuerte infiltración que sufre el suelo en los períodos

lluviosos provoca un importante lavado de las bases liberadas en la meteorización, con la consiguiente renovación de las mismas, es decir, el mantenimiento del equilibrio ácido/base de la solución (según la composición del material) mientras no se agote la reserva.

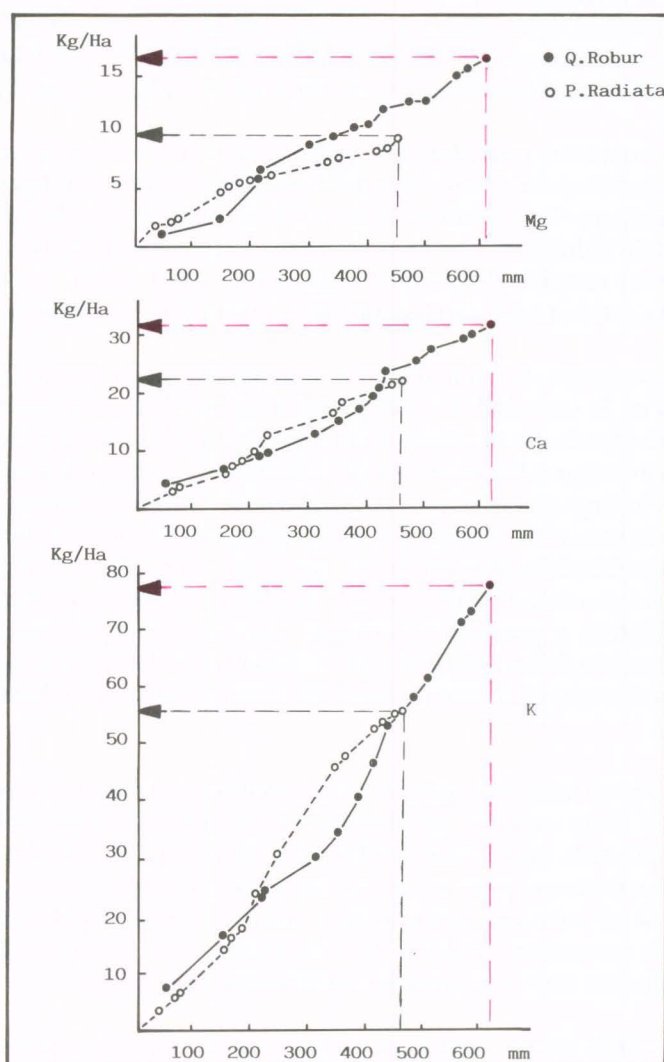


Fig. I.15.- Lavado de elementos de horizontes A de suelos bajo *Q. robur* y *P. radiata* (pérdidas por infiltración en un ensayo realizado en 1975, en las proximidades de Santiago de Compostela) (infiltración anual acumulada, en mm) (Calvo *et al.*, 1979).

Dado el carácter débilmente ácido de la solución (normalmente 5,0 a 5,5), la concentración de Al es muy baja.

- *Sobre materiales escasamente alterables, o suelos fuertemente evolucionados y sin rejuvenecimientos superficiales (ver foto II.3), el mecanismo hidrolítico está restringido. En ellos, el pH resultante será ácido, aunque no inferior al del equilibrio Al de cambio-Al amorfo (4,5-5,0) y, consiguientemente, los niveles de este elemento en solución pueden ser superiores a los de los anteriores medios, siempre que la materia orgánica no esté presente en cantidades importantes.*

- *Por último, sólo en enclaves muy restringidos, sobre materiales no amortiguados, los impactos ácidos podrían ejercer un efecto relevante. Tales impactos, para producirse en este tipo de ambientes, deben ser de cierta intensidad y, por lo tanto, no derivados de agentes de tipo biológico.*

Como resumen de lo expuesto hasta aquí puede señalarse lo siguiente:

a- *Prácticamente la totalidad de los suelos de Galicia presentan un carácter ácido, en un rango 4,5-5,5, que se mantiene estable debido a la importancia de los mecanismos tampón, fundamentalmente las formas activas de Al y la hidrólisis de los minerales primarios.*

b- *La capacidad amortiguadora de estos sistemas es prácticamente indefinida frente a ácidos débiles, como son todos los de naturaleza orgánica.*

c- *Los datos de que se dispone no permiten señalar diferencias significativas entre distintas especies forestales.*

Algunos ejemplos de interés

Una serie de estudios realizados para conocer la sensibilidad de nuestros suelos a posibles impactos ácidos de diverso origen pueden resultar ilustrativos.

En un ensayo forzado, de laboratorio, se sometió a una fuerte adición de ácido una amplia muestra de suelos representativos de Galicia (en una proporción equivalente a lo que sería un impacto anual de 2000 mm de lluvia ácida, a pH 3, durante 10 años). Los resultados ponen de manifiesto la capacidad de amortiguación de ácidos de los suelos, que provocan el ascenso de pH de la solución de entrada en las sucesivas extracciones. Al cabo de la experiencia (supuestamente 10 años con lluvia de solución de SO_4H_2 a pH 3,0) algunos suelos neutralizaron hasta el 90 % de los protones adicionados, lógicamente a costa de un descenso de su potencial de neutralización y no

provocando nunca una elevación del pH más allá de 4,4. La experiencia permite establecer una secuencia entre los diferentes suelos analizados, que confirma anteriores hipótesis, de manera que la capacidad de amortiguación resulta superior en horizontes A en los que existen rejuvenecimientos por aportes de materiales frescos, que en los B cámbicos y en los B con propiedades ferrálicas, por este orden. Por materiales geológicos se reconocen importantes diferencias, según una secuencia: anfibolitas- gabros- esquistos, granitos de dos micas, serpentinitas- pizarras- areniscas/cuarcitas, estas últimas con un poder de amortiguación ínfimo (Alvarez, 1990). El interés de los datos es obvio: ante un posible impacto ácido una gran parte del territorio de Galicia posee una importante "resistencia", que podríamos considerar indefinida si pensamos en paisajes de suelos rejuvenecidos (y en impactos de intensidad no más grave que los habituales en procesos industriales). De todas formas, los datos de laboratorio no hablan de determinados aspectos que es necesario contrastar, como por ejemplo el tiempo de residencia (o de contacto) de las soluciones con el suelo, que como sabemos es relativamente bajo en la mayoría de los sistemas de Galicia y, por lo tanto, puede modificar en la realidad las estimaciones realizadas sobre el potencial edáfico de amortiguación. Experiencias de campo con lluvias ácidas simuladas están actualmente en marcha (Macías y García-Rodeja 1991). De los datos de que disponemos para valorar el efecto de episodios de lluvia ácida, en relación exclusiva al suelo, cabe subrayar a modo de síntesis que los valores de pH registrados en las cuencas fluviales de las áreas con mayor riesgo (próximas a centrales térmicas, áreas periurbanas...), superan sistemáticamente el umbral de 6,0 o incluso de 7,0 (García-Rodeja, estudio en realización).

Conviene recordar nuevamente la importancia de no realizar generalizaciones. Así, mientras resultan fácilmente comprensibles las hipótesis que manejamos y los datos obtenidos en nuestra área, no podemos decir lo mismo de otras zonas del globo, incluso con similares materiales geológicos. La importancia de la temperatura, como catalizador de las reacciones de hidrólisis, hace que en los medios más fríos los suelos no desarrollen el potencial de amortiguación de ácidos, tal y como se produce en regiones templadas. Resulta ilustrativa a este respecto la especial sensibilidad que muestran las regiones nórdicas (y la importante bibliografía generada) a los impactos por lluvias ácidas, mientras que otras zonas a las que alcanza la misma precipitación, o incluso de mayor agresividad, apenas acusan el impacto.

Evidentemente, la amortiguación de ácidos no tiene cabida en sistemas superficiales en los que el contacto con el suelo es mínimo o nulo. Tal sería el caso de las lagunas afectadas por lluvias ácidas en las regiones frías, en las que cabe esperar (y de hecho se producen) importantes efectos. En nuestro ámbito, se puede hablar de determinados afloramientos geológicos con abundancia de sulfuros o de algunas escombreras de minas sobre este mismo tipo de material;

en ambas situaciones el proceso desencadenado es similar, aun cuando se ve agravado en el segundo caso por el incremento de la superficie expuesta a la intemperización, en el sentido de una mayor fragmentación. En Galicia tenemos varios ejemplos de ambos tipos. Las aguas que drenan a través de estos materiales se “cargan” de cantidades muy importantes de protones (generados a través de los mecanismos de oxidación de los sulfuros), alcanzando valores de pH muy frecuentemente inferiores a 3,0. Los ríos que reciben tributarios de estas características sufren, lógicamente, una fuerte acidificación, hasta el punto de resultar no aptos para el desarrollo de poblaciones de peces y para la denominada “vida silvestre”. Es bastante frecuente que los suelos que son anegados por estas aguas muestren una neutralización importante en su solución, tanto mayor cuanto menor tasa de renovación, no obstante, la mayor parte de las aguas circulan libres de este contacto. En algunas regiones del mundo con explotaciones extensas y numerosas, los efectos llegan a ser dramáticos. En el caso de Galicia no lo son menos, cualitativamente hablando, aun cuando afectan a tramos muy cortos de las cuencas receptoras, ya que la importante red de drenaje existente provoca frecuentes confluencias con aguas limpias. Dada la importante dilución que van experimentando las aguas contaminadas suelo producirse un rápido restablecimiento (mejora) de las condiciones acido-base.

Obviamente, ningún proceso biológico relacionado con la vegetación puede ser comparado, tanto por la naturaleza de los ácidos como por la concentración que alcanzan, con los señalados anteriormente (procesos industriales, mineros...), que se han comentado a fin de establecer un marco amplio de referencia al problema planteado. No obstante, es una realidad que no todos los suelos del mundo presentan la misma sensibilidad y es comprensible que, en medios no o escasamente amortiguados, sea en donde los estudios del comportamiento del suelo ante el factor vegetación puedan arrojar, y de hecho hay ejemplos de ello, algun resultado interesante.

EL PROCESO DE PODSOLIZACION

Como un anexo al tema genérico de la acidificación conviene añadir algunas palabras acerca de la podsolización, término que ha sido citado frecuentemente en relación a determinadas formaciones vegetales, concretamente de brezales y coníferas, y puede resultar de interés abordar brevemente en este estudio.

En primer lugar hay que señalar que pocos procesos edáficos aluden como éste a una degradación del suelo. En la podsolización se produce una

inhibición de la formación de arcillas, o incluso una destrucción de las preexistentes, en los horizontes superficiales. Los compuestos orgánicos hidrosolubles, generados en las primeras fases de la descomposición, no evolucionan hacia formas precipitadas, típicas del humus, sino que emigran a través del horizonte. Si tales compuestos presentan un fuerte carácter complejante para cationes metálicos como Al^{3+} o Fe^{3+} , y, lo que es más importante, si en el medio existe una baja concentración de tales elementos, de manera que no se llegue a neutralizar la carga negativa de la materia orgánica, la movilización se produce en forma de complejos organo-metal, de manera que los horizontes que sufren el proceso pierden simultáneamente materia orgánica, Al y Fe, apareciendo como resultado una destrucción de minerales con aluminio y hierro en su estructura y, lógicamente, una acumulación de los resistentes (sobre todo cuarzo).

Los *Podsoles* no son suelos habituales en países templados. Las condiciones para que se dé este proceso incluyen una abundante pluviosidad, una escasa producción de cationes por alteración del material geológico, una inhibición de los procesos de humificación... La ubicación característica de este tipo de suelos corresponde a las regiones frías, con temperaturas anuales medias inferiores a 8°C. La ralentización de los procesos de alteración geológica y de actividad microbiana facilitan la formación de complejos móviles, materia orgánica-Al,Fe, que emigran unos cm en el perfil, con las aguas de drenaje.

A medida que nos alejamos de estos ambientes fríos el desencadenamiento de la podsolización puede venir facilitado por un carácter especialmente acusado en alguno de los parámetros señalados, siempre que el resto de los factores no inhiba tal influencia. Por ejemplo, en zonas especialmente lluviosas (sobre todo en términos de intensidad) de los trópicos se reconocen *Podsoles* con un horizonte "de lavado" superior al metro. En áreas templadas su presencia se ve favorecida cuando a la existencia de suelos carentes o muy pobres en minerales alterables, una vegetación que favorezca la aparición de altos contenidos en ácidos complejantes y una inhibición microbiana, se une una elevada pluviosidad.

La relación que suele establecerse entre determinadas coníferas (y brezales) con la podsolización no es casual, aunque muchas veces es utilizada sin la suficiente perspectiva y conocimiento del hecho. Por una parte, la vegetación característica de áreas de taiga, con un dominio de suelos podsólicos de tipo "climático", son los bosques de coníferas (*Abies*, *Picea*...), que también encuentran en esta región un área natural de expansión. Por otra parte, la riqueza en ligninas de las hojas de estas especies favorece la aparición de compuestos fenólicos de carácter complejante, por lo que, si las condiciones climáticas (que influyen en la meteorización y la actividad biológica) o edáficas (presencia de cationes) no favorecen la condensación y polimerización de

estos compuestos, el desencadenamiento del proceso de podsolización sería más que posible.

En Galicia, como en otras partes de la región templada, la presencia de *Podsoles* se asocia a enclaves geológicos muy ricos en cuarzo (areniscas, cuarcitas, diques de cuarzo...), es decir con cantidades muy pequeñas de minerales alterables y en lugares de alta precipitación (sobre todo en zonas frías de montaña). La escasez de cationes básicos (y del tampón aluminio) de estos materiales acelera los procesos de acidificación del suelo, que frecuentemente alcanza unos valores de pH inferiores a 4,0. En condiciones tan ácidas se inhiben los procesos de humificación ligados a la actividad microbiana, al mismo tiempo que se favorece la solubilidad de los elementos metálicos existentes como trazas. Como consecuencia tiene lugar una formación de complejos organo-alumínicos solubles, que son transportados a través del perfil hasta que un impedimento físico al movimiento del agua, una desaparición del componente orgánico por mineralización... o un incremento de la carga metálica del complejo, provocan la precipitación del mismo.

Así pues, la interacción entre el material geológico y el clima definen las coordenadas en que se desarrolla el proceso. El tipo de vegetación no parece ser decisivo, puesto que, si bien en la mayoría de los podsoles que se han identificado en Galicia se describe una vegetación de pinar o matorral de ericáceas, en modo alguno resulta una condición necesaria y, por supuesto, nunca es suficiente. Bajo este mismo tipo de vegetación los suelos desarrollados sobre granitos, esquistos, gabros, peridotitas... no muestran signo alguno de podsolización.

De todas formas, el interés por caracterizar el "poder complejante" de extractos de hoja de diferentes especies ha sido una constante desde hace años. Se han realizado diferentes aproximaciones al tema. Así, en un ensayo de laboratorio realizado por Guitián (1963) se ha puesto de manifiesto que los extractos solubles de hojarasca de pino presentan un mayor poder complejante, y, por lo tanto, un mayor poder de movilización de oxihidróxidos de Fe y Al, que los extractos correspondientes a eucalipto; en ambos casos los valores fueron más elevados que los obtenidos en roble. No obstante, algunos autores señalan que, frente a un mayor carácter complejante de los derivados orgánicos de coníferas, se produce en caducifolias una "explosión" de hidrosolubles, en determinados periodos del año favorables a la descomposición, que podrían provocar efectos similares o superiores a aquellos. Según esto, el término "cantidad", o mejor "concentración", podría resultar tanto o más eficaz que el de "calidad". De todas formas, estos estudios se refieren a la posibilidad de formar complejos pero no a la tendencia real a la movilización de los mismos, lo cual no puede ser valorado sin tener en cuenta las condiciones generales del medio.

El estudio de la solución de suelos naturales bajo distintas especies resulta obligado. En primer lugar debe considerarse la presencia de elementos como Fe y Al en la solución extraída de los horizontes superficiales. Los resultados obtenidos por diversos autores (Calvo *et al.*, 1979 y 1989; Fernández Marcos y Macías, 1987; Alvarez y Calvo, 1991) ponen de manifiesto unas concentraciones discretas de estos elementos, tanto en las aguas de drenaje como en las soluciones extraídas por desplazamiento desde poros más reducidos. El factor que determina la variación de estas concentraciones es el pH, de manera que cuanto más ácido es un suelo mayor es la concentración de Al y Fe en disolución (fig. I.16). Como consecuencia, las variaciones entre especies vegetales no pueden ser otras que las comentadas en la primera parte de este capítulo, es decir, *no existen diferencias significativas en las concentraciones de Al y Fe en solución bajo distintas especies, debido a que no existen diferencias significativas en las condiciones de pH inducidas por ellas*. El material geológico explica las fluctuaciones existentes. De todas formas, dentro de esta generalidad, se ha obtenido un resultado curioso que incide nuevamente en lo señalado en

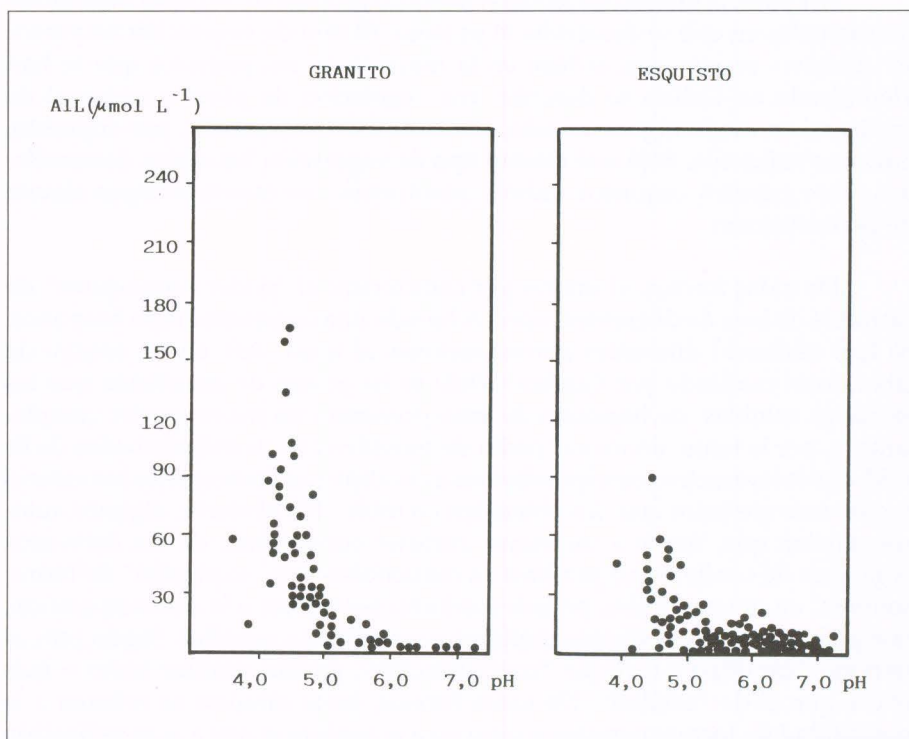


Fig. I.16.- El Al en solución de suelos forestales fluctúa de acuerdo al pH y al tipo de material geológico (Alvarez y Calvo, 1991).

varias ocasiones acerca de la importante producción de ácidos bajo robledal, en determinados episodios. En una experiencia de campo en la que se han introducido resinas complejantes (Chelex) en diferentes suelos forestales de Galicia, a fin de reconocer la solubilización de Fe y Al, se observa, al cabo de 6 meses de incubación, una mayor movilización de Fe y Al en los horizontes A_0 y A_1 de los suelos bajo robledal, con respecto a pinares y eucaliptales (tabla I.3).

No obstante, existe una pequeña parte del Al soluble en suelos forestales (y probablemente del Fe) que no se explica a través del pH. Se trata de complejos órgano-alumínicos que pueden identificarse a través de un método más sofisticado. Como puede suponerse, la presencia de estas especies puede ser asociada a los procesos de podsolización (que se definen precisamente en base a ellas) y, así, los estudios más recientes, realizados sobre soluciones de áreas podsolizadas de América del Norte, ponen de manifiesto la importancia de esta fracción complejada sobre otras especies alumínicas posibles en solución (David y Driscoll, 1985).

Tabla I.3. Fijación de Fe y Al sobre resinas complejantes dispuestas en suelos forestales de robledales, pinares y eucaliptales (Calvo y Macías, 1990).

		6 meses		12 meses	
		Fe	Al	Fe	Al
Hojarasca	Roble	0,072	0,366	0,170	0,658
	Pino	0,118	0,534	0,248	2,210
	Eucal	0,176	0,860	0,226	1,330
Hor.Ao	Roble	0,112	0,996	0,116	0,794
	Pino	0,062	0,484	0,052	0,682
	Eucal	0,066	0,582	0,048	0,400
Hor.A ₁	Eucal	-	-	0,036	0,298
(mg totales captados por la resina, en el ensayo)					

La aplicación del método de especiación a las soluciones de suelos forestales de Galicia es muy reciente. Entre otros resultados, se pone en evidencia una cierta cantidad de complejos organo-alumínicos en la solución de los horizontes superficiales, sobre distintos materiales geológicos. Las diferencias entre especies forestales no son muy acusadas (y cuando se producen los valores más elevados se observan generalmente bajo roble) (fig.I.17).

Si bien esta presencia de complejos órgano-Al en solución parece que debería ser interpretada como un síntoma de podsolización de los suelos forestales analizados, no cabe aquí esta hipótesis, puesto que los análisis realizados en aguas que alcanzan los horizontes subsuperficiales se encuentran libres de Al. *Es decir, no existe una traslocación de Al (ni de Fe) en solución desde unos horizontes a otros y, por lo tanto, no existe podsolización.* La explicación es sencilla: como hemos visto anteriormente el pH de las soluciones de suelo incrementa desde los horizontes superficiales a los subsuperficiales y, por lo tanto, la solubilidad de las especies alumínicas *inorgánicas* decrece bruscamente en el mismo sentido (ver fig.I.16). Por otra parte, los complejos organo-Al existentes en horizontes A se “cargan” rápidamente en aluminio, que es abundante en nuestros suelos, y, por lo tanto, sufren una precipitación. En otras palabras, puede decirse que *a medida que se produce la descomposición de restos vegetales tiene lugar un incremento en fracciones hidrosolubles, al que sigue una complejación de los elementos catiónicos existentes en solución en estos medios ácidos y, posteriormente, una precipitación en forma de complejos húmicos.*

Los estudios realizados durante años en la fracción sólida de los suelos de Galicia ayudan a interpretar aquellos resultados. La importancia de los complejos aluminio-materia orgánica en horizontes superficiales ha sido puesta de manifiesto en numerosas ocasiones. De hecho, cuando hacemos un fraccionamiento del Al extraíble en la fracción sólida de los mismos suelos forestales en los que identificábamos complejos organo-Al solubles, observamos que la mayor parte de este aluminio ha pasado a la forma precipitada, en lugar de “emigrar” a lo largo del perfil (Alvarez y Calvo, 1991).

Una aproximación al tema realizada desde otra óptica por Macías *et al.*, (1987), llega a las mismas conclusiones. Las transformaciones mineralógicas que caracterizan a los procesos de podsolización no tienen lugar en Galicia más que en materiales cuarzosos (areniscas y cuarcitas) y nunca sobre rocas con elevados contenidos de Al, Fe o cationes alcalinos y alcalinotérreos, excepto en áreas de montaña muy frías (como Ancares) donde se ha reconocido un inicio de podsolización sobre rocas graníticas.

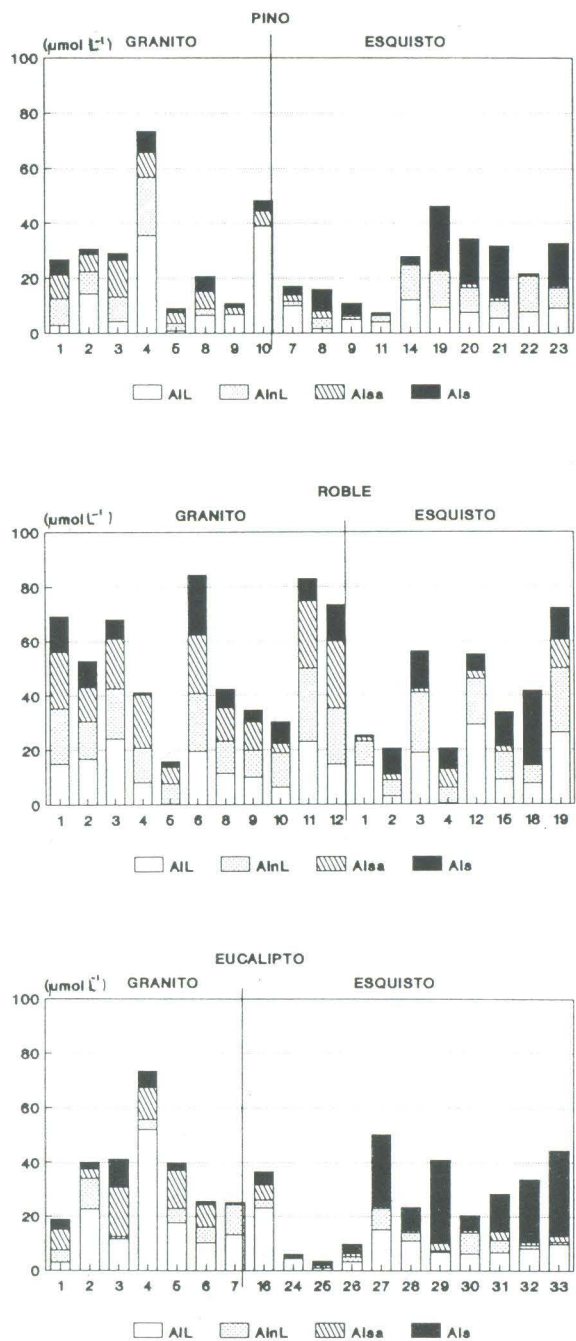


Fig. I.17.- Importancia de los complejos organo-alumínicos (AlnL) en el conjunto del Al soluble en suelos forestales de Galicia (Alvarez y Calvo, 1991).

CAPITULO II

El Eucalipto y los nutrientes del suelo

INTRODUCCION

La fuente originaria de la mayoría de los nutrientes del suelo es la roca. Excepto algunos elementos, como el N o el C, que entran en los sistemas terrestres fundamentalmente desde la atmósfera, la mayor parte, K, Mg, Ca, P, Fe... están presentes en mayor o menor cantidad en los minerales que constituyen el material geológico.

A medida que afloran a la superficie de la corteza, las rocas se encuentran sometidas a unas condiciones de temperatura y presión muy diferentes de las propias de su formación, por lo que sus minerales comienzan a desestabilizarse, quebrándose su estructura y liberando muy lentamente sus elementos constituyentes. Como hemos señalado en el capítulo anterior, **el agua de lluvia**, o mejor, la solución que alcanza la roca, ejerce un papel básico en este proceso (hasta el punto de que en medios áridos la alteración no progresa) al actuar como agente activo en los mecanismos de hidratación, hidrólisis y disolución y al servir de vehículo de transporte de los elementos liberados.

Además de la precipitación son de enorme importancia las **condiciones térmicas**, por actuar la temperatura sobre la velocidad de las reacciones de alteración, de modo que ésta es muy lenta en regiones polares y frías y muy intensa en áreas cálidas, siempre que exista suficiente pluviosidad.

Las condiciones **físico-químicas** del medio son asimismo de gran importancia, de modo que los ambientes de pH ácido favorecen la solubilización de un gran número de elementos (Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Cd, Zn, Ni, ... (y por lo tanto la desintegración de la estructura mineral), mientras que ésta se ve comparativamente reducida en áreas neutras y básicas. Por su parte, las condiciones de óxido-reducción influyen sobre la solubilidad de aquellos elementos que presentan varios estados redox; tal es el caso de Fe y del Mn, entre otros, cuya solubilidad, al mismo pH, es más acusada cuando se encuentran en estado reducido que cuando están oxidados.

Asimismo, la presencia de agentes orgánicos **complejantes** contribuye a la alteración al "sustraer" determinados elementos metálicos, tales como Fe, Al, Ca..., y formar complejos organometálicos de mayor o menor estabilidad.

Progresivamente, los elementos más solubles (K, Na, Ca, Mg...) se pierden del sistema, mientras que los de menor movilidad, Si, Al y Fe (que además son generalmente los más abundantes), permanecen, acumulándose en el material residual, es decir, en el suelo.

Así pues, la *roca* constituye un reservorio inasequible de los nutrientes y la *alteración* un contradictorio proceso, "favorable" para que estos elementos puedan pasar al estado de disponibilidad y, al mismo tiempo, "desfavorable", al facilitar -con su progreso- la eliminación definitiva de dichos elementos del sistema.

El **drenaje** se revela como un agente fundamental del avance de estos procesos. Así, en los sistemas cerrados, o con escaso movimiento del agua, las soluciones pueden llegar a alcanzar la sobresaturación de los diferentes iones, con lo que cesa su atracción hacia ellos, frenando o ralentizando la alteración; por el contrario, en medios abiertos, con buen drenaje, las soluciones se renuevan continuamente, por lo que muestran un carácter permanentemente diluido y, por lo tanto, mantienen activos los procesos de alteración.

Según esto, los suelos incipientes, esqueléticos o poco profundos, (con la roca fresca muy próxima a la superficie) representan sustratos "*todavía*" pobres, mientras que los suelos maduros, desprovistos de minerales alterables y con la roca a gran distancia de la superficie, serían sustratos que "*ya*" han alcanzado el estado residual y que, por lo tanto, están irreversiblemente empobrecidos (siempre que no cambien bruscamente las condiciones del medio). El tiempo necesario para que tenga lugar esta maduración no puede medirse a escala humana, aceptándose que la formación de un suelo con características de *Oxisol* (el de mayor grado de evolución) requiere muy frecuentemente más de un millón de años, incluso en las condiciones de mayor velocidad de alteración.

Una distribución geográfica de estas situaciones nos llevaría a localizar el dominio de los suelos jóvenes en áreas donde la alteración no progresa, *regiones polares y frías y regiones áridas; sobre materiales recientemente expuestos a la intemperie (volcánicos, sedimentos fluviales recientes...) o constituídos mayoritariamente por minerales estables o poco alterables; o en paisajes con relieves acusados*, en donde la erosión pone frecuentemente al descubierto el sustrato geológico...

Por el contrario, los suelos maduros se sitúan preferentemente en zonas con *altas precipitaciones y temperaturas (áreas tropicales húmedas, ecuatoriales...), intenso drenaje, rocas muy alterables y superficies estables*.

Por exclusión, se deduce que los suelos de características intermedias, con cierta evolución, espesor...etc., pero con reserva de minerales susceptibles de alterarse (que representan, en general, los sustratos en el estado más adecuado desde el punto de vista de su fertilidad química), se sitúan en los *dominios templados, sobre materiales bien provistos, no excesivamente lavados y erosionados o con un tiempo de evolución no muy largo* (aunque se puede medir en cientos de miles de años), en términos generales.

A medida que se forma el suelo, el material adquiere mayor volumen (a favor del aumento de porosidad) e incrementa el contenido de arcillas, algunas de las cuales surgen de la transformación física y/o química de los minerales de las rocas, mientras que otras lo hacen al precipitar juntos, desde la solución de alteración, los elementos menos solubles, Si y Al fundamentalmente.

Las arcillas presentan una elevada superficie específica que, además, aparece negativamente cargada (en la mayor parte de los casos), lo que confiere (junto con el humus) una de las más importantes características del suelo, la capacidad de retener elementos catiónicos, limitando parte de su eliminación por las aguas de drenaje. De forma general, y por razones diferentes, la capacidad de almacenamiento (*capacidad de cambio*) de los suelos jóvenes y de los muy evolucionados es baja, por lo que presentan una gran susceptibilidad a perder cationes alcalinos y alcalinotérreos por lavado.

EL PAPEL DE LA VEGETACION

¿Cómo introducir el papel de la vegetación en toda esta compleja dinámica de los nutrientes del suelo?

La respuesta no es sencilla. En primer lugar, parece deducirse de lo señalado hasta aquí que, a gran escala, el papel de la vegetación es irrelevante en comparación con el efecto de factores como clima, roca, drenaje, geomorfología o tiempo. Sin embargo, dentro de un ámbito concreto es posible realizar ciertas aproximaciones a la importancia relativa de este factor.

Así, se considera que en los medios jóvenes, poco abastecidos, las especies pioneras que consiguen adaptarse ejercen un papel relevante en el avance de la alteración, es decir, en la formación de suelo, a través de la liberación de CO_2 y exudados ácidos de origen radicular; además, contribuyen al reciclado de parte de los elementos, que recuperan de las aguas de drenaje y devuelven como residuos orgánicos (hojas, frutos, cortezas...); finalmente, contribuyen a la retención de dichos elementos en el suelo (complejo de cambio arcillo-húmico).

En los medios maduros, muy evolucionados, la vegetación apenas puede influir en el mecanismo de alteración; su efecto sobre estos medios se valora fundamentalmente a través del reciclaje de los elementos, que devuelven a la superficie "salvándolos", en algunos casos, desde aguas de infiltración muy profundas.

En ambas situaciones, con *muy escasa* o *muy intensa* evolución, la vegetación no es considerada como un fuerte sumidero de nutrientes, ya que su crecimiento neto anual es muy pequeño.

En las situaciones que hemos denominado *intermedias*, si otros parámetros no lo impiden, la vegetación puede desarrollar importantes crecimientos a costa de las reservas del suelo... mientras éstas no se agoten. Es en estos medios en donde los estudios relativos a la influencia de la vegetación desarrollan un esquema metodológico algo más complejo que los utilizados, de forma genérica, en las situaciones más extremas. Se pretende aquí establecer el balance neto de nutrientes en el sistema, es decir, evaluar los aportes que realiza la vegetación (lavado desde la cubierta y tronco, entrada por hojarasca y otros restos...) y las pérdidas asociadas a los sistemas forestales (consumo neto, drenaje...etc).

EL CASO PARTICULAR DE GALICIA

El material geológico de Galicia es muy heterogéneo. Existen rocas de edades precámbricas y paleozóicas de diferente naturaleza: granitos, esquistos, gabros, anfibolitas, serpentinitas, areniscas..., sedimentos terciarios y sedimentos cuaternarios de origen aluvial o coluvial. Un esquema muy simplificado se recoge en la fig.II.1.

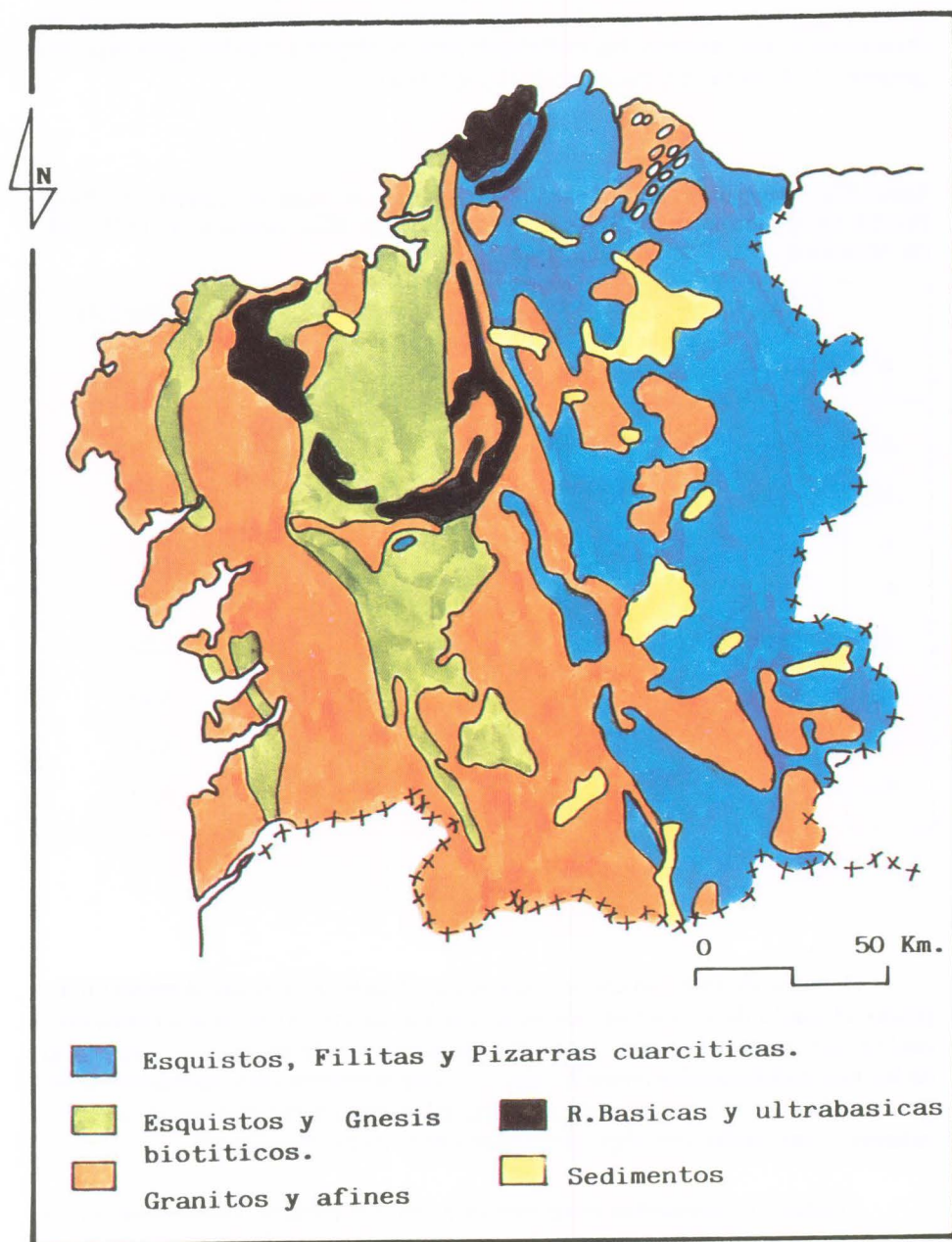


Fig. II.1.- Materiales geológicos de Galicia.

El contenido de cationes alcalinos y alcalinotérreos, Ca, Mg, K y Na, varía con la naturaleza del material, dándose para el conjunto de ellos valores entre 6,5 y 23,3 % (tabla II.1). El fósforo aparece muy irregularmente representado, adquiriendo los contenidos más elevados en rocas con presencia de minerales de tipo apatito; los análisis de que se dispone señalan para algunos granitos de Galicia valores entre 0,05 y 0,2 % de P.

Tabla II.1. Contenido medio de algunos elementos en rocas de Galicia. (1): Parga Pondal, 1966; Taboada *et al.*, 1988. (2) y (3): Hubregtse, 1973; Macías *et al.*, 1979, 1981. (4): Maaskant, 1970; Parga Pondal, 1966.

	GRANITO	ESQUISTOS BIOTITICOS	GABROS Y ANFIBOLITAS	PERIDOTITAS
%	(1)	(2)	(3)	(4)
Ca	0,71	0,90	3,85	1,29
Mg	0,26	1,38	3,16	21,77
K	4,56	1,58	1,16	0,11
P	0,10	0,06	0,07	0,004
Si	35,90	30,30	25,40	19,00
Al	6,70	8,30	6,70	1,40
Fe	1,10	5,60	8,80	6,20
Na	0,96	2,60	1,93	0,15

A pesar de que Galicia se encuentra situada dentro del dominio templado, el grado de evolución que alcanzan los suelos (en términos geoquímicos) es muy intenso y, por lo tanto, es baja la reserva de nutrientes, sobre todo de los más solubles tales como K, Mg, Ca... que aparecen muy escasamente representados en el complejo de cambio, tal como señalamos en el capítulo anterior (*¡con niveles muy bajos dentro del campo de los muy bajos!*).

Todos los resultados concuerdan y, así, las arcillas características de suelos de Galicia son similares a las encontradas en ambientes tropicales y ecuatoriales (en términos generales, pues hay importantes excepciones) y, consecuentemente, el *complejo de cambio* es muy reducido. La importancia de

esta situación puede comprenderse si se tiene en cuenta que un gran número de suelos de Galicia presenta una capacidad de cambio de cationes menor de 7 meq por 100 g, al menos en las condiciones naturales, valor que es considerado como limitativo de la fertilidad del suelo en diferentes sistemas de evaluación (nótese que en grandes áreas de la región templada la capacidad de retener -e intercambiar- cationes es muchas veces superior a 25 meq/100 g). A falta de retención, el proceso de lavado de nuestros suelos se acelera, siguiendo de cerca el ritmo marcado por la alteración. Como resultado final se produce la acidificación y saturación por aluminio, según hemos visto.

Algunas de las posibles causas de esta situación fueron apuntadas anteriormente. Sin descartar que un cierto número de nuestros suelos más evolucionados pueda datar de finales del período terciario (entre 2 y 10 millones de años), con épocas de mayor agresividad climática (calor-humedad), las condiciones de meteorización existentes en el cuaternario no son desdeñables (falta de procesos glaciares, excepto en zonas muy localizadas de las cumbres más elevadas, importancia de procesos pluviales, periodos con temperaturas medias superiores a 10°C junto a precipitaciones intensas, tal y como sucede en la actualidad...).

Según parece, Galicia se perfila como un territorio muy particular en el ámbito europeo e, incluso, dentro de la península, en donde, exceptuando algunos enclaves de Asturias, País Vasco, montañas del Sistema Central..., los suelos suelen presentar reacción neutra-básica y fuerte saturación de alcalinos y alcalinotérreos en su complejo de cambio que, además, tiene mayor capacidad.

De todas formas, a pesar de la gran similitud que parece darse con respecto a medios envejecidos, la fuerte evolución geoquímica existente en Galicia contrasta con la escasa profundidad a la que se encuentra la roca en un gran número de suelos. Así, en una amplia superficie del territorio no se superan los 50 cm de espesor de suelo (fig.II.2), lo que debe interpretarse, en general, como el resultado de un proceso de rejuvenecimiento que tiene como origen más inmediato la dinámica erosiva propia de los paisajes colinados, en épocas de fuerte pluviosidad y escasa cubierta vegetal. En tales ambientes se produce, pues, una situación aparentemente paradójica, es decir, la existencia de *perfiles morfológicamente jóvenes, pero geoquímicamente viejos* (foto II.1).

Atendiendo conjuntamente a ambos aspectos debemos considerar que, *si bien, la fertilidad actual de estos suelos es muy baja (muy diluida su solución capilar), su capacidad para mantener tal nivel resulta prácticamente inagotable.*

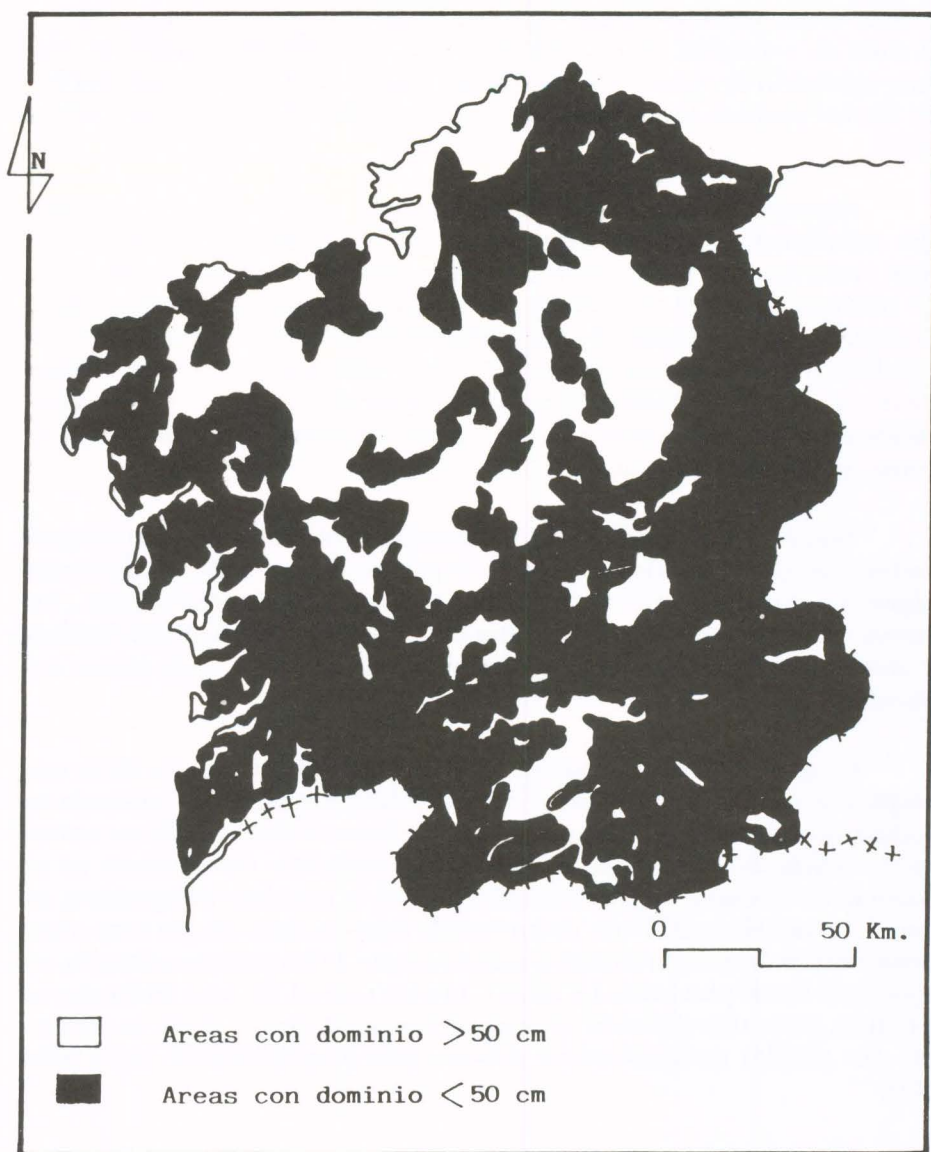


Fig. II.2.- Espesor del suelo en Galicia. Areas con dominio de suelos superiores e inferiores a 50 cm.



Foto II.1. Suelos esqueléticos representativos de amplias zonas del territorio de Galicia.

La decapitación, y consiguiente rejuvenecimiento de algunos suelos, va unida a la acumulación de materiales en la superficie de otros situados en posiciones mas bajas dentro del paisaje (Gutián y Carballas, 1968). En tales medios es frecuente que lleguen a depositarse, junto a materiales *envejecidos* de suelo, fragmentos de roca fresca, gravas... y arenas alterables, que aportan a la superficie del perfil receptor una fuente adicional de nutrientes, lo que se traduce en una *mayor fertilidad actual* (grado de saturación del complejo de cambio, fuerza iónica de las soluciones capilares...) y, evidentemente, *potencial* (fig. II.3) (foto II.2).

Por otra parte, en áreas geomorfológicamente estables y sobre materiales geológicos de fácil alterabilidad, la evolución puede llegar a ser muy intensa y los perfiles de suelo pueden mostrar un notable "desgaste", con *fuerte decrecimiento de su fertilidad química (tanto actual como potencial)* en un amplio espesor (foto II.3). Si bien, no hay que olvidar que en estos ambientes de fuerte evolución también es posible encontrar áreas que sufren rejuvenecimientos superficiales, debido al aporte de materiales frescos provenientes de un marco erosivo situado en posiciones más elevadas. En tales medios se aprecia un elevado contraste entre las capas superiores y las profundas del perfil, tanto en términos de *fertilidad actual* como de *mantenimiento* de dicha fertilidad (foto II.4).

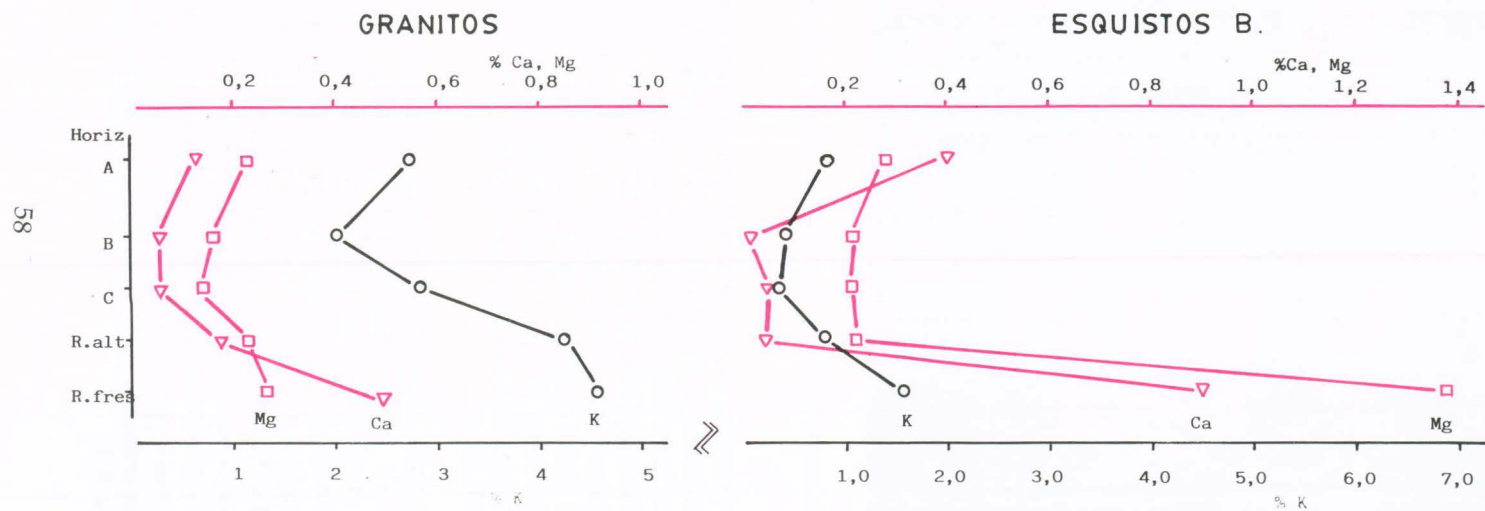




Foto II.2. Rejuvenecimiento superficial en suelos de ladera de escaso espesor.

Es evidente que a la diferenciación realizada anteriormente, según cuatro grandes categorías -*con baja fertilidad actual en todas ellas, pero con diferentes grados y potencialidad*- teniendo en cuenta el grado de evolución del material, cabe añadir, a otra escala, la variabilidad existente entre materiales, es decir, las lógicas diferencias entre suelos sobre distinto tipo de roca madre, para un mismo grado evolutivo (p.e., los suelos desarrollados sobre gabros y anfibolitas son en general menos ácidos y tienen una mayor saturación de cationes alcalinos y alcalinotérreos en el complejo de cambio, que los situados sobre rocas graníticas; sobre materiales serpentinizados se produce un *exceso* de Mg y una fuerte carencia de K y P; la fijación de fosfatos puede resultar muy seria en rocas básicas, mientras que la de K se produce fundamentalmente sobre rocas con tendencia a producir arcillas vermiculíticas...).

Se impone, pues, evaluar los efectos de una determinada especie vegetal, el eucalipto, sobre este medio particular. Como señalábamos al referirnos a la acidificación, parece obvio que los intentos de extrapolar resultados de hipotéticos estudios realizados en otras zonas forestadas, como Huelva, Cáceres, País Vasco, Portugal...o California, no pueden ser considerados correctos. Y viceversa.



Foto II.3. Suelos fuertemente evolucionados en áreas estables y materiales fácilmente alterables.



Foto II. 4. Rejuvenecimiento superficial en suelos de fuerte evolución.

Los suelos forestales de Galicia

Los análisis realizados sobre suelos forestales de Galicia no se alejan significativamente de todo lo generalizado anteriormente. El estado de fertilidad puede caracterizarse como de muy escaso, siendo muy ligeras las diferencias entre robledales, pinares y eucaliptales (del orden de 0,5 meq/100g de suelo, para la suma Ca+Mg+K cambiables, superior en robledales que en eucaliptales). Esta situación se produce tanto cuando la capacidad de retención efectiva bajo robledal es mayor como cuando apenas difiere de la de eucaliptal (tabla II.2), es decir, el contenido en bases apenas varía con la mayor o menor capacidad del suelo para retenerlas, resultando generalmente la saturación muy inferior al 50 % (tabla II.2) y siempre ligeramente más elevada en robledales que en eucaliptales (ver fig. I.7).

Tabla II.2. Complejo de cambio y saturación de bases y Al en horizontes A de suelos bajo diferentes vegetaciones (Intervalos obtenidos en análisis de 500 muestras: Macías y Calvo, 1987; Alvarez *et al.*, 1989).

meq/100g	Granitos			Esquistos biotíticos		
	ROBLE	PINO	EUCALIPTO	ROBLE	PINO	EUCALIPTO
Ca	0,1-0,4	0,03-0,3	0,1-0,2	0,1-1,9	0,2-0,8	0,1-0,4
Mg	0,2-0,6	0,1-0,6	0,1-0,2	0,2-1,9	0,2-0,8	0,1-0,4
Na	0,1-0,5	0,1-0,5	0,3-0,6	0,1-0,4	0,2-0,5	0,1-0,4
K	0,2-0,5	0,1-0,4	0,1-0,4	0,1-0,9	0,1-0,5	0,1-0,6
Suma	0,8-2,0	0,4-1,5	0,7-1,5	0,5-5,1	1,0-2,3	0,5-1,4
Al	3,3-10,0	2,4-6,9	5,0-9,8	2,9-14,1	3,2-7,8	2,1-4,2
CICE	4,5-11,5	2,9-8,4	5,8-11,2	5,8-16,4	5,9-9,0	2,5-6,2
%Bases	12-27	11-21	8-15	7-64	12-37	9-37
% Al	73-88	79-89	85-92	36-93	63-88	63-91

Uno de los factores que contribuyen a mantener esta baja saturación de alcalinos y alcalinotérreos es la alta competitividad que ejerce el aluminio por ocupar las superficies de cambio, desplazando de ellas a aquellos elementos. Tal situación se produce sólo en este tipo de ambientes ácidos, en los que el Al aparece en solución como catión hidroxilado, con una o más cargas positivas,

según hemos visto. Al carácter tóxico que conferíamos a este elemento hay que añadir, ahora, la tendencia a desplazar del complejo de cambio a otros necesarios para la nutrición vegetal. Según hemos señalado, el porcentaje de Al en nuestros suelos forestales es superior al 60 %, con diferencias mínimas entre especies (ver fig.I.14 y tabla II.2).

El estudio de las soluciones nutritivas de estos suelos conduce a los mismos resultados: fuerte dilución, con muy escasas diferencias entre robledales, pinares y eucaliptales, en general algo inferiores en estos últimos; prácticamente para todos los elementos analizados, los pinares aparecen en una situación intermedia (fig.II.4).

Por lo que se refiere al fósforo, uno de los nutrientes vegetales de mayor importancia, debe señalarse que, a pesar de su escaso contenido en el material geológico, su concentración en suelos puede ser relativamente importante, por cuanto es un elemento de muy escasa movilidad y con una fuerte tendencia a ser fijado sobre las superficies coloidales... o precipitado como fosfato de Ca, en medios calcáreos, o de Al y Fe, en medios ácidos.

La extracción de P con NaHCO_3 (Olsen *et al.*, 1954) ha sido utilizada como referencia a la disponibilidad de este elemento en suelos, proponiendo la FAO (1980) un esquema de clasificación según categorías de fertilidad, desde *alta* a *muy deficiente*. El análisis de un abundante número de suelos naturales de Galicia pone de manifiesto unos niveles medios entre 0,5 y 5,0 ppm de P asimilable, es decir, aparecen en la categoría de *muy deficientes*, según el esquema citado (tabla II.3); sólo algunas de las muestras sobre granitos superan este umbral, aunque, de todos modos, se encuadran entre los *deficientes*.

Tabla II.3. Fósforo asimilable en suelos de Galicia (ppm) (Valores medios de 500 muestras de horizontes superficiales: Macías y Calvo, 1987).

	<i>Granitos</i>	<i>Esquistos biotíticos</i>	<i>Gabros y Anfibolitas</i>
Forestales mixtos (P/E)	4,7	1,0	4,6
Matorrales	5,0	0,8	2,0
Cultivos	33,5	10,9	13,2
Praderas	9,9	4,5	9,3

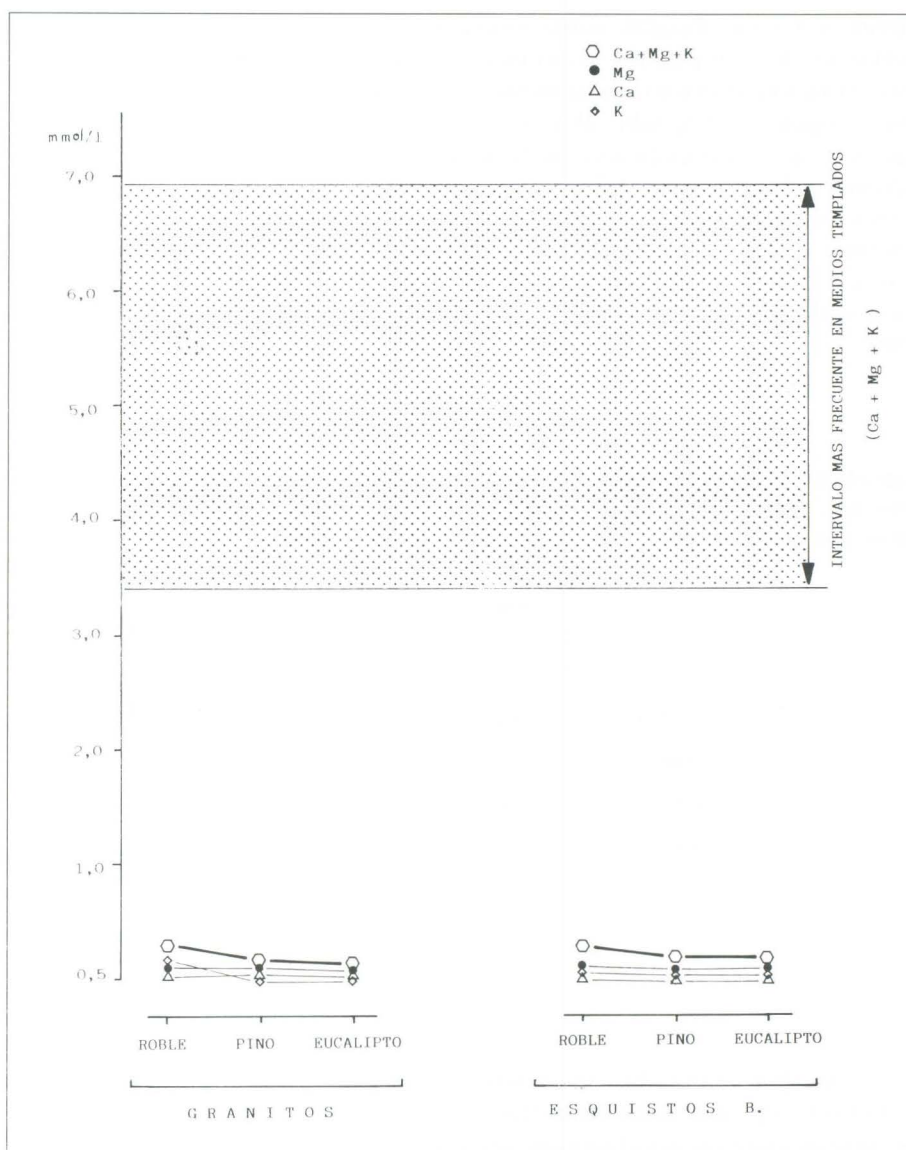


Fig. II.4.- Ca, Mg y K en solución de suelos forestales (Calvo *et al.*, 1987; Alvarez, 1990).

La escasez de P asimilable en nuestros suelos, incluso sobre rocas no mal provistas, debe ser interpretada de acuerdo a la fuerte tendencia a la fijación existente en muchos medios, especialmente los desarrollados sobre esquistos

biotíticos y rocas básicas, como respuesta a la presencia de cantidades importantes de compuestos aluminicos y férricos de bajo grado de orden. Esta situación se pone de manifiesto en la respuesta al test de Fieldes (1966) que recogemos en la tabla II.4, según la cual la norma general de nuestros suelos es la existencia de una fuerte tendencia a la inmovilización de P, que es máxima sobre los materiales señalados anteriormente y que puede condicionar una situación de escasez, incluso en condiciones de abundancia en términos absolutos. Sobre la deficiencia en fósforo y los problemas de fijación en suelos de Galicia existe una abundante bibliografía (Gil y Díaz-Fierros, 1982; Mombiola, 1983; García-Rodeja y Macías, 1983; Trasar *et al.*, 1989 ...)

Tabla II.4. Fijación de P: Test de Fieldes (1966) en hor. superficiales de suelos de Galicia (Macías y Calvo, 1987).

"muy alta": pH NaF > 11; "alta" > 10; "moderadamente alta" > 8.

	<i>Granitos</i>	<i>Esquistos biotíticos</i>	<i>Gabros y Anfibolitas</i>
Forestales mixtos (P/E)	9,4	10,8	10,7
Matorrales	9,5	10,5	10,9
Cultivos	9,6	9,8	9,5
Praderas	9,2	10,2	9,2

Análisis realizados en suelos de robledal, pinar y eucaliptal, sobre granitos y esquistos de Ordenes (fig. II.5) ponen de manifiesto la importancia del tipo de material, acentuándose las diferencias cuando se comparan medios cultivados, en donde, a pesar del abonado, los suelos sobre esquistos aparecen mucho menos abastecidos. Robledales (y eucaliptales sobre granito) están mejor provistos que pinares y matorrales.

El aprovechamiento del fósforo por las plantas es muy variable, dependiendo no sólo de su contenido en formas disponibles, sino, también, de la eficacia vegetal, esto es, de la capacidad de provocar la liberación desde el estado fijado, lo cual ha sido frecuentemente citado como una de las características de los eucaliptos a través de la asociación de sus raíces con hongos de

tipo *micorriza*. En líneas generales el efecto se explica por un incremento de la capacidad de exploración radicular y de movilización de Fe y Al, causantes principales de la fijación de fosfatos en medios ácidos (Specht y Groves, 1966; Beadle, 1968; Chilvers, 1973; Mullete *et al.*, 1974; Barrow, 1977). Algunos autores señalan, así mismo, la existencia de otros mecanismos de *rentabilización* del P en eucaliptos, como la translocación desde hojas viejas a jóvenes, justo antes de la caída.

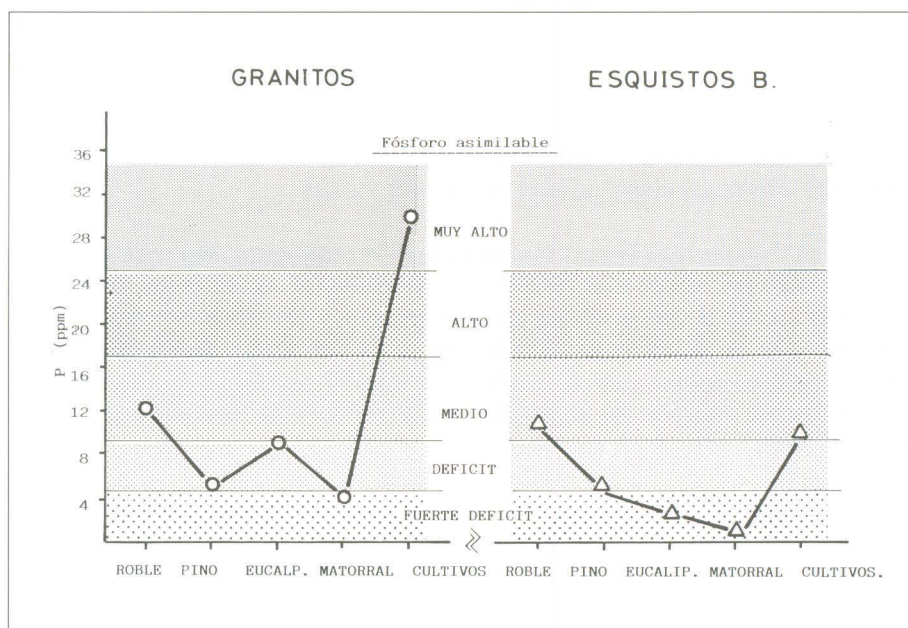


Fig. II.5. Fósforo en suelos forestales de Galicia (fácilmente asimilable) (valores medios de más de 100 muestras en la Prov. de La Coruña, Macías y Calvo, 1987).

No existen datos sobre la existencia de estos procesos en eucaliptos de Galicia, si bien ha sido señalada la presencia de micorrizas en asociación con las raíces de individuos de esta especie (Fernández de Ana, 1991) y, por otra parte, comprobada la mayor accesibilidad al P-fijado por parte de plantas micorrizadas (Sainz y Arines, 1987). Esta podría ser una más de las causas de la buena adaptación de *E.globulus* (y otras especies) en nuestros suelos, de lo que se desprende que el desarrollo e intensificación de las técnicas de micorrización puede incrementar las expectativas de productividad, especialmente en los medios de mayor acidez o degradación.

Un resultado que debe ser tenido en cuenta, a este efecto, es el obtenido por Vilariño (1990) en áreas incendiadas. Según este autor, en comparación con superficies no quemadas, se produce con los incendios no sólo un descenso de fósforo disponible, sino, también, cambios perjudiciales en la estructura, composición y actividad de las micorrizas preexistentes. Es un dato más de la incidencia negativa de los incendios en nuestras áreas forestadas.

* * *

Según lo señalado hasta aquí, parece que las diferencias entre suelos forestales bajo distintas vegetaciones son muy poco acusadas. Se podrían establecer varias hipótesis para justificar este hecho:

- El tiempo que llevan implantadas determinadas especies de repoblación sobre los suelos de Galicia no es lo suficientemente largo como para provocar cambios sustanciales en sus propiedades. Recordemos, a este respecto, que no poseemos datos históricos de los suelos de eucaliptal que hemos analizado, aún cuando podamos asegurar al menos 50 años (por el tamaño de los tocones, su grado de conservación y las dimensiones de los individuos de la generación actual).

- Una gran parte de los suelos con repoblación corresponden a aquellos tipos que hemos señalado en el apartado anterior como de baja, pero *permanente*, fertilidad. En consecuencia, la roca, en los suelos delgados, y los fragmentos de roca y piedras, en los que presentan aportes de ladera, condicionan la "estabilidad" de las soluciones y, por lo tanto, la fertilidad del suelo.

- Las pérdidas anuales que sufre el suelo debido a los procesos de *lavado*, por efecto de la lluvia, son de tal intensidad que llegan a enmascarar las variaciones debidas al consumo de diferentes especies vegetales.

- Todas las especies que estamos analizando son de una gran frugalidad.

El eucalipto como cultivo

Una o varias de las hipótesis señaladas pueden ser defendibles, según veremos más adelante. De todas formas, las comparaciones entre suelos forestales bajo robles, pinos y eucaliptos no nos parecen del todo justificables, por cuanto se equiparan sistemas sometidos a extracción y sistemas que no lo están.

Así, es bien sabido que el consumo neto producido por una determinada especie forestal es mucho mayor durante los primeros años de crecimiento que cuando ésta llega a alcanzar un cierto desarrollo (Poor y Fries, 1987), llegando incluso a un estado en el que prácticamente se igualan aportes y sustracciones. Según esto, es muy probable que suelos de Galicia situados bajo viejos bosques de eucaliptos, con ejemplares maduros de grandes dimensiones, apenas mostrarían diferencias con los robledales que hemos analizado. Testigo de estas consideraciones es el "equilibrio" alcanzado en los sistemas maduros de eucaliptal existentes en Tasmania, curiosamente con unas condiciones de roca, clima y suelo muy similares a las de Galicia, y con más de 10.000 años de edad (Russell e Isbell, 1986).

Por el contrario, si alguna especie o variedad de roble llegase a alcanzar producciones similares a las de eucalipto y se procediese a un aprovechamiento intensivo, es seguro que el gasto neto provocado sobre el suelo, si no mayor (son especies más exigentes) sería al menos similar al observado por el eucalipto. Es en este sentido, que la búsqueda de especies maderables alternativas al eucalipto, cuando se hace con la pretensión de *reducir el consumo pero no la producción*, carece, a nuestro entender, de razón lógica.

Atendiendo a estas consideraciones, parece oportuno valorar el impacto provocado por el eucalipto como especie de aprovechamiento en comparación con el ejercido por los cultivos agrícolas. Vamos a considerar la hipótesis de un aprovechamiento forestal como cultivo, es decir reduciendo la biocenosis a una única especie, lo que no puede decirse que sea el caso de todos los sistemas forestales de aprovechamiento de Galicia, pero permite los cálculos comparativos del consumo atribuible a la especie en diferentes explotaciones.

Desafortunadamente apenas poseemos datos de suelos cultivados que no hayan sido "recompensados" por el manejo humano, bien sea a través de la adición de materia orgánica en forma de estiercol, bien encalando o abonando, en cuyo caso K, Ca y Mg son suministrados indirectamente a través de los abonados fosfatados, nitrogenados...etc. No disponiendo apenas de cultivos sin manejo es fácilmente deducible el alto requerimiento de estos, que no consiguen progresar en las condiciones habituales de los suelos naturales de Galicia. Experiencias históricas muestran la imposibilidad de rozar, con éxito, durante más de 4 (ó 5) años consecutivos o la dificultad de rotar maíz con maíz sin un abonado intensivo o, más recientemente, la de transformar el brezal en pastizal sin corrección o abonado (Mombiela y Mateo, 1982).

Observando nuevamente las fig.I.7 y II.5 se aprecian las importantes diferencias entre suelos forestales y cultivados, diferencias que son más o menos acusadas según el nivel de manejo realizado lo que, como puede

suponerse, es máximo en los terrenos de mayor potencialidad agronómica (clima-suelo) (Macías y Calvo,1987; Garcia Queijeiro,1991).

Es decir, según hemos visto, los suelos gallegos presentan un nivel de fertilidad muy bajo, por lo que, como primera aproximación, hemos de suponer que especies arboreas que se asientan sin dificultad forzosamente han de ser frugales y, lo serán tanto más, cuanto mayor desarrollo lleguen a alcanzar en estas condiciones. Hay que añadir a esto el hecho de que, hasta el momento, se llevan produciendo varias generaciones sobre un mismo sustrato sin que apenas se detecte descenso de producción (Molina,1970; Fernández López, 1983) y que todo esto tiene lugar, al parecer, sin una merma sustancial del estado de fertilidad del suelo.

Demanda de nutrientes

1- Consumo por biomasa:

De todas formas el análisis no puede ser tan sencillo, porque lo cierto es que los m³ de madera retirados de nuestros sistemas forestales, en ciclos de tala no precisamente largos, son muy importantes y la concentración media de elementos en madera tampoco es despreciable.

Un sencillo cálculo, considerando producciones anuales de 20 m³/Ha/año y teniendo en cuenta la composición media de la madera de eucalipto en Galicia (Toval, 1990) y la proporción (en peso) volumen maderable/ ramas/ cortezas/ hojas, recogida por Nicolás (1962), conduce a estimar unos **consumos totales anuales** próximos a 32, 31, 10 y 0,2 Kg/Ha/año de Ca, Mg, K y P, respectivamente, para abastecer el desarrollo de la parte aérea de la planta, que es la que se extrae finalmente del suelo (tabla II.8).

Tabla II.5. Aportes de elementos por pluviolavado de *Q. robur*, *P. pinaster* y *E. globulus* (estación de Mte. Pedroso, Marzo-Agosto de 1977, Diaz-Fierros *et al.*, 1982).

	PREC.	ROBLE	PINO	EUCAL.	PREC.	ROBLE	PINO	EUCAL.
	(ppm)				(Marzo-Agosto, 1977)			
					Kg/Ha/año			
Ca	0,75	2,58	3,42	2,83	7,2	11,5	13,8	11,2
Mg	0,21	0,75	0,79	0,80	1,3	3,3	3,2	3,2
K	0,61	2,38	3,03	2,65	3,8	10,6	12,2	10,5
Na	4,08	5,75	7,30	6,35	25,6	22,1	29,5	25,1
N	1,29	0,65	0,94	1,31	8,1	2,9	3,8	5,2

Tabla II.6. Aportes de elementos por flujo de tallo de *Q. robur*, *P. pinaster* y *E. globulus* (estación de Mte. Pedroso, Marzo-Agosto de 1977, Díaz-Fierros *et al.*, 1982).

	ROBLE	PINO	EUCALIPTO
Flujo de tallo (mm)	33,7	45,7	95,0
Ca (Kg/Ha)	1,0	1,5	3,4
Na “	2,4	4,3	5,2
K “	0,9	1,7	2,8
Mg “	0,8	0,5	0,7
N “	0,2	0,3	1,1

Tabla II.7. Composición foliar de diferentes especies arbóreas (García Arrese, primavera de 1990) (G-granitos; A-anfibolitas).

	<i>E. globulus</i>				<i>P. radiata</i>				<i>Q. robur</i>			
	Hoja viva (adulta)		Hojarasca		Hoja viva (adulta)		Hojarasca		Hoja viva (adulta)		Hojarasca	
%	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A
C	61,4	60,1	65,8	64,7	57,1	57,4	54,7	-	51,3	49,4	72,4	48,6
N	1,61	1,43	1,77	1,28	0,76	1,38	0,54	-	2,43	2,05	1,16	1,22
P	0,08	0,07	0,15	0,03	0,06	0,07	0,03	-	0,48	0,22	0,14	0,05
S	0,01	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	-	0,10	0,06	0,03	0,00
K	0,32	0,33	0,28	0,12	0,16	0,21	0,07	-	1,46	0,54	0,12	0,11
Na	0,24	0,17	0,24	0,10	0,10	0,05	0,10	-	0,14	0,11	0,09	0,04
Ca	0,77	0,67	0,23	0,46	0,41	0,35	0,46	-	0,25	0,35	0,41	1,59
Mg	0,22	0,24	0,12	0,10	0,13	0,14	0,07	-	0,20	0,29	0,11	0,21

Tabla II.8. a) Estimación del consumo de nutrientes en eucaliptales de Galicia (supuesta una producción de 20 m³/Ha/año; turnos de 15 años; densidad de madera en fresco de 1g/cc y una determinada proporción madera/residuos.

b) Extracción comparada madera/residuos (cortezas, hojas y ramas) según las estimaciones realizadas en este estudio y datos recogidos de Nicolás (1962).

a)

	<i>Kg/Ha/año</i>				
	(1)	Ca	Mg	K	P
Madera	16,8	5,7	6,4	5,5	0,08
Ramas	1,0	2,4	1,9	0,4	0,02
Cortezas	2,5	16,4	15,3	2,0	0,04
Hojas	1,5	7,3	7,4	2,2	0,03
TOTAL		31,8	31,0	10,1	0,17

(1) Relación de pesos entre distintas partes del árbol para individuos de 14 años, según datos de Nicolás (1962).

b)

	<i>Kg/Ha/año</i>								
	Ca	Mg	K	P		Ca	Mg	K	P
Madera	5,7	6,4	5,5	0,08		5,0	1,2	24,0	0,3
Residuos	26,1	24,6	4,6	0,09		19,9	4,5	24,6	0,3
	(En este estudio)					(Nicolás, 1962)			

Si consideramos unicamente las pérdidas por la extracción de madera, es decir un manejo con restitución de todos los residuos (hojas, ramas y cortezas), el **consumo neto anual** resulta próximo a 6, 6.5 y 0.1 Kg/Ha/año de Ca, Mg, K y P, respectivamente (tabla II.8). Dado el importante contenido de elementos existente en corteza, resulta obvio que la limpieza regular de suelos forestales y la no restitución en el momento de la corta, todo lo cual puede resultar necesario con vistas a facilitar las posteriores labores y a reducir los riesgos de incendio, provoca un incremento considerable en el consumo.

A título comparativo entre estimaciones realizadas por diferentes autores para el consumo en madera sin corteza, en distintos medios y tipos de explotación, y de las relaciones madera/residuos, se presentan algunos datos en las tablas II.8 y II.9.

Tabla II.9. Datos de consumo de *E. globulus* (madera sin corteza) según diferentes autores y sistemas de explotación (la producción oscila entre 15 y 20 m³/Ha/año).

	(Kg/Ha/año)			
	Ca	Mg	K	P
Nicolás (1962)	5,0	1,2	24,0	0,3
Gandullo (1990)	17,1	6,8	14,3	4,0
En este estudio	5,7	6,4	5,5	0,08
Lamb (1986)(*)	14,7	8,7	11,3	0,3

(*) Datos de *E.oblicua*, en Australia

2- Lavado del suelo:

La pérdida de elementos del sistema debida al lavado provocado por las aguas de drenaje, en las épocas de exceso de precipitación, ha sido estimada a partir del producto de las concentraciones medias de elementos en la solución del suelo por la cantidad de flujo que lo atraviesa (al menos la parte superior del mismo, que representa la práctica totalidad de la mayoría de los suelos forestales).

Para el primero de estos parámetros hemos tomado como referencia los valores medios obtenidos en horizontes A de suelos forestales con eucalipto, sobre granitos de dos micas (Alvarez y Calvo, 1991).

En cuanto al drenaje, aunque es un factor que varía según la naturaleza del material edáfico, en términos generales puede considerarse

principalmente dependiente de las condiciones climáticas, esto es, de la diferencia Precipitación-Evapotranspiración, en condiciones de saturación del suelo. Es seguro que en cortos episodios este parámetro se sobreestima ligeramente (mucho menos que en áreas desprovistas de cubierta vegetal) dado que parte del exceso de precipitación discurre superficialmente.

Como valores de referencia hemos tomado los datos de dos estaciones termopluviométricas que pueden representar las condiciones extremas de la diferencia P-ETP (dentro del territorio de Galicia con elevada aptitud para el desarrollo del eucalipto), esto es, las estaciones de Pontevedra y Betanzos, con 929 y 287 mm de exceso de precipitación invernal, respectivamente (Carballeira *et al.*, 1983) (se consideran 100 milímetros de retención en suelo).

Según se recoge en la tabla II.10, **las pérdidas por lavado** serían superiores a 3, 4 y 1 Kg/Ha/año, de Ca, Mg y K, pudiendo llegar a 11, 15 y 5 Kg/Ha/año, respectivamente, en las zonas más lluviosas (el fósforo apenas se detecta en las soluciones de drenaje).

Entradas de elementos al sistema

1- Aportes por lluvia:

Hemos tomado como datos de composición de agua de lluvia los valores medios de 11 estaciones pluviométricas de la Provincia de La Coruña, que pueden ser representativos para todo el territorio en el que es posible el desarrollo del eucalipto. Los aportes absolutos para las dos estaciones-tipo consideradas se estiman teniendo en cuenta los valores anuales de precipitación. Según estos cálculos, los aportes de Ca y Mg por lluvia oscilarían entre 4 y 8 Kg/Ha/año, los de K apenas alcanzarían los 2 Kg/Ha/año y los de P serían despreciables (tabla II.10).

2- Lavado de cubiertas:

El aporte por *pluviolavado* ha sido estimado teniendo en cuenta los resultados obtenidos en una experiencia realizada en las proximidades de Santiago de Compostela, según la cual, las entradas debidas al agua de lluvia eran sistemáticamente incrementadas a su paso a través de las cubiertas vegetales, según coeficientes que varían con la especie vegetal. Los resultados se recogen en las tablas II.5 y II.10 (el fósforo es indetectable, tanto en aguas de lluvia como de pluviolavado).

Tabla II.10. Estimación de los aportes-pérdidas de nutrientes en eucaliptales de Galicia, para dos estaciones climáticas tipo (Pontevedra y Betanzos).

(1) Aporte anual medio de 11 estaciones de la Prov. de La Coruña (< 400 m de altitud).

(2) El valor en mm se estima a partir de los resultados obtenidos en el capítulo III. Los aportes por lavado de hojas, teniendo en cuenta las proporciones lluvia/pluvio-lavado registrados en la estación de Monte Pedroso, en 1977 (Díaz-Fierros *et al.*, 1982) (Tabla II.5).

(3) Infiltración en los horizontes superiores del suelo (la práctica totalidad de la mayoría de los suelos forestales): P-ETP-Reserva (en dos estaciones tipo, Pontevedra y Betanzos). -Pérdidas por lavado: Composición de solución de suelos bajo eucalipto (valores medios de invierno en áreas graníticas, Álvarez y Calvo, 1990) x Infiltración.

(4) Estimación del consumo para una producción media de 20 m³/Ha/año, y turnos de 15 años (se supone una restitución de hojas, cortezas, ramas...).

PONTEVEDRA-tipo

	<i>mm</i>	<i>ppm</i>					<i>Kg/Ha/año</i>			
		Ca	Mg	K	P		Ca	Mg	K	P
LLuvia(1)	1600	0,52	0,48	0,10	-		8,32	7,68	1,60	-
Lavado hojas(2)	1201						4,16	10,75	2,72	-
TOTAL Pluviolavado	1201	1,04	1,53	0,36	-		12,48	18,43	4,32	-
Drenaje(3)	929	1,19	1,68	0,58	-		11,10	15,60	5,38	-
Consumo(4)							5,70	6,40	5,53	0,08
BALANCE							-4,3	-3,6	-6,6	-0,08

BETANZOS-tipo

	<i>mm</i>	<i>ppm</i>					<i>Kg/Ha/año</i>			
		Ca	Mg	K	P		Ca	Mg	K	P
Lluvia(1)	876	0,52	0,48	0,10	-		4,55	4,20	0,87	-
Lavado hojas(2)	657						2,27	5,88	1,48	-
TOTAL Pluviolavado	657	1,03	1,53	0,36	-		6,82	10,08	2,35	-
Drenaje(3)	287	1,19	1,68	0,58	-		3,41	4,82	1,66	-
Consumo(4)							5,70	6,40	5,53	0,08
BALANCE							-2,3	-1,1	-4,9	-0,08

3- Flujo de tallo:

A pesar de que no se considera en el balance (dado que afecta a una pequeña superficie de suelo) es indudable que, en el período en que se genera, incide directamente sobre la alimentación vegetal. Según los datos recogidos en una experiencia realizada en el monte Pedroso, en 1977, los aportes por esta vía suponen $1/3$, $1/4$ y $1/3$ de los correspondientes al pluviolavado, para Ca, Mg y K, respectivamente (tabla II.6).

Balance anual

Deduciendo el conjunto de las pérdidas, por consumo neto y lavado, del correspondiente a las entradas de elementos al sistema, o sea, de los aportes por precipitación o, mejor, por pluviolavado de las cubiertas, puede hacerse una estimación del balance anual en el suelo. La consideración de este último parámetro (lavado de cubiertas) entre los *aportes* se realiza de forma convencional, asumiendo que los elementos que son arrastrados por las lluvias corresponden en mayor medida a la deposición atmosférica sobre hojas y ramas, que a la liberación desde los tejidos vegetales.

No se consideran las entradas debidas a la mineralización de la materia orgánica, que quedan contabilizadas indirectamente al no estimar en el consumo más que los valores netos convertidos en madera.

El balance *entradas-salidas* resulta en todos los casos negativo (tabla II.10). Es decir, como era de esperar, los sistemas forestales con eucalipto suponen un descenso de las reservas del suelo que puede considerarse superior a 2, 1, 5 y 0.1 Kg/Ha/año, para Ca, Mg, K y P, respectivamente. Las áreas de fuerte precipitación podrían sufrir desgastes superiores a 4, 4, 7 y 0.1 Kg/Ha/año, para Ca, Mg, K y P, lo que, una vez más, pone en evidencia los efectos de la infiltración sobre la naturaleza de nuestros suelos. Hay que recordar a este respecto que los análisis de solución de suelo corresponden a medios graníticos y, por lo tanto, los balances no son generalizables a todos los tipos de suelo, lo mismo que no lo son a todas las estaciones climáticas, cantidad de producción... etc. Por otra parte, las importantes pérdidas atribuidas al lavado de los horizontes superficiales podrían no ser aplicables al conjunto del suelo, cuando se trate de perfiles de elevado espesor.

Un esquema representativo del balance de nutrientes en la estación tipo de Pontevedra, considerando suelos forestales representativos de esta zona, se recoge en la fig.II.6.

Algunas consideraciones al balance de nutrientes

Dado que los análisis de fertilidad de los suelos forestales de producción apenas acusan el gasto, en comparación con suelos no sometidos a extracción (análisis de formas fácilmente asimilables), es de esperar que tales consumos se realicen a expensas de la reserva total del suelo (la alteración de minerales de las fracciones arena y limo reponen el desgaste) y, en última instancia, de la roca. Un estudio realizado por Bará *et al.*, (1983) suministra datos del contenido total de estos elementos en suelos forestales bajo robledal, pinar y eucaliptal. Las diferencias son muy poco significativas, incluso cuando realizamos balances isoalúmina, que permiten corregir pequeñas variaciones locales al considerar al aluminio como elemento invariante (tabla II.11).

Tabla II.11. Relaciones molares de elementos móviles respecto al Al, considerado invariante (realizado a partir de datos de Bará, 1989).

(cm)	ROBLE		EUCALIPTO		PINO	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
CaO/Al ₂ O ₃	0,019	0,018	0,017	0,017	0,014	0,013
MgO/Al ₂ O ₃	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,030
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0,220	0,210	0,230	0,230	0,230	0,230

Un simple cálculo, más sugerente que real, se ha realizado a partir de los valores de consumo estimados anteriormente y de datos medios de composición de suelos (se toman los valores correspondientes al horizonte A en áreas que muestran aportes superficiales, fig.II.3). Según estos datos, se puede estimar que la duración de las reservas de estos suelos estaría entre 2.000 y 4.000 años, según el rigor de la precipitación, en las áreas graníticas, y entre 4.000 y 14.000 en las desarrolladas sobre rocas básicas (tabla II.12), duración que sería prácticamente indefinida si en lugar de considerar exclusivamente la composición del suelo se tiene en cuenta el sustrato geológico. Se ha considerado una densidad aparente convencional de 1,3 g/cc y un espesor de suelo de 50 cm, habitual en nuestros terrenos forestales.

Lógicamente, en pequeños enclaves muy evolucionados de áreas geomorfológicamente estables, con la roca a gran profundidad y sin rejuvenecimientos superficiales, las reservas del suelo tendrán una menor duración.

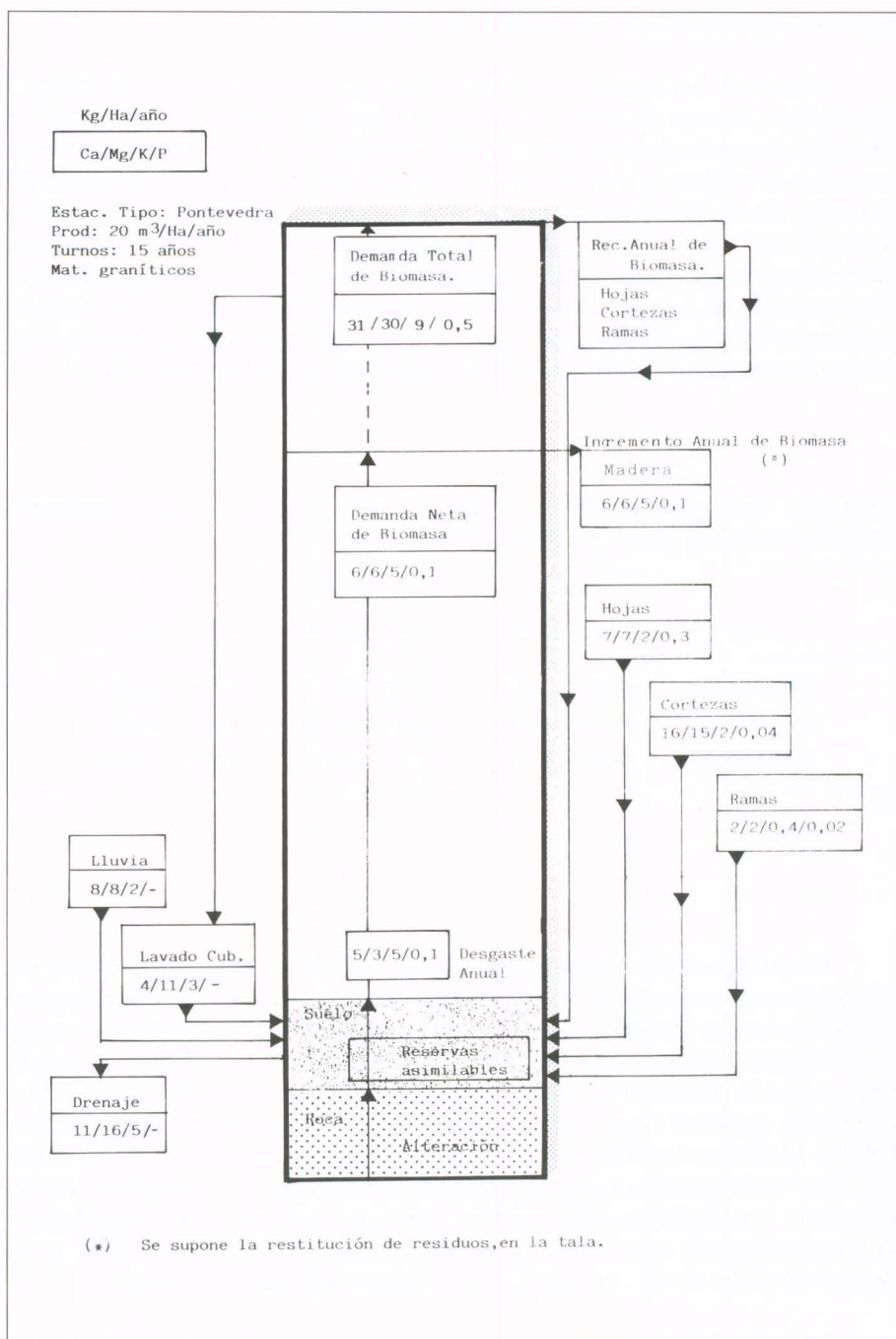


Fig. II.6.- Representación esquemática del ciclo de nutrientes en suelos forestales con eucalipto (Estación tipo: Pontevedra) (se considera una producción de 20 m³/Ha/año).



Fotos II.5. y II.6. Gran parte de los nutrientes removidos del suelo por los eucaliptales aparecen en cortezas y desechos de tala.

Tabla II.12. Idealización del agotamiento de las reservas en sistemas de eucalipto, en estaciones tipo.

(a) Duración de las reservas del suelo, supuesto un consumo estrictamente edáfico (se consideran datos medios de composición de horizontes con rejuvenecimiento superficial (fig. II.3), un espesor de 50 cm y una densidad de 1,3 g/cc).

(b) Avance del frente de alteración de rocas en sistemas de eucalipto, durante 1000 años de explotación (se considera una reserva de suelo nula, la composición media de rocas recogida en la tabla II.1 y densidades de 2,65 y 2,75, para granitos y esquistos, respectivamente).

		GRANITOS			ESQUISTOS <i>biot.</i>		
		Ca	Mg	K	Ca	Mg	K
(a) (años)	Pontevedra(t)	2.153	3.682	42.650	66.148	4.483	10.716
	Betanzos(t)	4.025	12.050	57.446	123.668	14.672	14.434
(b) (cm)	Pontevedra(t)	2,1	5,9	0,4	0,2	1,1	1,1
	Betanzos(t)	1,1	1,8	0,3	0,1	0,3	0,8

De todas formas, la fertilidad potencial de un suelo no se mide exclusivamente por su reserva total, sino por las posibilidades de aparecer en forma asequible. Así, tomando como ejemplo el caso del K, su disponibilidad potencial resulta muy diferente según se encuentre alojado en minerales de tipo moscovita, feldespato potásico o biotita, incrementando sustancialmente en este mismo orden. Según esto, y sin entrar en otras consideraciones, los cálculos anteriores no pueden observarse sino como una idealización. De todas formas, no todas las especies vegetales exigen una misma concentración en solución o fácilmente asimilable. En el caso concreto del eucalipto, como en otras especies de las denominadas frugales, se puede esperar una supervivencia aceptable en condiciones de fertilidad actual muy baja, lo que se incrementa si consideramos su capacidad de exploración y acercamiento al sustrato geológico, cuando este aparezca alejado de la superficie.

Una nueva aproximación podría hacerse teniendo en cuenta la composición media y densidad real de dos tipos de rocas ampliamente representadas en Galicia y los datos de consumo establecidos. Según este cálculo, 1.000 años de mantenimiento de las condiciones aporte/consumo estimadas más arriba, provocarían un avance del frente de alteración (o sea, un desgaste

superficial) de entre 2 y 6 cm, en rocas graníticas, y, alrededor de 1 cm, en esquistos básicos (tabla II.12b). Evidentemente, como en la situación anterior se trata de una idealización, en este caso del desgaste del material geológico, que sólo considera las pérdidas de elementos por consumo vegetal y lavado de los sistemas. Como es bien sabido, la alteración de rocas depende de complejos mecanismos y, por razones que no viene al caso explicar, suele ser más acusada en esquistos básicos que en granitos.

Pero hay en nuestra opinión otra posible hipótesis que no debe ser desestimada. Según ella, las pérdidas por drenaje no se suman necesariamente a las provocadas por el consumo vegetal, sino que, parte de la solución retirada por el eucaliptal durante el invierno, pasaría a engrosar, de no ser así, las aguas de drenaje y escorrentía subsuperficial. Es decir, el "consumo" en este período sería, si no similar, al menos no muy diferente con producción o sin ella.

Esta hipótesis supone que una parte importante de la entrada de elementos a la planta se hace directamente con la succión de agua. La captación y recuperación de agua y nutrientes desde los canales de drenaje por las especies forestales es frecuentemente señalada como una de sus funciones más características y favorables en los medios empobrecidos, pero, curiosamente, suele figurar como sumando añadido (ni siquiera parcialmente solapado) al drenaje, en los balances realizados habitualmente. La particularidad de los bosques de aprovechamiento es que, finalmente, buena parte de lo recuperado es definitivamente retirado y sólo una pequeña porción es reciclada al sistema, o, dicho en otras palabras, el mayor desgaste es causado por el aprovechamiento. Datos de aportes por pluviolavado y flujo de tallo en eucaliptal ya han sido comentados y análisis de composición de hojarasca se recogen en la tabla II.7.

La incorporación de elementos al suelo a través de la hojarasca de *E.globulus* ha sido señalada por algunos autores como más importante que la de *Q. robur* y *P.pinaster* (Carballas y Guitián, 1966), resultado que no puede valorarse aisladamente, pues, dentro de un contexto más amplio, parece lógica y poco significativa una mayor restitución cuando existe un mayor bombeo de elementos desde las capas minerales.

Otros cultivos

Siguiendo una mecánica semejante se ha calculado el balance de elementos en sistemas de producción de pradera, patata, trigo y maíz, en Galicia (tabla II.13).

Tabla II.13. Estimación de los aportes-pérdidas de nutrientes en diferentes sistemas de aprovechamiento de Galicia.

(1) y (2)- Idem tabla II.10.

(3)- Idem tabla II.10 (datos medios de solución de invierno en praderas abonadas, maíz y trigo (Alvarez, 1901); en suelos con patata (Lema *et al.*, 1988).

(4) Datos medios de composición de praderas mixtas: García, 1984; se calcula el consumo para una producción media de 8.000 Kg/Ha.

Datos medios de composición de patata: Lema *et al.*, 1988; se calcula el consumo para una producción media de 30.000 Kg/Ha.

Datos de composición de trigo: Leloux *et al.*, 1980; se calcula el consumo para una producción de 2.000 Kg/Ha.

Datos de composición de maíz: Leloux *et al.*, 1980; se calcula el consumo para una producción de 4.500 Kg/Ha.

Estación tipo: Pontevedra

	Kg/Ha/año			
	Ca	Mg	K	P
Lluvia (1)	8,32	7,68	1,60	-
Pluvio lavado (2)	12,48	18,43	4,32	-
Drenaje (3)				
Eucal. (s.n)	11,1	15,6	5,4	-
Prad. (s.a)	102,5	4,2	10,0	0,2
Pat. (s.a)	306,2	17,5	142,1	-
Tr. (s.a)	1420,0	113,7	427,2	-
Mz. (s.a)	1369,1	105,0	66,3	-
Consumo neto (4)				
Eucal. (s.n)	5,7	6,4	5,5	0,08
Prad. (s.a)	43,9	8,0	126,4	24,4
Pat. (s.a)	1,5	9,7	203,0	18,5
Tr. (s.a)	12,8	4,6	30,6	10,9
Mz (s.a)	32,0	20,0	152,0	20,0
BALANCE (Estación tipo: Pontevedra)				
Eucal (2-3-4)	-4,3	-3,6	-6,6	-0,08
Pr. (1-3-4)	-138,1	-4,5	-134,8	-24,6
Pt. (1-3-4)	-299,4	-19,5	-343,5	-18,5
Tr. (1-3-4)	-1424,5	-110,6	-456,2	-10,9
Mz. (1-3-4)	-1392,7	-117,3	-216,7	-20,0
BALANCE (Estación tipo: Betanzos)				
Eucal.	-2,3	-1,1	-4,9	-0,08
Pr.	-51,6	-4,3	-126,7	-24,4
Pt.	-33,5	-7,6	-219,1	-18,5
Tr.	-177,8	-14,0	-80,7	-10,9
Mz.	-191,0	-28,3	-189,0	-20,0

(s.n): suelo natural; (s.a): suelo abonado

Las **entradas** son para todos ellos las habidas por precipitación (los aportes por abonado se contabilizan indirectamente, como resultado del balance). Los **consumos por producción** se han calculado teniendo en cuenta los datos de composición media recogidos por diferentes autores (Lema *et al.*, 1988; García, 1984; Leloux *et al.*, 1980) y unos determinados valores de producción anual elegidos dentro del rango de lo probable en Galicia (8.000, 30.000, 2.000 y 4.500 Kg/Ha/año, para pradera, patata, trigo y maíz, respectivamente). En el cálculo de este consumo se incluye el realizado por tallos, hojas...etc., no aprovechables, pero que se retiran en la recolección.

Las **pérdidas por lavado** se estiman a partir de la cantidad de infiltración anual en las dos estaciones tipo consideradas anteriormente (suponiendo una reserva de humedad del suelo de 200 mm, son suelos más profundos) y análisis de composición media de la solución de suelos con cultivos de patata, pradera, trigo y maíz (Lema *et al.*, 1988; Alvarez y Calvo, 1991).

Balance: Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la existencia de balances fuertemente negativos en todos los casos, tanto en las áreas de elevada como de menor infiltración, que se alejan significativamente de los correspondientes a sistemas de eucaliptal (tabla II.13).

Es posible que las pérdidas por drenaje resulten sobrevaloradas en algún caso, teniendo en cuenta que las concentraciones de elementos en solución en suelos abonados no se mantienen constantes a lo largo del año. En este sentido son muy significativos los resultados obtenidos recientemente sobre los efectos de las primeras lluvias de otoño en la retirada de elementos en suelos de pradera (Alvarez y Calvo, 1991), lo que ya había sido observado en análisis de aguas lisimétricas de suelos abonados (Guitian *et al.*, 1971; Grandal *et al.*, 1976).

De todas formas, en comparación con los balances estimados para eucaliptales, las diferencias resultan manifiestas a favor de estos últimos (tabla II.13). Esta situación tiene una doble justificación: el importante consumo neto de determinados elementos para cada cultivo particular (K y P en patata, maíz y pradera; Ca, en pradera; Mg en maíz...) y, sobre todo, las exigencias de abonado necesarias para mantener unos niveles en solución/cambio que garanticen la producción, lo que provoca una fuerte susceptibilidad al lavado del exceso no consumido, en el período invernal.

La importancia del manejo

Finalmente, y a pesar de haber sido ya señalado, hay un hecho que debe ser destacado a fin de evitar posibles errores de interpretación. Los datos de

consumo estimados anteriormente para los sistemas de eucaliptal se obtuvieron considerando un nivel de producción y un tipo de manejo concreto, suponiendo como única extracción la correspondiente a la madera del tronco. Es decir, se supone una restitución de los residuos de la tala y la no existencia de otras cortas esporádicas, como los clareos.

Es evidente que el desgaste provocado por bosques de eucalipto de la misma especie y con la misma tasa de crecimiento, pero que no son sometidos a explotación, tendrían un consumo mucho más reducido que el calculado (y, tras un cierto tiempo se alcanzaría el equilibrio, es decir, consumo neto y producción cero) y, por el contrario, la intensificación de las extracciones lo elevaría.

Tal como hemos visto, la mayor parte de los nutrientes que los árboles extraen del suelo son devueltos en forma de hojarasca, cortezas...etc. Este constante reciclado permite explicar la existencia de ciertos bosques en áreas extremadamente pobres, así como la aparente paradoja del enriquecimiento superficial que muestran muchos de estos suelos en comparación con otros adyacentes que no soportan vegetaciones arbóreas.

No obstante, cuando se realiza una tala se provoca una retirada definitiva de nutrientes del suelo y, por lo tanto, una rotura del ciclo, que es mucho mayor (hasta 5 veces mayor, según nuestros cálculos) cuando no hay restitución de los residuos de la corta, incluidas cortezas y ramas.

Obviamente, cuanto menor sea el ciclo de corta, independientemente de la tasa de crecimiento, tanto más fuerte es el desgaste producido. Según Raison y Crane (1982), cuando se redujo el tiempo de rotación de 57 a 18 años en una plantación de *E.delegatensis*, en Australia, el incremento en la retirada de fósforo fue de un 70 %; las demandas generadas pueden hacerse incluso similares a las de cultivos agrícolas, como el maíz. Datos similares han sido aportados por Wise y Pitman (1981), quienes señalan que un sistema silvicultural de larga duración puede resultar en una pérdida de sólo el 5 % con relación a uno de corta duración.

Por otra parte, la intensidad de las operaciones de tala es una de las variables principales de los impactos provocados por las actividades forestales. Algunas experiencias realizadas en el sur de Australia, en suelos con muy pocas reservas asimilables, han puesto de manifiesto la importancia de las *talas selectivas* en el mantenimiento de la producción de sucesivos turnos, al conservarse siempre un cierto nivel de nutrientes que va siendo "compensado" con el lento avance de la alteración de los materiales geológicos. Por el contrario, las *talas rasas* causan una brusca retirada de elementos de los sistemas, capaz de provocar caídas en la producción incluso en el segundo turno. Al margen de este tipo de impactos, las talas rasas son causa de otros

efectos, tales como el incremento de los riesgos de erosión (al menos en regiones con lluvias torrenciales), cambios en las características y distribución del ciclo del agua...etc., que serán comentados más adelante.

Pero no sólo ha de tenerse en cuenta la tala rasa y los ciclos cortos, sino que las operaciones de clareo exhaustivo también pueden suponer grandes consumos, tal y como han puesto de manifiesto Wise y Pitman (1981) en suelos de Nueva Gales del Sur. Por otra parte, el aumento en la frecuencia de las labores en sistemas de explotación intensiva (entresaca, preparación del terreno...) perturbaban el suelo, especialmente cuando se utiliza maquinaria pesada, lo que provoca, entre otros efectos, un incremento en la pérdida de elementos de los horizontes superficiales, por escorrentía.

Si además de reducir turnos y realizar talas exhaustivas y clareos, sin restitución de restos, se intensifica el nivel de utilización (bien incrementando la densidad de plantas, bien recogiendo sistemáticamente follaje, cortezas, ramas caídas...etc.), el consumo puede llegar a multiplicarse muchas veces en pocos años, llevando a precisar de una fertilización regular, siempre que se pretenda conservar la fertilidad del suelo y, al mismo tiempo, los rendimientos productivos. Experiencias de este tipo son comunes en determinadas zonas del sur de Australia que en pocos años se han visto en la necesidad de fertilizar suelos forestales que se habían mantenido con una producción más que aceptable durante muchas generaciones. Recientes estrategias de gestión forestal proponen una modificación de los objetivos (no simplemente de las técnicas) de las explotaciones, en orden a evitar perseguir sistemáticamente el incremento en el ritmo de la producción.

Por último, es de destacar el empobrecimiento del suelo cuando se procede a la quema de los residuos orgánicos, incluidos los incorporados al humus. Según los resultados obtenidos por Raison y Crane (1982), la pérdida de P, N y S cuando se procede a la quema controlada en bosques de eucalipto puede llegar a igualar, o incluso a superar, a la salida de estos elementos por la producción de biomasa. En el caso de los suelos forestales de Galicia, la quema que llega a afectar a los horizontes superficiales de suelo puede generar una serie de problemas adicionales, derivados de la pérdida de materia orgánica, que resumiremos más adelante.

Todos estos aspectos han de ser considerados, conjuntamente con las estimaciones del balance que recogemos más arriba, si se pretende evaluar el consumo de elementos o, lo que es lo mismo, las expectativas de fertilidad potencial de los suelos al someterlos a una explotación con eucalipto. La creciente demanda por los productos forestales podrían llegar a estimular sensiblemente los niveles de utilización, causando una sensible modificación de las previsiones de consumo señaladas. La necesidad de la fertilización se presenta como contrapartida lógica a la intensificación del desgaste, ya que,

incluso en el mejor de los casos (suelos jóvenes, con minerales alterables o la roca relativamente próxima a la superficie), el ritmo de cesión de nutrientes por la alteración no se acomodaría al de las pérdidas provocadas.

Las anteriores consideraciones apuntan directamente al tema de la planificación, en lo que supone valorar dos tipos de alternativa para obtener una misma cantidad de biomasa: *la utilización de una intensificación de la producción de eucalipto (u otros sistemas forestales de producción) en una limitada extensión de tierras, que probablemente exigirán fertilización, o la dedicación de una mayor extensión del territorio siguiendo un sistema de explotación menos sustractivo.*

De todas formas, la posibilidad de la fertilización no debe ser observada como un sencillo remedio tal como es habitual en los suelos cultivados. No olvidemos que la mayoría de los terrenos forestales de Galicia (si no queremos comprometer excesivamente otras tierras que podrían ser utilizadas por especies más exigentes), presentan pendientes superiores al 13 %, es decir una tendencia a la escorrentía; además, en muchas de estas zonas, el espesor de suelo es escaso. Las dos circunstancias favorecen la pérdida de elementos en las épocas lluviosas, lo que además de un descenso en la rentabilidad del abonado, podría resultar en un riesgo de contaminación de los cauces fluviales.

Por otra parte, hay que recordar que la fertilidad del suelo no es sólo dependiente de la cantidad de elementos nutritivos, tales como P, N o K, que pueden ser suministrados en una fertilización. El descenso paulatino de materia orgánica del suelo (de no cuidarse su restitución) reduciría la capacidad de retención de agua, la capacidad de intercambio de cationes, la de fijación de determinados elementos tóxicos, cuya solubilidad en medios ácidos, como los de Galicia, podría situarse por encima de los umbrales de tolerancia, los posibles efectos beneficiosos sobre la disponibilidad del fósforo en medios alumínicos...etc.

Síntesis de resultados

Como síntesis de los resultados recogidos en este capítulo cabe destacar:

1-Los suelos de Galicia poseen una baja fertilidad actual que, en términos químicos, se resume en unas concentraciones muy escasas de elementos tales como K, Mg, Ca y P en solución y en forma fácilmente asimilable, como consecuencia de un grado de evolución geoquímica del material geológico acusado, junto a un escaso poder de retención-cambio de la fracción coloidal del suelo.

2- En estas condiciones sólo determinadas especies “frugales” consiguen adaptarse, e incluso alcanzar altas producciones, sin la exigencia de abonado. Las especies de crecimiento rápido, que son además las que se renuevan en ciclos más cortos, provocan un mayor consumo de elementos que las especies de menor crecimiento y no sometidos a explotación.

3- No obstante, este mayor consumo apenas se ve reflejado en los análisis de composición de soluciones y suelos, que se renuevan hasta alcanzar los “bajos” niveles de concentración previos, debido a la proximidad a la superficie del material geológico o a la presencia de piedras, gravas... en la mayoría de los horizontes superiores de los suelos forestales: una fertilidad actual muy baja, pero indefinida, definiría las condiciones de estos sistemas edáficos, geoquímicamente viejos pero morfológicamente jóvenes.

4- La intensificación de la producción en los sistemas de explotación con especies de crecimiento rápido, como el eucalipto, bien sea reduciendo los turnos, intensificando los raleos, aplicando talas rasas, incrementando la densidad de plantas... o recogiendo cortezas, ramas, hojas... después de la tala, provocará un incremento sustancial del consumo, no pudiendo descartarse la necesidad de una fertilización en sucesivas generaciones.

5- El consumo provocado por sistemas de explotación forestal, con eucalipto, resulta siempre mucho menor que el correspondiente a otros sistemas de producción, como praderas, patatas, trigo o maíz, que no sobreviven con éxito a anteriores cosechas, sin previa fertilización. Estos sistemas están sometidos a importantes pérdidas, por lavado, del exceso de abonado, necesario para mantener los niveles de concentración en solución requeridos, pero no consumido totalmente al final del ciclo.

CAPITULO III

El ciclo del agua

De una forma general, la climatología de Galicia se ha presentado tradicionalmente dentro de lo que podríamos llamar dominio templado húmedo, con una precipitación superior a 1000 mm en el 80% de las estaciones y una temperatura media anual próxima a los 12º C.

No obstante, esta generalización es muy aventurada, en primer lugar, porque Galicia no se comporta como un territorio uniforme y, en segundo lugar, porque la variación estacional de los parámetros climáticos configura un comportamiento anual fuertemente contrastado, fundamentalmente en lo que se refiere al régimen hídrico, registrándose períodos con un importante exceso de humedad y otros con un acusado déficit.

Esta última característica, a pesar de manejarse de forma cotidiana, no es suficientemente considerada cuando se realizan estudios de balances hídricos en la zona, generalmente simplificados a términos anuales. Así mismo, resulta muy frecuente la comparación de esta región con otras de la Europa templado-húmeda basándose en los valores anuales que puede llegar a alcanzar la precipitación. No obstante, las diferencias son manifiestas si se consideran los datos de distribución, que, en tales zonas, resulta homogénea a lo largo del año o, incluso, con una coincidencia de los períodos lluviosos con los más cálidos (fig.III.1). Desde un punto de vista agronómico esta diferencia es algo más que anecdótica.

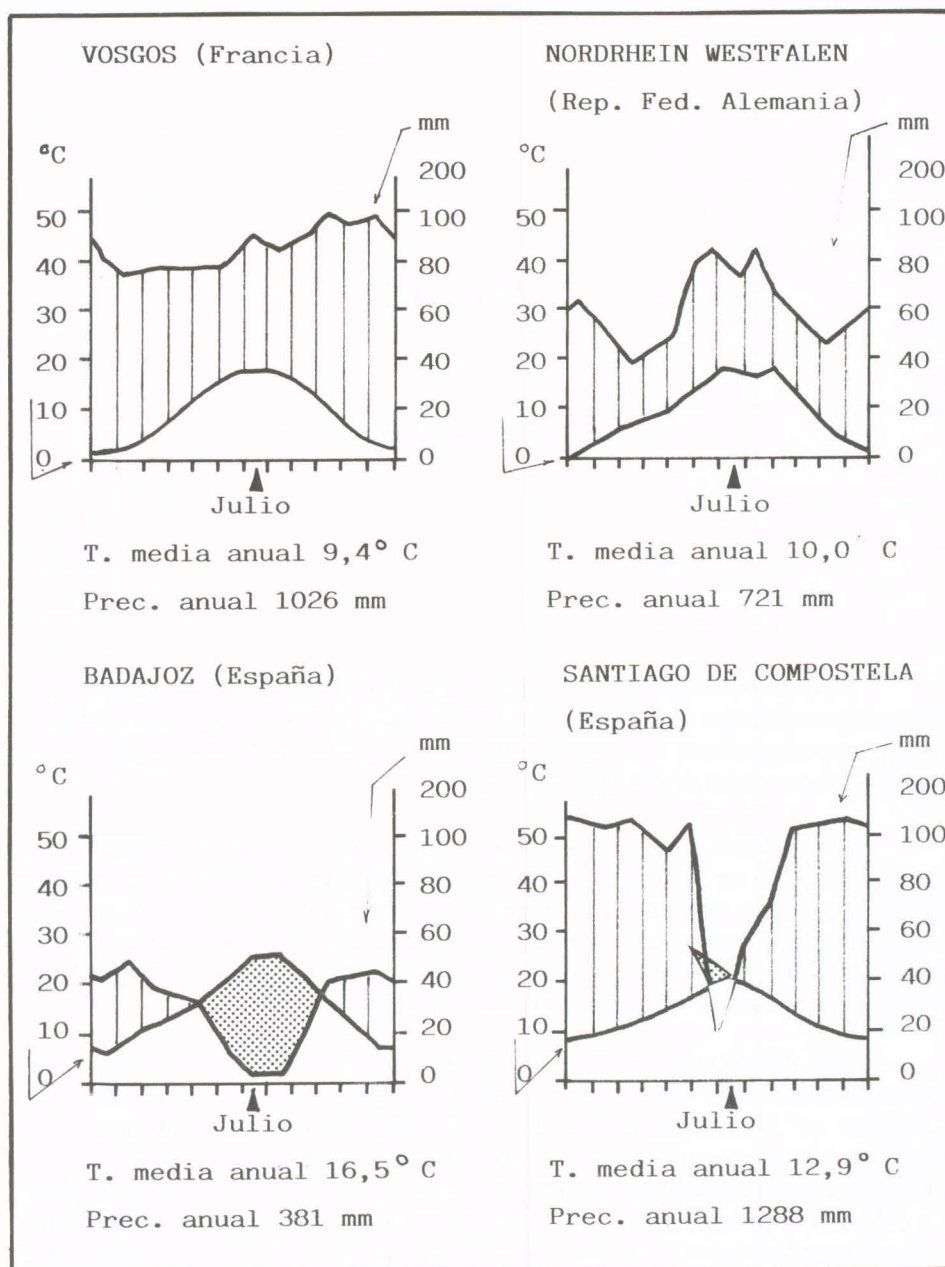


Fig. III.1.- Valores medios y distribución de la precipitación y temperatura en diferentes partes de Europa.

Esto hace que tengamos que revisar la expresión general *Galicia-región húmeda* y hablar más convenientemente de *región de fuertes contrastes*. En la época en la que la precipitación supera ampliamente la evapotranspiración se produce un exceso de agua que mantiene saturada la capacidad de reserva del suelo, permite el abastecimiento vegetal y genera un residuo hídrico que, a través del drenaje y la escorrentía super o subsuperficial, pasa a engrosar cauces fluviales o subterráneos.

A partir de Junio (Mayo en algunos casos) la precipitación sufre un descenso brusco, al tiempo que la temperatura se eleva condicionando un aumento de la intensidad evapotranspiradora. Comienza entonces el período que denominamos seco, pero que sólo afecta al desarrollo vegetal una vez se agota la reserva del suelo, lo cual en Galicia es un factor muy variable, dependiendo de parámetros tales como espesor, contenido de materia orgánica o textura.

Los suelos arenosos o los arcillosos presentan una escasa reserva de agua útil. En el primer caso esto es debido a la baja superficie específica de las partículas y a la abundancia de poros superiores a 60 micras y, por lo tanto, gran flujo gravitacional; en el segundo, debido a una elevada superficie específica y, consecuentemente, una fuerte energía de adsorción de agua (por encima de 15 bares) que sólo determinadas especies vegetales adaptadas logran contrarrestar. La estructura es otro factor de gran importancia, al proporcionar abundante porosidad capilar (receptora de agua útil) a través de la formación de microagregados.

Así pues, si tratásemos de delimitar las áreas que en Galicia están más expuestas a sufrir problemas de sequía incluiríamos aquellas regiones climáticas con una mayor duración del período en el que la evapotranspiración supera a la precipitación (fig.III.2), o en las que la intensidad de esta sequía es más acusada (fig.III.3), las que presentan suelos esqueléticos o poco profundos, con texturas desequilibradas, faltos de estructura o desprovistos de materia orgánica (fig II.2 y tabla III.1). Bien sea una u otra la razón, Galicia está lejos de ser una zona homogéneamente provista desde el punto de vista hídrico y es amplio el territorio que puede presentar fuertes limitaciones al desarrollo estival de determinadas especies.

EL EUCALIPTO Y EL BALANCE DE AGUA

Llegados a este punto, es necesario preguntarse cuáles son las posibilidades del eucalipto en esta región e, inversamente, cuáles pueden ser los efectos de una plantación de estas características sobre el balance anual del agua.

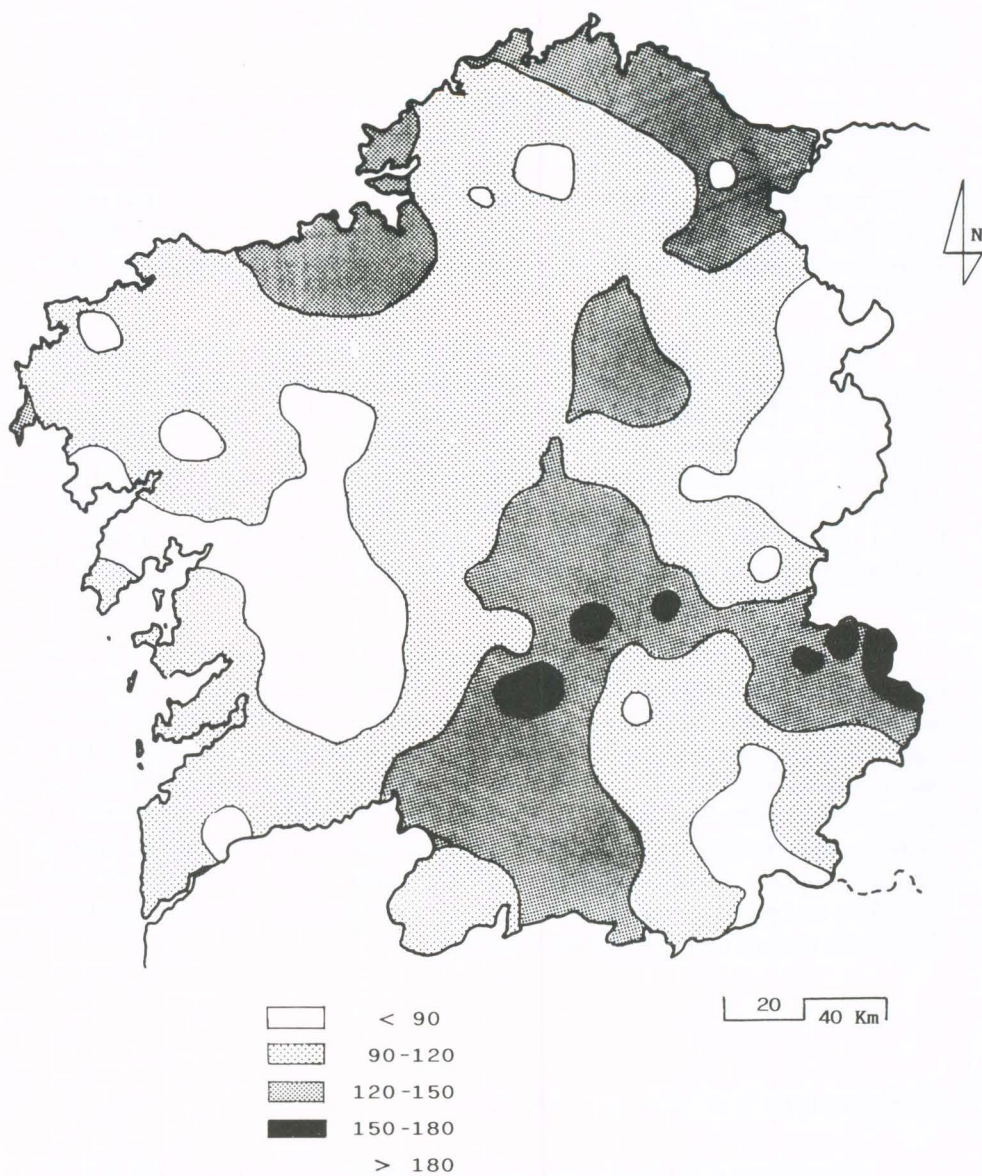


Fig. III.2.- El clima: Déficit de humedad climático (nº de días con $P < ETP$) (Martínez Cortizas, 1991).

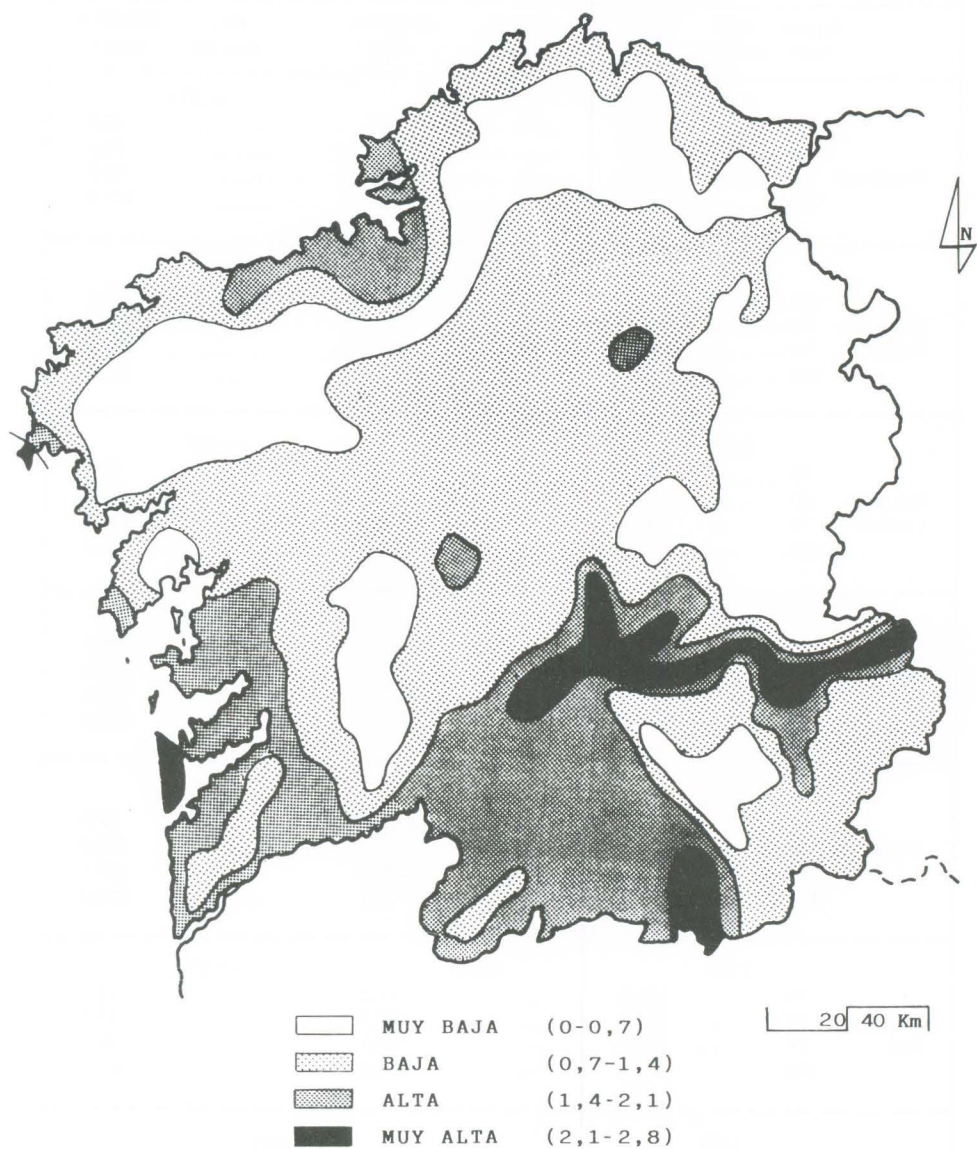


Fig. III.3.- El clima: Déficit de humedad climático (intensidad) (Carballeira *et al.*, 1983).

Tabla III.1. Reserva de agua útil en suelos de Galicia en función de textura, % de carbono y espesor sobre diferentes materiales originales (calculada a partir de las correlaciones obtenidas por Martínez Cortizas, 1988)

		Horizontes superficiales			H. profundos		
		S. naturales		S. cultivados			
	Espesor	RAU	RESERVA	RAU	RESERVA	RAU	RESERVA
	(cm)	mm/cm	(mm)	mm/cm	(mm)	mm/cm	(mm)
Areniscas		(1,63)		(1,28)		(1,21)	
	35		57,0	.....	44,8	.....	42,3
	50		81,5	.....	64,0	.....	60,5
	75		122,2	.....	96,0	.....	90,7
	100		163,0	.....	128,0	.....	121,0
Esquistos Cuarc.		(2,65)		(2,52)		(1,67)	
	35		92,7	.....	88,2	.....	58,4
	50		132,5	.....	126,0	.....	83,5
	75		198,7	.....	189,0	.....	125,2
	100		265,0	.....	252,0	.....	167,0
Granitos y afines		(2,75)		(2,54)		(1,55)	
	35		96,2	.....	88,9	.....	54,2
	50		137,5	.....	127,0	.....	77,5
	75		206,2	.....	190,5	.....	116,2
	100		275,0	.....	254,0	.....	155,0
Ultrabs.		(2,84)		(2,36)		(2,54)	
	35		99,4	.....	82,6	.....	88,9
	50		142,0	.....	118,0	.....	127,0
	75		213,0	.....	177,0	.....	190,5
	100		284,0	.....	236,0	.....	254,0
Básicas		(3,28)		(3,02)		(2,50)	
	35		114,8	.....	105,7	.....	87,5
	50		164,0	.....	151,0	.....	125,0
	75		246,0	.....	226,5	.....	187,5
	100		328,0	.....	302,0	.....	250,0
Esquistos biot.		(3,91)		(3,75)		(2,65)	
	35		136,8	.....	131,2	.....	92,7
	50		195,5	.....	187,5	.....	132,5
	75		293,2	.....	281,2	.....	198,7
	100		391,0	.....	375,0	.....	265,0
Pizarras		(3,96)		(3,52)		(3,21)	
	35		138,6	.....	123,2	.....	112,3
	50		198,0	.....	176,0	.....	160,5
	75		297,0	.....	264,0	.....	240,7
	100		396,0	.....	352,0	.....	321,0

Aunque existen especies que desarrollan mecanismos de adaptación a una fuerte escasez hídrica (Karschon y Heth, 1967), es obvio que en el caso de *E. globulus* las áreas potencialmente más aptas son aquellas cuyos riesgos de déficit son menores (si se considera simplemente este factor, pues es bien sabido que las limitaciones al desarrollo de esta especie las imponen fundamentalmente los parámetros ligados al frío). En un capítulo posterior abordaremos con más detalle estos aspectos.

La segunda pregunta tiene una respuesta más compleja, puesto que la incidencia de una plantación forestal sobre el ciclo del agua obedece a la acción conjunta de procesos diversos: *consumo neto para la producción de biomasa, interceptación de la precipitación, captación de lluvia-niebla, influencia sobre la evaporación del suelo -debido a la amortiguación térmica o de radiación-, transpiración ...etc.*

El *consumo neto* de agua (producción de biomasa) es muy escaso. Así, a pesar del elevado porcentaje de humedad en madera, del orden del 50% en árboles jóvenes (Toval, 1989), así como del nada despreciable contenido de agua ligada, del 50% en celulosas y hemicelulosas, que constituyen más de un 60% de la madera (Kollman, 1959; Alonso Aguilar, 1972), podemos estimar que en términos de *consumo anual neto* estos valores representan, para una producción de 20 m³/Ha, menos de 2 litros/m²/año.

Así pues, la demanda hídrica en un sistema forestal depende fundamentalmente de los parámetros *interceptación, evaporación del suelo y transpiración de la planta*, variables según características propias de cada especie, tales como absorción, emisión y reflexión de la radiación, composición y superficie específica de las hojas, propiedades estomáticas, edad, desarrollo y disposición radicular ...etc. Lógicamente, son determinantes las características climáticas, como temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento... etc.

La mayor parte de los estudios hacen una estimación global de este consumo en base a registros de humedad del suelo o al descenso del caudal de agua de las cuencas forestadas. Los resultados obtenidos sobre sistemas de eucalipto son muy variables. Lima y O'Loughlin (1987) señalan que la tala rasa de bosques maduros de eucalipto, en Australia, aumenta el caudal de la cuenca (es decir, retiraban) en un valor promedio de 400 mm/año; cantidades de hasta 600 mm fueron obtenidas para bosques jóvenes. En pinares los resultados no fueron muy diferentes, mientras que en otras frondosas de menor producción el gasto resulta más bajo. Por su parte, Poore y Fries (1987) señalan que la *evapotranspiración* en cuencas con eucalipto en regiones tropicales húmedas es probablemente superior a 1500 mm; es próxima a 1000 mm, cuando el régimen de lluvias es mayor de 1200 mm/año y, está alrededor de 450 mm, cuando la precipitación es del orden de 500 mm/año. Según estos mismos autores, el promedio anual de la *evapotranspiración* en plantaciones de pino tiene un orden de magnitud similar.

En Galicia se han citado valores de *consumo global* próximos a 1000 mm/año (en cuencas con eucaliptal de la provincia de Pontevedra), cuando la precipitación fue superior a 3000 mm, e, inferiores a 500 mm, con precipitaciones menores a 600 mm (Gras, 1990). Evidentemente, el *consumo* será tanto mayor cuanto mayor sea la producción alcanzada y, así, para la obtención de 1 Kg de materia seca, Molina (1970) estima una absorción de 500 mm, lo que probablemente se traduciría en la necesidad de una precipitación algo inferior a los 1000 mm para la producción de 20 m³/Ha/año de materia fresca. Valores muy similares (alrededor de 1200 mm/año) son obtenidos por Paz González (1982) mediante cálculos teóricos de la *demanda* (consumo potencial) para un año con sequía y otro con lluvia estival, en Santiago de Compostela. Las diferencias con pinares son escasas, encontrando para robledales unas cantidades ligeramente inferiores, debido al menor consumo de estas especies en los meses de invierno como consecuencia de su escaso desarrollo foliar y, por lo tanto, su menor actividad, en términos de interceptación y transpiración, en esta época.

En síntesis, el *consumo anual* de agua en sistemas con eucaliptal parece ser muy variable, citándose valores entre 400 y más de 1500 mm, dependiendo de la disponibilidad de agua (cuando la precipitación es baja se consume prácticamente el 100 %). Las estimaciones realizadas en Galicia hablan de cantidades entre 500 y 1000 mm y los cálculos de *demanda* (consumo potencial) parecen acercarse a los 1200 mm. Todos los estudios coinciden en señalar la similitud entre sistemas con eucaliptal y pinar, señalándose un menor *consumo anual* para especies de menor producción, como los robles, no obstante resultar que en los meses de verano la *demanda* de agua de las tres especies parece ser similar.

De todo lo señalado hasta aquí se deduce el interés de estimar los parámetros del balance separadamente para la estación húmeda y la seca, mejor que en términos globales anuales.

Balance de agua en el período húmedo

1- Precipitación

En la época húmeda ($P > ETP$) la *precipitación* media de Galicia, dentro del área sin limitaciones por frío para *E.globulus*, oscila entre 775 y 1953 mm (en Betanzos y Negreira, respectivamente), siendo el valor medio más frecuente superior a 1000 mm.

2- Pluviolavado

La *interceptación* ejercida por las cubiertas vegetales supone una "pérdida" de agua del sistema, porcentualmente más acusada cuanto más escasa y repartida se produzca la lluvia, y diferente según la especie, densidad de población, altura, edad, ...etc. En términos generales, los estudios realizados en áreas tropicales húmedas ponen de manifiesto que los eucaliptos interceptan entre un 10 y un 20 % de la precipitación invernal, menos que coníferas y más que robledales, matorrales ralos y, sobre todo, pastizales, cuya *interceptación* es prácticamente nula (Dabral y Subba Rao, 1968, 1969; Smith, 1974; George, 1978; Lee, 1980; Lima, 1976, 1987). Este último autor atribuye la mayor percolación de agua a través de las cubiertas de eucalipto, en relación a coníferas, a la escasa densidad de su copa y a la disposición pendular de sus hojas, que favorecen el escurrimiento del agua. Una experiencia realizada en Galicia por Paz González (1982) apoya esta observación, obteniéndose que la capacidad de almacenamiento de las cubiertas de *E. globulus* es próxima a 0,5 mm, mientras que la de *P. pinaster* asciende a 1,0 y la de *Q. robur* varía, de acuerdo con su carácter caducifolio, entre 0,1 y 1,6 mm, en invierno y verano respectivamente (tabla III.2).

Tabla III.2. Capacidad de almacenamiento de cubiertas arbóreas (Calvo *et al.*, 1979).

	ROBLE		PINO	EUCALIPTO	TOJO
	invierno	verano			
Tallo	0,0-0,2	0,0-0,2	0,2-0,4	0,2-0,4	-
Cubierta	0,1-0,2	1,6-1,7	1,0-1,1	0,5-0,6	2,1-2,2

Dado que una gran parte de los eucaliptales de Galicia presentan un denso sotobosque, es interesante señalar aquí que la capacidad de almacenamiento observado en matorrales de tojo resultó muy elevada (próxima a 2,0 mm), lo que conduce a incrementar fuertemente (incluso a duplicar) los valores de *interceptación* con relación a los observados en eucaliptales desprovistos de sotobosque.

En primavera la *precipitación* decrece y, consecuentemente, la *interceptación* desciende en términos absolutos, aunque incrementa porcentualmente ya que los chubascos son más cortos y no siempre colmatan la capacidad de almacenamiento de las cubiertas que, además, se recuperan más rápidamente que en invierno debido a la mayor evaporación.

Teniendo en cuenta las correlaciones obtenidas por Calvo *et al.* (1979) y Paz González (1982), puede estimarse que en el conjunto del período húmedo (Septiembre a Mayo) los valores de *interceptación* oscilarían, para el área considerada, entre 209 y 445 mm, en Betanzos y Negreira, respectivamente; en el caso de los pinares los valores se sitúan entre 223 y 506 mm y, en robledales, entre 180 y 393 mm. Tomando como prototipo la estación climática de Santiago de Compostela, los valores estimados para un año medio resultan de 284, 314 y 249 mm para eucaliptales, pinares y robledales respectivamente; es decir, representarían el 25, 27 y 22 %, respectivamente, de la precipitación de este período. Por todo lo señalado anteriormente, estos porcentajes no pueden aplicarse directamente a otras estaciones climáticas.

3- Flujo de tallo

El *escurrido*, o flujo de agua a lo largo del tronco, se produce preferentemente en la época de lluvias, representando un aporte adicional en una estrecha banda de suelo. Los estudios realizados en Galicia en el período primavera-verano de un año lluvioso ponen de manifiesto valores superiores en eucaliptales (12-19 % de la precipitación) que en pinares (7-14 %) y robledales (4-8 %) (Díaz-Fierros *et al.*, 1982) (tabla III.3); es de suponer que los porcentajes se eleven considerablemente en invierno.

Tabla III.3. Escurrido a lo largo del tronco (% sobre la precipitación) (Santiago, 1977) (Díaz-Fierros *et al.*, 1982).

	Mz	A	My	Jn	Jl	A
ROBLE	6	8	4	4	5	5
PINO	8	11	7	8	7	11
EUCALIPTO	14	18	12	19	19	-

Las diferencias entre especies son atribuidas al carácter esbelto y al tipo de corteza del tronco del eucalipto. Son valores escasos en términos de porcentaje de precipitación, pero muy importantes si se tiene en cuenta que actúan en una pequeña zona del suelo, en donde pueden llegar a suponer entre 2 y 8 veces la precipitación (Gersper, 1971; Smith, 1974; Prebble y Stirk, 1980).

Probablemente son aguas que se infiltran rápidamente hacia las capas más profundas del perfil.

4- Evapotranspiración

Según las relaciones que se citan en la bibliografía entre la *precipitación* y la *evapotranspiración* anual de los sistemas forestales, es muy probable que la ET de un eucaliptal en el período húmedo, en Galicia, sea muy próxima a la ET potencial, dado que no existen limitaciones de agua (Karschon y Heth, 1967). Según esto, si tenemos en cuenta los valores de ETP (Carballeira *et al.*, 1983) las pérdidas podrían oscilar entre 340 y 481 mm (Sobrado y Corcubión, respectivamente), dentro del área con aptitud para la especie, con una frecuencia máxima por encima de los 350 mm.

Los valores resultan semejantes si se considera la *evapotranspiración* potencial calculada para sistemas de eucaliptal. Así, si tomamos como ejemplo el ensayo realizado en Santiago de Compostela, en 1975, el consumo probable para el período húmedo de este año oscilaría entre 436 y 458 mm, según se considerase la ETP climática o la ET potencial calculada para eucaliptal (Paz González, 1982). Por tanto, a partir de una regresión lineal podemos estimar para el año medio de esta estación tipo (período húmedo) unos valores de 368 y 377 mm, según consideremos una u otra aproximación; para pinares la demanda media para *evapotranspiración* (en este mismo período y estación tipo) resulta entre 368-306 y, para robledales, entre 368-208 mm, respectivamente (tabla III.4). En este último caso la diferencia es muy significativa, lo que debe atribuirse a la menor eficacia de la cubierta foliar de robledales, en este período.

Bien sea una u otra la aproximación más correcta, cualquiera de los valores obtenidos es muy inferior a los señalados por Poore Y Fries (1987) para bosques de eucalipto en áreas más cálidas y lluviosas. Según estos autores, la *transpiración* en eucaliptales de Brasil oscila, por árbol y día, entre 20 y 40 litros, lo que, suponiendo un marco de plantación de 3x2 m, equivaldría a unos valores entre 3,5 y 7 l/m²/día, es decir, entre 950 y 1900 mm para un período de 9 meses.

Según los datos señalados, la *evapotranspiración* generada en el período húmedo supone aproximadamente un 32% de la precipitación (en la estación tipo de Santiago); en pinares y robledales los valores son próximos a un 29% y 25%, respectivamente (fig.III.4a).

En comparación con los sistemas forestales, la ET potencial en praderas es considerablemente más reducida, entre 1,0 y 1,8 veces inferior (Díaz- Fierros *et al.*, 1982)

Tabla III.4. Estimación del balance hídrico mensual (mm) para la estación tipo de Santiago de Compostela (se utilizan datos de Calvo *et al.*, 1979 y Paz González, 1982) (R- *Q. robur*; P-*medias*, P. *pinaster* y P. *radiata*; E- *E. globulus*).

Prec.		Interceptación			ETP	ETpot. forestal			Demanda forestal			Consumo real (*)		
		R	P	E		R	P	E	R	P	E	R	P	E
P. HUMEDO														
E	172	35,6	45,5	40,4	12	-	-	7,9	41,6	51,5	50,3	41,6	51,5	50,3
F	124	26,9	34,0	30,8	20	-	9,1	17,3	36,9	48,5	49,4	36,9	48,5	49,4
M	146	30,9	39,2	35,2	44	22,7	37,4	45,7	64,2	79,9	80,0	64,2	79,9	80,0
A	91	21,0	26,0	24,2	71	50,7	69,3	77,5	81,8	96,1	98,4	81,8	96,1	98,4
M	109	24,2	30,4	27,8	95	75,7	97,6	105,8	109,5	126,7	128,2	109,5	126,7	128,2
S	81	19,2	23,6	22,2	62	41,4	58,7	66,9	70,9	83,9	86,6	70,9	81,0	81,0
O	108,	24,0	30,0	27,6	39	17,5	31,5	39,8	52,2	65,3	67,0	52,2	5,3	67,0
N	157	32,9	41,9	37,4	14	-	2,0	13,5	39,9	49,9	49,5	39,9	9,9	49,5
D	163	33,9	43,3	38,6	10	-	-	5,5	38,9	48,3	46,3	38,9	8,3	46,3
1151		248,6	314,0	284,2	368	208,0	305,6	376,6	535,9	650,1	655,7	535,9	47,2	650,0
P. SECO														
J	64	25,2	19,0	16,2	109	131,8	134,9	131,0	145,6	140,9	136,2	145,6	40,9	136,2
J	20	8,9	7,6	7,0	125	148,6	159,5	144,0	145,7	149,8	141,5	37,9	5,4	28,6
A	53	21,1	16,1	13,9	100	122,3	121,0	124,0	132,2	126,6	125,9	53,0	3,0	53,0
137		55,2	42,7	37,1	334	402,7	414,9	399,0	423,5	417,3	403,6	236,5	19,3	217,8

(*)- disponible, considerando una reserva edáfica de 100 mm

5- Escorrentía

En invierno son frecuentes las salidas de agua por *escorrentía* superficial, debido a que el exceso de precipitación encuentra dificultades para penetrar en el interior del suelo como consecuencia de su compacidad, pendiente, tipo y cantidad de hojarasca, características del sotobosque... etc. En Galicia se han señalado valores entre un 14 y un 25 % de la precipitación, en áreas de robledal y pinar respectivamente, sin sotobosque y con una inclinación del terreno de un 16 % (Calvo *et al.*, 1979). En suelos de eucaliptal existen muy pocos datos y en los lugares en los que se citan fuertes descargas, coinciden intensas lluvias y pendientes acusadas con una “extrema escasez” de sotobosque (Shuster, 1979).

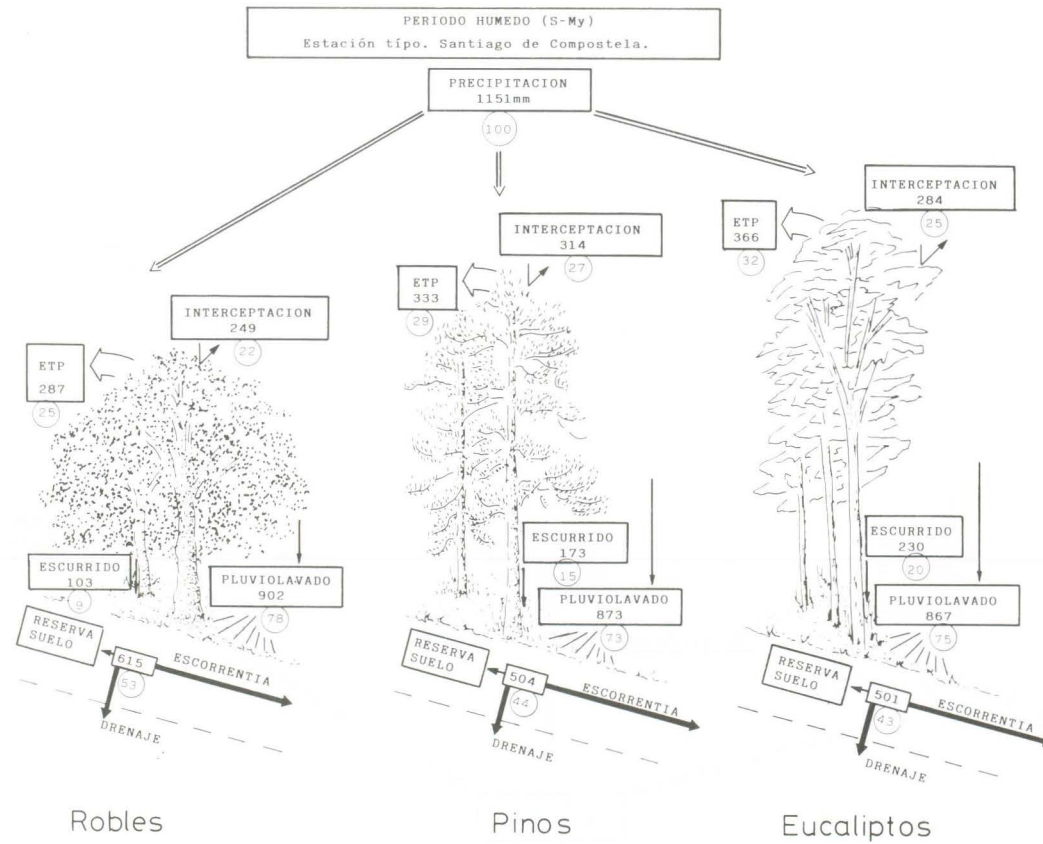


Fig. III.4a.- Estimación del balance de agua (mm) para el período húmedo de la estación de Santiago de Compostela (se considera una reserva ideal de 100 mm) (el flujo de tallo no se incluye, por afectar a una estrecha banda de suelo).

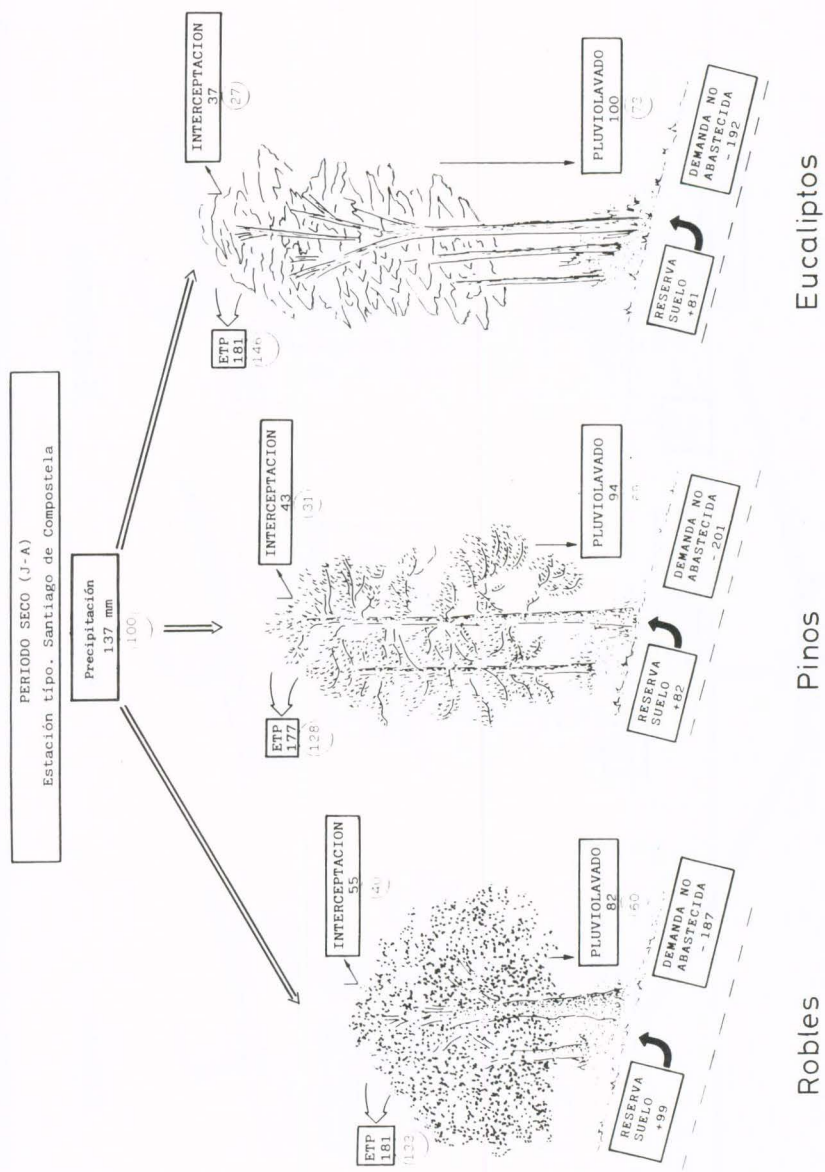


Fig. III.4b. (Continuación). (Idem, período seco).

(*) nótese que la reserva inicial de 100 mm ha sido parcialmente consumida antes de Junio.

En todo caso, los flujos de agua por *escorrentía* no suelen ser valorados por lo que pueda suponer de retirada de agua de una cuenca, en el mismo sentido que se da al consumo o a la interceptación (puesto que se trataría más bien de una redistribución en el paisaje), sino que su posible impacto se relaciona más directamente con los procesos de erosión inducidos por el avance de las arroyadas. La proliferación de incendios en áreas de eucalipto (y pino) y la consiguiente eliminación de sotobosque y restos orgánicos, se considera un factor directamente relacionado con el incremento de flujo superficial por *escorrentía*. Así, según Díaz-Fierros (1979), mientras que la erosión media en Galicia oscila entre 0,8 y 1,6 Tm/Ha/año, en ensayos de campo sobre áreas incendiadas los valores se hacen siempre superiores a 11 Tm/Ha/año (*umbral máximo tolerable* según el Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU); en muchos casos se superan las 30 Tm/Ha/año y en algunos incluso resulta mayor de 100 Tm/Ha/año.

Así mismo, el tránsito de maquinaria pesada, particularmente en la época húmeda, puede causar considerables cambios en las propiedades físicas del suelo, incrementando la compacidad y, por lo tanto, reduciendo la porosidad y la capacidad de infiltración de agua en el suelo; la erosión provocada por este tipo de proceso en áreas boscosas de eucalipto, en Australia, es del 20-30 % de la superficie del suelo (Shuster, 1979). De todas formas, la compactación no afecta por igual a todo tipo de suelo, sino que la mayor sensibilidad la presentan los medios de textura fina y desprovistos de materia orgánica, que en Galicia estarían restringidos a pequeñas áreas...

Evidentemente, los riesgos de erosión no se limitan a estas causas. Entre otras, la tala rasa de bosques puede llegar a provocar la remoción de importantes cantidades de suelo por incremento de precipitación efectiva, pudiendo citarse como ejemplo espectacular los datos estimados por Lamb (1986), según los cuales, la pérdida de suelo llega a ser de un 56% cuando se talan bosques de eucalipto en zonas de fuertes lluvias.

6- Balance

Todos los parámetros del ciclo del agua que hemos cuantificado deben interpretarse con cuidado, dado que las características propias de cada medio, especie elegida, sistema de plantación, etc., pueden hacer variar considerablemente los valores señalados. De todas formas no parece excesivamente comprometido realizar la siguiente síntesis para la estación tipo de Santiago de Compostela (fig.III.4a):

Durante el período húmedo (Septiembre a Mayo) la precipitación existente supera los 1000 mm, de los que, en áreas forestales con eucalipto, alrededor de un

25 % son interceptados por las cubiertas y alrededor de un 32 % son devueltos a la atmósfera, por evapotranspiración. Por el contrario, en estrechas bandas de terreno alrededor de los troncos puede producirse un incremento que probablemente llegue a suponer más de un 19% de la precipitación. Por otra parte, la producción neta de biomasa en esta época puede presentar períodos de parada o ralentización por frío y, en todo caso, no llega a comprometer nunca (ni siquiera en términos anuales) la reserva, originándose finalmente un exceso de agua, cercano a un 43 % que, una vez colmada la reserva del suelo, puede discurrir por la superficie del terreno o infiltrarse en profundidad.

Los valores obtenidos para pinar resultan similares (un 44 % de exceso), mientras que para robledales se estima una menor demanda en este período (un exceso del 53 %) (fig. III.4a).

La elevación sistemática de los caudales fluviales, nivel de la capa freática...etc., en invierno, en Galicia, corroboran estas estimaciones o, cuando menos, permiten asegurar que la demanda de los sistemas forestales, en esta época, no llega a superar nunca el exceso de precipitación.

Todos estos resultados justifican el importante lavado de elementos que pueden sufrir los suelos durante el invierno, tal como fue señalado en anteriores capítulos. En el caso particular de los suelos bajo robledal, a la superior cantidad de aporte efectivo se suma la mayor porosidad de sus horizontes superficiales (Calvo *et al.*, 1979), al menos en comparación con pinares. En estos últimos, gran parte del exceso de precipitación se escapa por escorrentía superficial. Resultados similares son observados por Madeira (1987) cuando compara suelos forestales bajo *E.globulus* y *Q.suber* en el centro de Portugal; bajo robledal se observa en horizontes A una menor densidad aparente y mayor infiltración de agua que bajo eucaliptal.

Balance de agua en el período seco

1- Precipitación

Tal y como hemos comentado anteriormente, la situación puede resultar muy diferente en la temporada de estío, en la que la precipitación media mensual decrece hasta valores incluso inferiores a 15 mm, registrándose para el conjunto del período seco (Junio-Agosto), en el área sin limitaciones por frío para *E.globulus*, cantidades entre 101 y 253 mm, en Betanzos y Boiro, respectivamente.

2- Pluviolavado

Por otra parte, el porcentaje de *interceptación* se incrementa considerablemente, como consecuencia de la menor intensidad de los chubascos y la rápida desecación de las superficies foliares mojadas, obteniéndose en un ensayo realizado en un verano húmedo (1977) valores próximos al 40 %, que se incrementan hasta un 70 % cuando existe un sotobosque de tojo (fig.III.5)(Díaz-Fierros *et al.*, 1982). Los valores estimados para un año medio, en la estación tipo de Santiago, resultan próximos a un 30 %, en eucaliptales y pinares, y a un 40 %, en robledales (tabla III.4 y fig.III.4b).

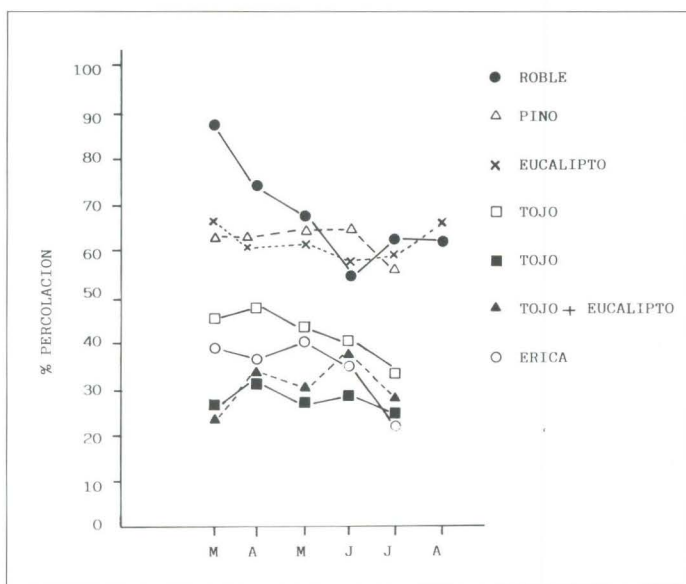


Fig. III.5.- Interceptación de diferentes cubiertas vegetales (*Q. robur*, *P. radiata*, *E. globulus*, *Ulex europaeus*).

3- Evapotranspiración

Si los aportes efectivos de agua se hacen en esta época muy escasos, la situación se agrava por el hecho de que la ETP se incrementa considerablemente con relación a la registrada en invierno, obteniéndose, para el área considerada, una oscilación entre 314 y 399 mm, en Sobrado y Boiro respectivamente. En el caso de la estación que hemos tomado como prototipo, la de Santiago de Compostela, el valor medio de la ETP estival es de 334 mm,

algo inferior al cálculo de la *evapotranspiración potencial forestal* calculada a partir de los datos obtenidos en un verano seco (Paz González, 1982). Según se recoge en la tabla III.3, en los tres tipos de bosque el valor estimado para este parámetro resulta próximo a los 400 mm.

De todas formas, *el consumo real* no puede ser asimilado a la demanda potencial, tal y como considerábamos para el período húmedo. Los valores reales oscilarán forzosamente entre la *demand forestal máxima* (incluyendo evapotranspiración+interceptación) y la *evapotranspiración a savia parada*, es decir, la que tiene lugar una vez agotada la reserva "útil" del suelo. En sistemas con eucaliptal este parámetro representa aproximadamente 1/5 de la ETP (Montero de Burgos *et al.*, 1984), es decir, oscilaría entre 63 y 80 mm, en el área considerada.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los parámetros climáticos de las diferentes estaciones y las correlaciones encontradas entre ellos (Calvo *et al.*, 1979 y Paz González, 1982), podemos estimar que el consumo estival en eucaliptales de Galicia oscila entre 63 y 461 mm, si consideramos la *ETP climática*, o, entre 63 y 514, si se considera la *ET potencial forestal* que hemos calculado anteriormente. Para el año medio de la estación de Santiago de Compostela, obtendríamos un consumo entre 69 y 371 mm (ó 69-436). En el caso de los pinares las cifras oscilan entre 69 y 377mm (ó 69-458). En robledales, entre 69 y 389mm (ó 69-458 mm).

Dado que la demanda resulta siempre superior a la pluviosidad estival, solamente en suelos con una importante reserva sería posible abastecer totalmente las necesidades forestales. En los restantes, se entra inevitablemente en un período de déficit.

Si tenemos en cuenta los valores máximos de la *demand forestal* que hemos estimado anteriormente y los contrastamos con los datos de capacidad de almacenamiento del suelo, recogidos en la tabla III.1, el "suelo ideal" tendría que tener, en el área climática de Santiago, una capacidad de almacenamiento hídrica igual o superior a 280 mm, es decir, habría de presentar un espesor igual o mayor a 1,80 m, para suelos-tipo sobre rocas graníticas, o superiores a 1,00 m, para suelos-tipo sobre esquistos biotíticos (y rocas básicas, en general).

Dado que una gran parte de los suelos forestales no poseen estas propiedades, es decir, dado que se prevé un déficit estival, podemos establecer el término *gasto real* como la suma *precipitación estival + reserva edáfica*. Para la estación de Santiago, supuesto un suelo con una reserva media de 100 mm, puede esperarse un consumo real estival ($I+ET$) de 218, 219 y 236 mm para eucaliptales, pinares y robledales, respectivamente (tabla III.4).

Una síntesis de lo expuesto hasta aquí se recoge en la fig.III.4b (balance periodo seco).

4-Captación de agua-niebla

Una de las características ejercidas por las especies forestales, en general, y que de forma particular se atribuye a los eucaliptos, es la capacidad de interceptar y recoger agua a partir de la circulación de nieblas bajas, suministrándola posteriormente al suelo por goteo. Así, se considera que la producción en áreas con menos de 500 mm de precipitación anual, en Chile y en California, debe atribuirse a la existencia de suelos profundos y presencia de neblinas, nubes bajas y descenso de las temperaturas nocturnas; por el contrario, se citan fracasos de producción en áreas con más de 1800 mm de precipitación, pero con períodos secos desprovistos de compensaciones tales como reserva edáfica, nieblas... (FAO, 1981).

En los bosques australianos se estima que estas precipitaciones ocultas representan valores entre 9,0 y 50,0 mm/año (Lima y O'Loughlin, 1987) y, según Font Tullot (1983), en áreas favorables de la península oscilarían entre 30 y 40 mm/año. Todos los indicios hacen suponer que en Galicia estos procesos pueden ser importantes. Así, los registros de humedad relativa, temperatura nocturna y días de niebla, existentes en verano, son suficientemente expresivos de la importancia que pueden tener estos aportes en comparación con otras zonas repobladas con esta especie (tabla III.5 y fig.III.6). La aparición de humedad en la superficie del suelo bajo eucaliptales y abedules de Galicia, en días sin lluvia, en contraste con los robledales bajo los que no se aprecia el efecto, es atribuida por Molina (1970) a este tipo de procesos.

Por no poseer datos concretos que puedan ser tomados como referencia, no hemos incorporado este parámetro a los balances hídricos realizados, pero es evidente que, de producirse, figuraría en el grupo de las entradas de agua al sistema, dado que a pesar de tratarse de una *intercepción* no supone una "pérdida" de precipitación, sino que, por el contrario, contribuye a la disminución del déficit potencial generado por la vegetación.

* * *

Tabla III.5. Valores medios horarios de humedad absoluta (g/m^3) y relativa (%) y nº medio de días de niebla en verano, en tres puntos de la península con importante repoblación de eucalipto (datos de Font Tullot, 1983).

	LA CORUÑA			CACERES			SEVILLA		
	7h	13h	16h	7h	13h	16h	7h	13h	16h
Julio g/m^3	12,0	12,0	12,5	10,0	9,0	8,0	14,0	14,5	14,0
%	85	72	77	55	27	22	79	40	36
días de niebla (verano)	>20			1			1-5		

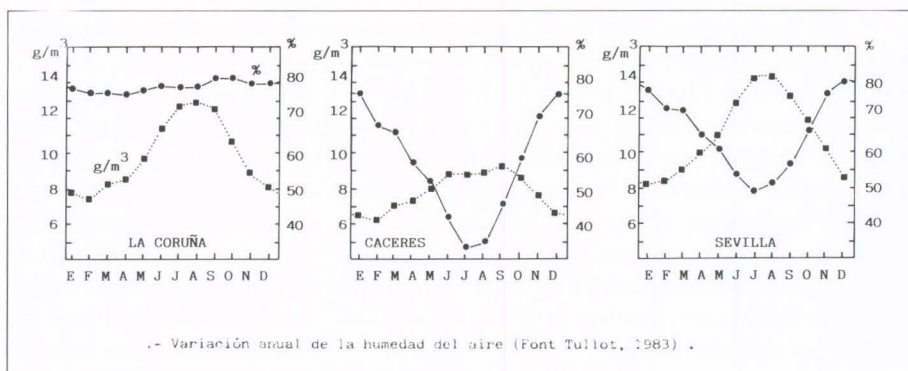


Fig. III.6.- Variación anual de la humedad del aire (Font Tullot, 1983).

5- Balance

Según se desprende de todos los datos recogidos, *el déficit estival real en sistemas forestales de Galicia (Precipitación-Demanda potencial) es similar en robledales, pinares y eucaliptales. Es decir, se puede afirmar que la mayor parte de nuestros suelos agotarían en verano su reserva, fuese cual fuese la vegetación existente.*

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por Lima y O'Loughlin (1987) según las cuales el régimen de humedad bajo diferentes especies forestales es muy diferente según se consideren medios deficitarios o abastecidos de agua. En regiones secas (nuestro período de verano) el régimen de humedad del suelo no difiere entre un bosque de eucalipto, un pinar o un pastizal, mientras que en áreas con suficiente humedad (nuestro período húmedo) los terrenos plantados con eucalipto y pino podrían consumir hasta un 20% más que los cultivos de secano o los pastizales.

Estas afirmaciones parecen contradecir en cierta medida una opinión generalizada y que ha sido descrita en gran parte de las observaciones de campo que manejamos habitualmente. Según éstas, la reserva de humedad del suelo bajo eucaliptales y pinares parece decrecer más intensamente que bajo robledales. Una experiencia realizada por Calvo de Anta y Díaz-Fierros (1982) corrobora estas observaciones, al obtener durante todos los meses de verano unos valores de porcentaje de humedad del suelo inferiores bajo pinares que bajo robledales. Por su parte, Paz González (1982) obtiene bajo eucaliptales y pinares un descenso más rápido de las reservas de un suelo no mal abastecido, que bajo robledales, no obstante agotarse en los tres casos al final del verano.

Según esto, las diferencias principales entre especies forestales (en suelos poco-medio provistos) si no de cantidad, podrían ser de velocidad del proceso de desecación. En la figura III.7 se idealiza la variación del balance de agua en la estación tipo de Santiago de Compostela. Cada punto representa la media mensual de la expresión: *Precipitación+Reserva edáfica-Demanda Potencial Forestal*.

Para los valores de *reserva edáfica* se han considerado tres situaciones probables en Galicia (tabla III.1) 50, 100 y 200 mm. La cantidad establecida para cada mes oscila entre 0 y el máximo permitido, calculándose en base al balance final obtenido en el mes inmediatamente anterior. La *demanda potencial forestal* (I+ET) es la que se recoge en la tabla III.4 y tiene en cuenta valores de ET potencial medios (climáticos y calculados para cada sistema forestal). De la observación de la fig. III.7 se desprende que el comienzo de la sequía tiene lugar entre Mayo y Julio, dependiendo de la reserva, y siempre antes en eucaliptales y pinares que en robledales. El resultado es fácilmente comprensible si se hace un seguimiento mensual del consumo potencial y real en los meses anteriores a Junio (tabla III.4).

Una cuestión que se pone claramente en evidencia a partir de los datos señalados es la existencia forzosa de una competencia estival entre especies y, más concretamente entre las que se abastecen de un mismo volumen de suelo (diferentes estratos del sistema). Así, la germinación y el crecimiento de

especies herbáceas puede verse muy reducida (o anulada) bajo bosques, cuando el espesor del suelo sea tan escaso que ya desde la primavera el árbol comience a abastecerse a partir de las capas más superficiales. Por el contrario, sobre suelos profundos y con texturas equilibradas, o en lugares umbríos o con escasa ETP en primavera y principios de verano, es posible la presencia de una cubierta herbácea bien desarrollada, evidentemente si otras causas no lo limitan (impedimentos mecánicos al crecimiento de la planta, o al paso de la luz, por presencia de restos orgánicos tales como ramas, cortezas... etc).

Por no compartir el mismo espacio, la competencia entre especies arbóreas no es mayor que la que se ejercen entre sí individuos de la misma especie, para un determinado marco de plantación, dado que las mayores demandas netas de eucaliptales y pinares, con respecto a robledales, tienen lugar en la época húmeda. Los riesgos para una u otra especie vendrán siempre de la mano de un mal manejo del sistema (que no contenga la proliferación de plántulas que haga variar la densidad de plantación deseada, p.e.). La menor capacidad de adaptación del roble a las condiciones de sequía (entre otras) lo hace más vulnerable a la competencia y explica, así mismo, su escasa presencia en suelos someros o con escasas precipitaciones. Por lo mismo, el amplio desarrollo que los robledales llegan a alcanzar en algunas zonas siempre encuentra explicación en unas favorables condiciones del medio.

Otra cuestión a plantearse se refiere a la posible captación estival de agua de los acuíferos subsuperficiales por parte de algunas especies arbóreas que desarrollan ampliamente su sistema radicular, como es el caso del eucalipto. Si bien es verdad que esto no supondría nunca un riesgo para la economía global del recurso agua (en una región en la que es desaprovechado un porcentaje elevadísimo de su pluviosidad anual), en determinadas situaciones locales puede darse temporalmente un descenso acusado del nivel en fuentes y pozos, siempre que no sean profundos. Ejemplos de este tipo son relativamente frecuentes en zonas con déficit edafoclimático. En el caso de los pinares, si bien las cifras conducen a esperar situaciones similares, el desarrollo superficial de su sistema radicular limita considerablemente el proceso (de hecho, en suelos profundos bajo pinar, la desecación estival afecta de forma particular a las capas superiores). En robledales no se citan ejemplos, entre otras causas porque no se consiguen bosques bien desarrollados en áreas de fuerte déficit, tal y como hemos señalado.

* * *

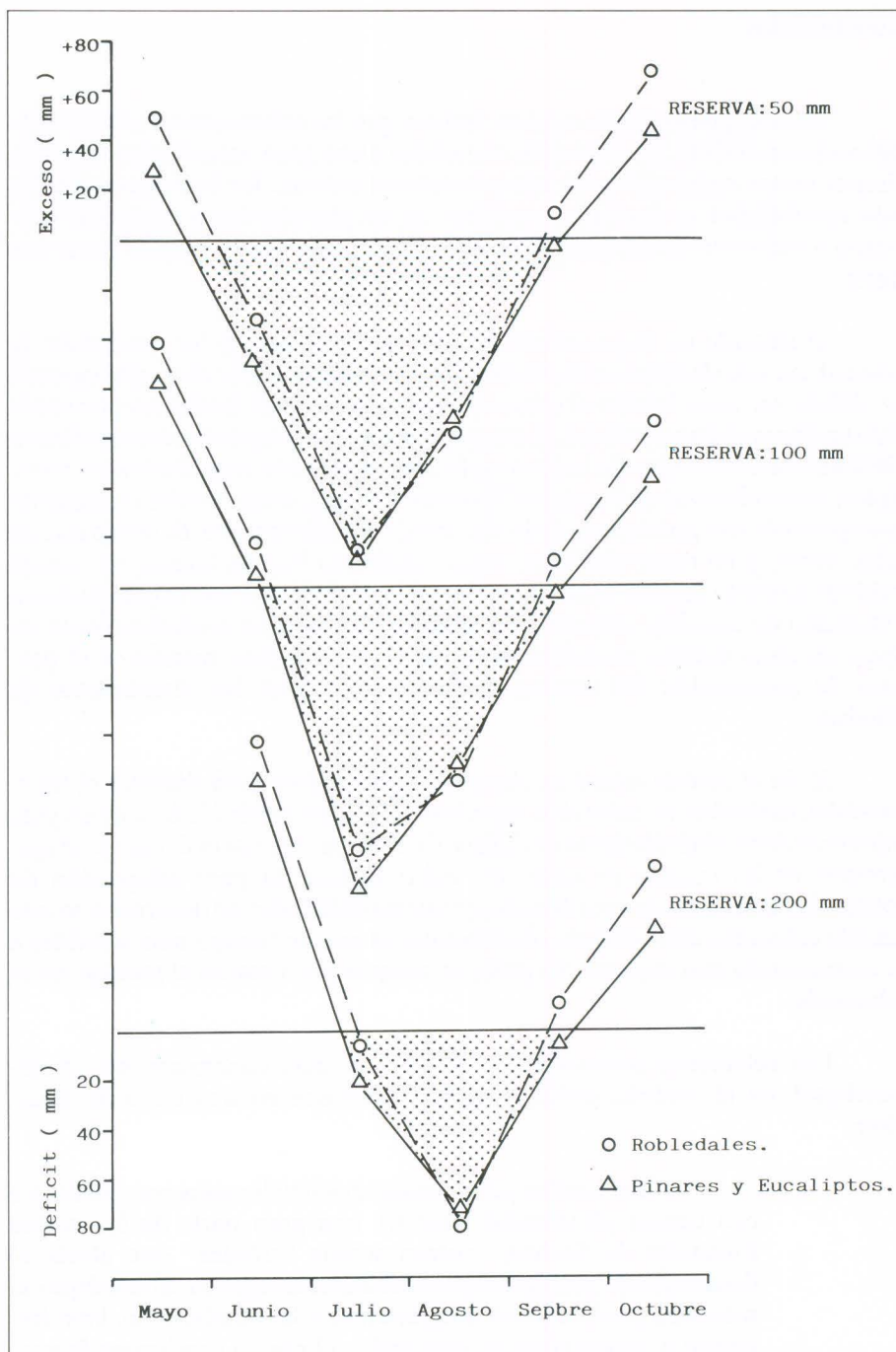


Fig. III.7.- Previsión del comienzo-fin de la sequía en suelos forestales con diferentes reservas (E. tipo de Santiago de Compostela).

Conclusiones

De lo expuesto hasta aquí se deduce que las relaciones eucalipto-agua del suelo, en Galicia, pueden estar sometidas a una gran variabilidad de situaciones, tantas como patrones edafoclimáticos existan. De la importancia de esta variabilidad se deriva la necesidad de un planeamiento particular adecuado a cada una de las posibles zonas. Como conclusión general podemos decir:

1) *Durante un largo período del año, las demandas de los eucaliptales (y pinares) son más elevadas que las de robledales; no obstante, tales demandas suponen en Galicia un gasto inferior al exceso hídrico existente.* Este hecho no por conocido ha de considerarse trivial, al menos si se analiza comparativamente la sensibilidad de otras áreas de la Península con importante repoblación de eucaliptos, como el área meridional de Huelva o Badajoz, cuyas medias anuales de precipitación son próximas a 450 y 500 mm, respectivamente. Es obvio que en tales zonas, y en otras similares, estos resultados han de tenerse en cuenta cuidadosamente cuando se lleve a cabo una planificación con implantación o expansión de aquellas especies, por ejemplo utilizándose exclusivamente las áreas de nivel freático elevado o aplicando un cuidadoso manejo en el proceso de preparación del terreno, como es el caso de las plantaciones de Huelva.

2) *En el período estival las demandas son similares para distintos sistemas forestales, haciéndose en todos ellos superiores a la disponibilidad hídrica de un gran número de áreas edafoclimáticas de Galicia. Con las tres especies es de esperar el agotamiento de las reservas de suelo.* De todas formas, la peor adaptación de robledales a ambientes secos disminuye sus posibilidades de desarrollo en una amplia extensión del territorio, haciéndolos al mismo tiempo más sensibles a la competencia con especies de probada adaptación, cuando el manejo no es adecuado.

Las relaciones suelo-sistema forestal, y más concretamente suelo-eucaliptal, en el período estival, pueden resumirse en tres tipos de situación:

a) Los medios peor abastecidos (suelos someros, porosos o con menor pluviosidad estival), una gran parte de los suelos forestales de Galicia, sufren sequía "crónica" que afecta al desarrollo de cualquier aprovechamiento agrario. El eucalipto se mantiene pasivamente, adaptándose a las condiciones, bien frenando o paralizando su desarrollo: el medio condiciona la producción, pero ésta no incide negativamente sobre aquel (fotos III.1 y III.2)

b) Los suelos profundos, de textura equilibrada, bien estructurados y ricos en materia orgánica, o los situados en las áreas con menor rigor climático (y evidentemente los que tienen la capa freática accesible), pueden soportar altos rendimientos a muy bajo o ningún costo (fotos III.3 y III.4). En ellos no se da la competencia con otras especies, al menos en términos de lucha por el agua.

c) Por último, los medios de características intermedias, en los que las condiciones climáticas o edáficas permiten el mantenimiento de una cierta reserva hídrica y, consiguientemente, un desarrollo vegetal estival no desdeñable (fotos III.5 y III.6), pueden ver comprometida su reserva por la plantación de un eucalipto, que compite ventajosamente con otras especies vegetales y puede afectar, incluso, a ocasionales acuíferos superficiales, que no a los profundos.

Una evaluación global de la importancia que adquieren en Galicia estas tres situaciones se recoge en la fig. III.8.

Obviamente, y ateniéndonos exclusivamente a las relaciones producción-consumo de agua, una planificación de los bosques de eucalipto puede hacerse atendiendo a diferentes criterios, según se considere de mayor interés el aprovechamiento de madera o el hídrico:

1) Utilización preferente de las áreas óptimas y las bien dotadas (áreas 1, 2 y 3 de la fig. III.8), evidentemente sin pretender, en las últimas, simultanear con la permanencia de otras especies que también podrían alcanzar aquí elevados desarrollos y considerando, incluso, la posibilidad de suministrar pequeñas cantidades de agua a algunas zonas, como se hace habitualmente con algunas choperas o con los cultivos de mayor interés.

2) Utilización preferente (y siempre que haya posibilidad de producción) de los terrenos menos sensibles por poseer una fuerte tendencia "natural" a la sequía (áreas 4 y 5 de la fig. III.8), en este último caso a costa de una disminución del rendimiento, pero con la ventaja de disponer de una amplia extensión de territorio y de tratarse de terrenos generalmente poco aptos para otros usos (a excepción de pastizales pobres y matorrales) y, en muchos casos, agradecidos a una plantación forestal que los proteja contra la erosión. Lógicamente, incluso en estas áreas es necesaria una planificación cuidadosa, no sólo por el evidente papel que estos sistemas pueden jugar en el paisaje o por el tradicional aprovechamiento agronómico de muchos de nuestros matorrales, síntoma de una agricultura poco pujante pero que aún hoy es una realidad en muchas zonas de Galicia, sino por otros criterios de índole social.

En algunas zonas del territorio el abastecimiento doméstico del agua depende, todavía hoy, de pozos unifamiliares. Si el calado es poco profundo, en los períodos de verano pueden verse comprometidas las expectativas de abastecimiento de la población.

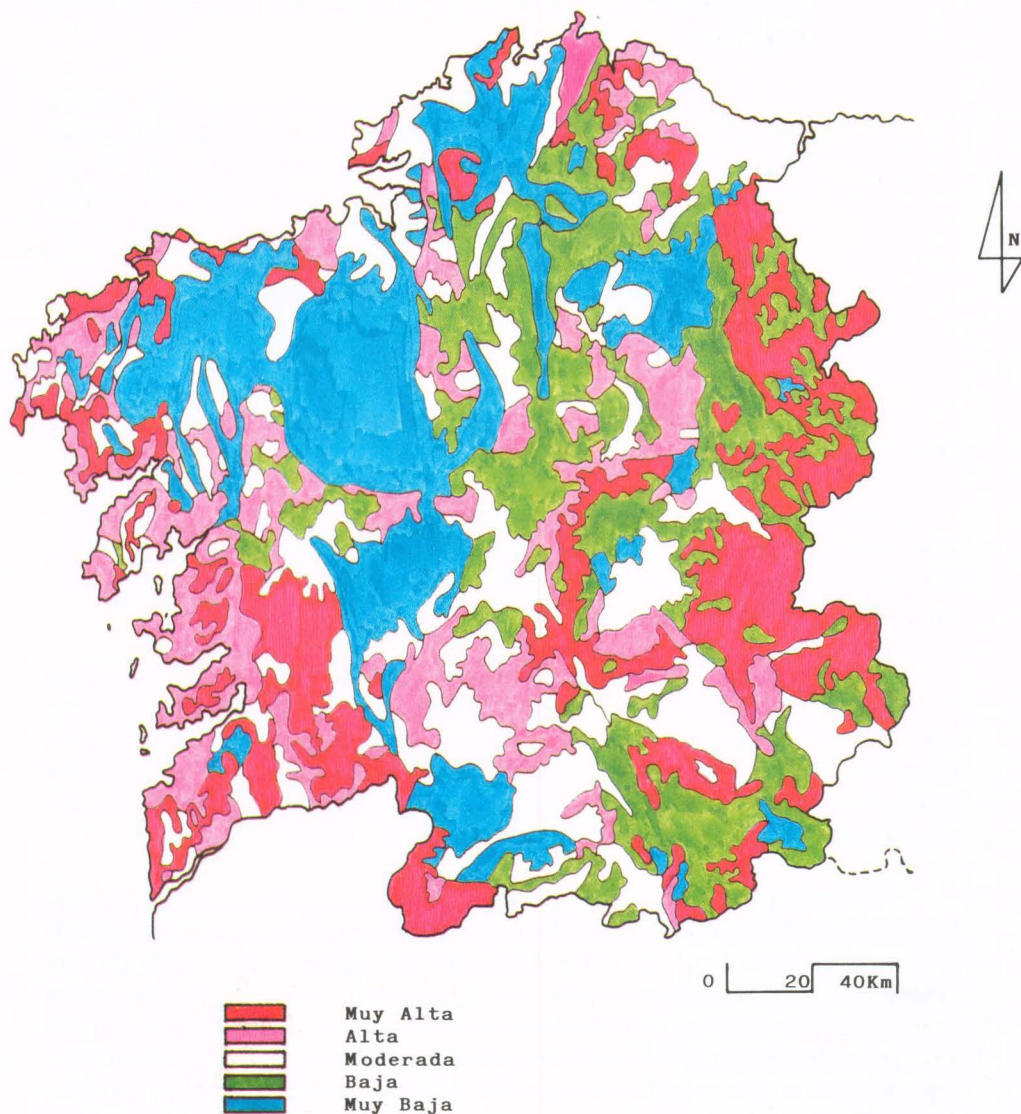


Fig. III.8.- Sequía estival en suelos de Galicia y sensibilidad al consumo de agua por especies de alta demanda.

Areas 1 y 5 - Muy baja sensibilidad

Areas 2, 3 y 4 - Sensibilidad variable (acortamiento del período con reserva edáfica).



Foto III.1. Suelos con baja reserva de humedad en el municipio de Redondela: alta sequía estival inherente a las condiciones edafo/climáticas.



Foto III.2. Paisaje con suelos esqueléticos: alta sequía estival edafo/climática. Baja sensibilidad frente a vegetaciones con alta demanda.



Foto III.3. Suelos con una elevada reserva de agua en el municipio de Ordenes. Acusan baja sensibilidad frente a una vegetación de alta demanda.



Foto III.4. Idem, foto III. 3. Perfil de suelo.



Foto III.5. Suelos con una reserva de humedad media en el municipio de Pontevedra. Susceptibilidad variable a la sequía estival frente a especies de alta demanda.



Foto III. 6. En determinadas zonas la ubicación de plantaciones con alta demanda puede afectar a acuíferos superficiales y comprometer el suministro de pequeñas poblaciones que continúan abasteciéndose por esta vía.

SEGUNDA PARTE

**El Eucalipto y la disyuntiva
producción/conservación**

CAPITULO IV

Aptitud de Galicia para la producción de Eucalipto

Generalidades

Los eucaliptos son árboles de origen austro-malayo, con una dispersión natural en latitudes que se extienden desde 7°N a 43°39'S (FAO, 1981). La mayor parte de las especies son endémicas de Australia, sobre todo del vértice sureste y de la isla de Tasmania, encontrándose hoy en día la mayoría de ellas y los mejores rodales al sur del Trópico de Capricornio.

España ocupa el tercer lugar, después de Brasil e India, en cuanto a superficie plantada, normalmente entre las latitudes de 36° a 43°45'N. Son importantes dos regiones, el suroeste (Huelva, Badajoz, Sevilla y Cáceres, por este orden) y el noroeste (La Coruña, Lugo, Pontevedra, Santander, Oviedo...). Las especies más implantadas son *E.globulus* y *E.camaldulensis*.

El *E.globulus* tiene como principales limitantes, en ambas regiones, las heladas y las bajas temperaturas (que afectan de forma particular a individuos jóvenes, sobre todo en presencia de nieblas), los vientos fuertes, los suelos calcáreos, los salinos, la sequía, la hidromorfía, las rociaduras salinas en las proximidades a la costa...

El *E.camaldulensis* ha sido extensamente plantado en las provincias cálidas del suroeste (Badajoz, Huelva, Cáceres...). Es más tolerante a las heladas cortas, lugares secos y mal drenados..., aunque no se adapta bien a suelos salinos y calcáreos.

La presencia de otras especies es minoritaria. Concretamente en Galicia se citan como ensayos o experiencias muy localizadas *E.resinífera*, *E.diversicolor*, *E.regnans*, *E.oblicua*, *E.mackearturi*, *E.delegatensis*, *E.dalrympleana*, *E.viminalis*...

***Eucalyptus globulus*: su adaptación a las condiciones de Galicia**

El *E.globulus* es la especie más extensamente representada en el mundo. La región de implantación en donde alcanza mayor concentración es en la península Ibérica, en donde existen extensiones productivas que representan el 90 % de las europeas y más de la mitad de las mundiales (FAO, 1981). En la fig.IV.1 se recoge la extensión ocupada actualmente en diferentes provincias de España.

Según parece, la entrada de esta especie en Europa se produce en Portugal en 1829. En España tiene como punto de entrada Galicia, en donde la primera cita data de 1863, aunque es muy probable que haya penetrado hacia 1860 desde Portugal, por Tuy; no obstante, varias fuentes señalan como origen el envío de algunas semillas desde Australia por Fray Rosendo Salvado, evangelizador de aquellas tierras, a su familia de Tuy, hacia 1860. En 1870 se cita su presencia en las riberas del Sor, al norte de la región. Desde Galicia se extendió rápidamente por la cornisa cantábrica (Asturias, Santander, Vizcaya...).

En principio la introducción del *E.globulus* en Galicia tuvo motivos de interés botánico u ornamental. Más tarde, fue utilizado como árbol típico de lindes de caminos o fincas, pero su elevada productividad, unida a su frugalidad y plena adaptación a las condiciones naturales de una amplia extensión del territorio, motivaron su utilización en las tareas de repoblación con fines de aprovechamiento maderero, a comienzos del siglo actual. En 1944 se firma el primer consorcio de un monte comunal para utilización industrial (Puerto, 1986). En las décadas de los 50 y 60 continúan las repoblaciones, que se frenan más tarde por problemas en el sector debidos a los bajos precios y a las escasas posibilidades de uso como madera de muebles y para la construcción. En la actualidad la repoblación vuelve a verse incentivada, si bien la extensión de esta especie se produce en muchos casos de forma espontánea, regenerándose con enorme facilidad, tanto a partir de rebrotes de tallos y

tocones como por germinación de las semillas, resistiendo de forma particular determinadas contingencias que afectan seriamente a otras especies, como son los incendios. Lo que era una planta exótica se muestra hoy en Galicia como una especie *subespontánea* (Rigueiro, 1989), que puede aparecer desplazando pinares y cubriendo áreas de matorral y pastizal.

Desde su introducción, hace aproximadamente 130 años, hasta 1986, la superficie en la que aparece *E.globulus* en Galicia alcanza unas 235.000 Ha, entre masas puras y mixtas (2º Inventario Forestal- Avance, 1988) (tabla IV.1), una parte importante de las cuales no responde a una repoblación intencionada, tal y como hemos comentado.

Estas cifras representan un 21 % de los terrenos arbolados y un 8 % de la superficie total. La provincia de La Coruña, con un 61 % de las masas puras (y un 63 % de las mezclas pino+eucalipto) es la que muestra una mayor representación. Le sigue de lejos la provincia de Pontevedra (un 27 y un 20 %, respectivamente). Las plantaciones de la provincia de Lugo son de menor importancia y se restringen a la zona norte. En Orense apenas hay representación (tabla IV.1).

Tabla IV.1. Distribución de superficies arboladas en Galicia, en 1986 (montes arbolados y otros terrenos arbolados) (2º Inventario Forestal, 1988).

	GALICIA	Publ/Pr.	L.C.	L	O	P
	Ha	%	%	%	%	%
P.pinaster	303.209	76/24	44,0	14,5	27,5	14,0
P.radiata	23.142	21/79	45,4	46,8	1,4	6,4
Pinos y Eucaliptos	187.545	96/4	62,8	16,8	<0,01	20,4
Pinos y otras fron.	276.299	76/24	11,2	64,1	20,1	4,6
Eucaliptos (m.puras)	38.512	86/14	61,0	12,1	<0,01	26,9
Eucal. y otras fron.	8.942	95/5	43,0	18,0	<0,01	39,0

(LC: La Coruña; L:Lugo; O: Orense; P:Pontevedra)

Sin embargo estos datos recogidos del inventario oficial no coinciden plenamente con los suministrados por la Asociación de Pasta Papelera y la Asociación Nacional de Fabricación de Papel y Cartón, en 1990, que dan cifras algo inferiores, no superándose un valor global para Galicia de 150.000 Has (entre masas puras y mixtas) (fig. IV.1). Por otra parte parece registrarse en estos años un avance de las repoblaciones en la provincia de Lugo, que llega a adelantar a la de Pontevedra.

Prácticamente el 100 % de los eucaliptales se asientan en terrenos de *monte arbolado*, es decir, monte alto, medio, bajo y repoblaciones. Apenas existen eucaliptos en plantaciones lineales y riberas. Por otra parte, más de un 86 % (y en ocasiones hasta un 96 %) de las plantaciones corresponden a terrenos de propiedad privada, lo que es común a otros terrenos forestales, a excepción de las masas puras de *P.radiata*, el 79 % de las cuales es de propiedad pública (tabla IV.1 y IV.2).

Tabla IV.2. Distribución de la superficie agronómica de Galicia. 1986 (2º Inventario Forestal, 1988) (Ha).

	La Coruña	Lugo	Orense	Pontevedra	TOTAL
Monte arbolado	344.536	298.496	197.836	142.047	982.915
Otros T. arbolados	8.818	100.391	13.820	3.269	126.298
Matorral y pastizal	135.712	279.405	319.238	143.609	877.964
Cultivos y praderas	294.856	299.208	193.738	151.309	939.011
TOTAL	783.922	977.500	724.632	440.134	1.926.183

Características climáticas de Galicia

La comprensión de la enorme adaptación que presenta el eucalipto en nuestro medio es fácil si se consideran las condiciones climáticas en sus lugares de origen, y en otros en los que se ha implantado con éxito, y se las compara con las existentes en una parte del territorio de Galicia (fig. IV.2 a IV.5).

En el sur de Australia y Tasmania se producen lluvias de distribución invernall o uniforme, con un valor anual entre 500 y 1500 mm; la estación seca dura hasta 3 meses (y no es rigurosa); la temperatura media del mes más cálido oscila entre 18 y 23°C; la temperatura media del mes más frío es de 4°C; heladas:0-5 (FAO, 1981).

La sensibilidad al frío es la limitación más sobresaliente a la presencia del *E.globulus* en una región. Se han señalado temperaturas de -6°C y -7°C como umbrales de resistencia en individuos maduros, aunque la cifra recogida más frecuentemente es de -8°C (Lacaze, 1963). Los individuos jóvenes son mucho más sensibles, de modo que periodos de varias horas con temperaturas superiores a 0°C, pero inferiores a 5°C, en ambientes saturados de humedad, pueden eliminar totalmente su capacidad productiva. Esto explicaría la aparente paradoja que se da en Galicia entre algunos fondos de valle con heladas "no excesivamente bajas" pero con nieblas invernales persistentes, en los que se observa un excaso desarrollo, y otras áreas de mayor altitud y heladas algo más rigurosas, pero carentes de nieblas, con crecimientos aceptables. Otro factor negativo es el viento asociado a las bajas temperaturas.

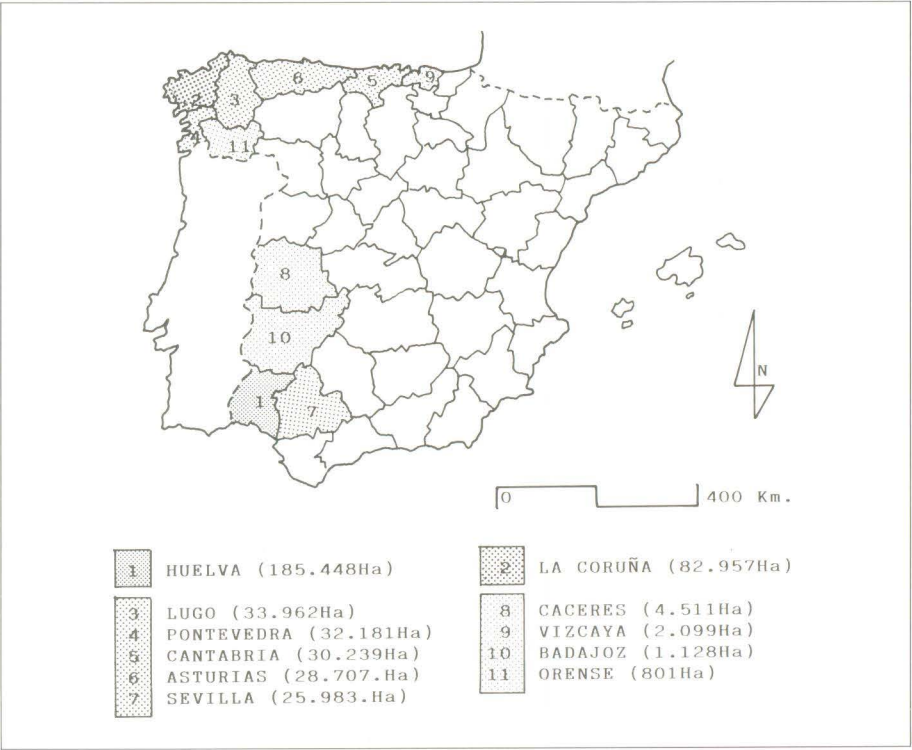


Fig. IV.1.-Plantaciones de *E. globulus* en España (provincias con más de 800 Ha). (Fuente: Asociación Nacional de Pasta Papelera; Asociación Nacional de Pasta de Papel y Cartón, 1990).

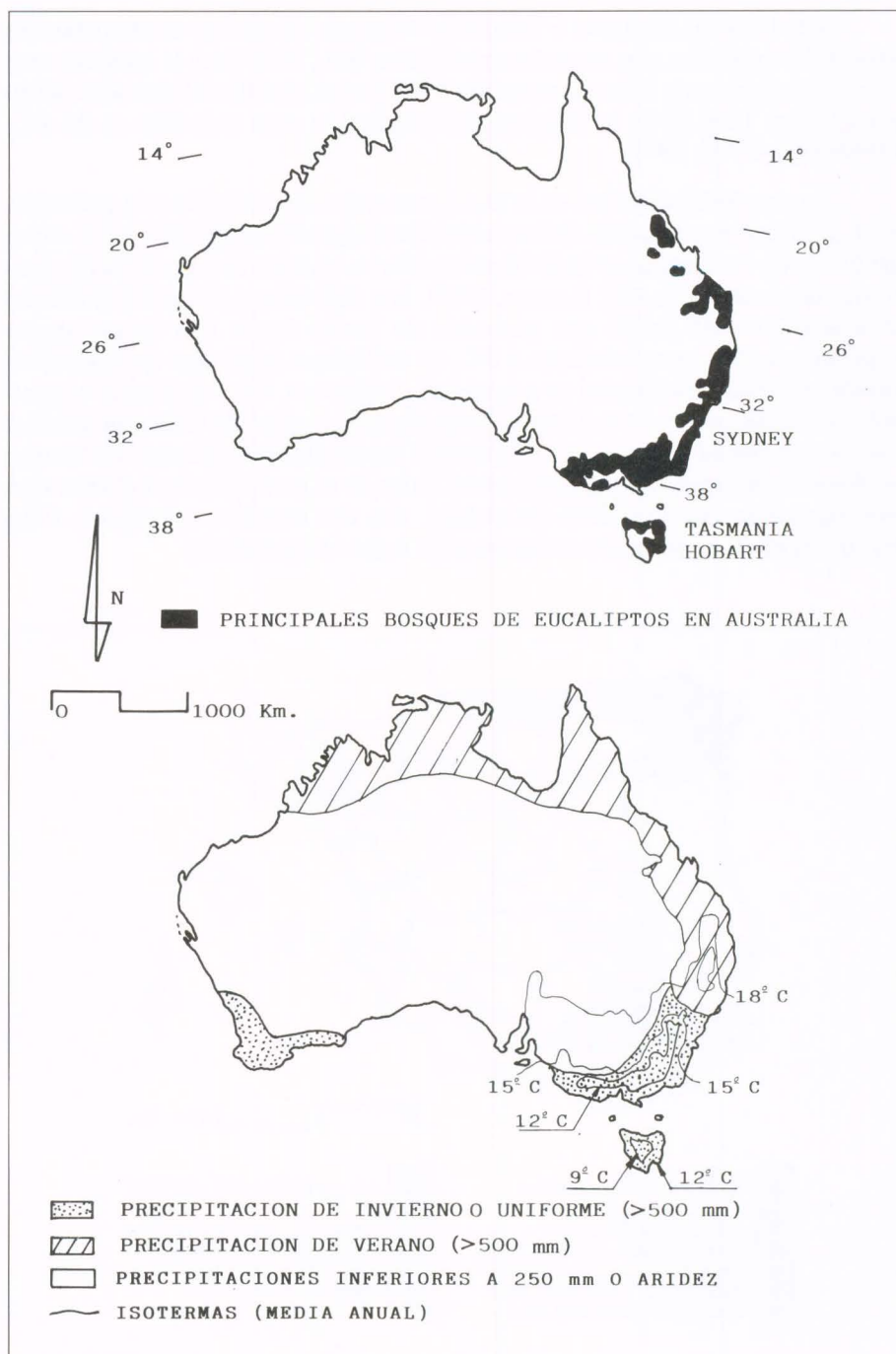


Fig. IV.2.- Situación de los principales bosques de eucalipto en Australia y características térmicas y pluviométricas.

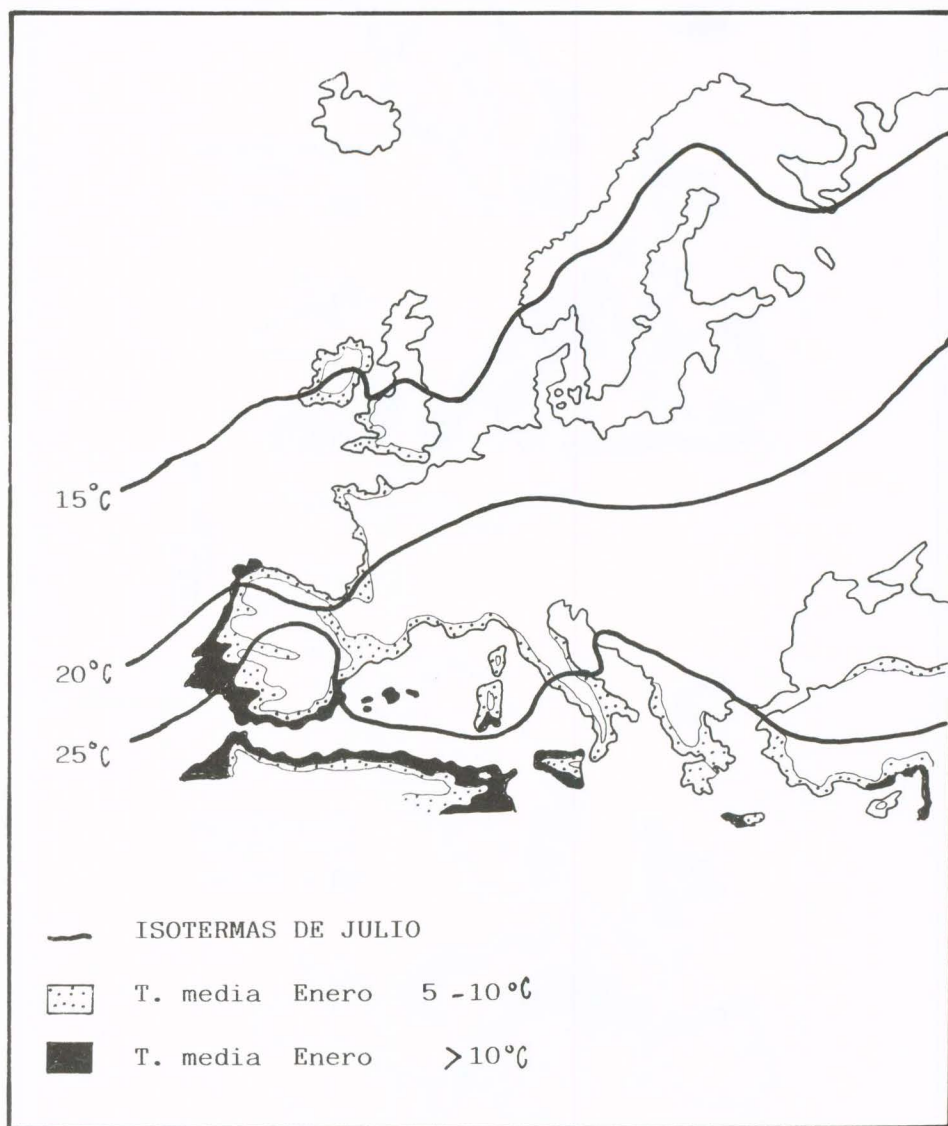


Fig. IV.3.- Europa: Isotermas del mes de Julio y temperatura media del mes de Enero.

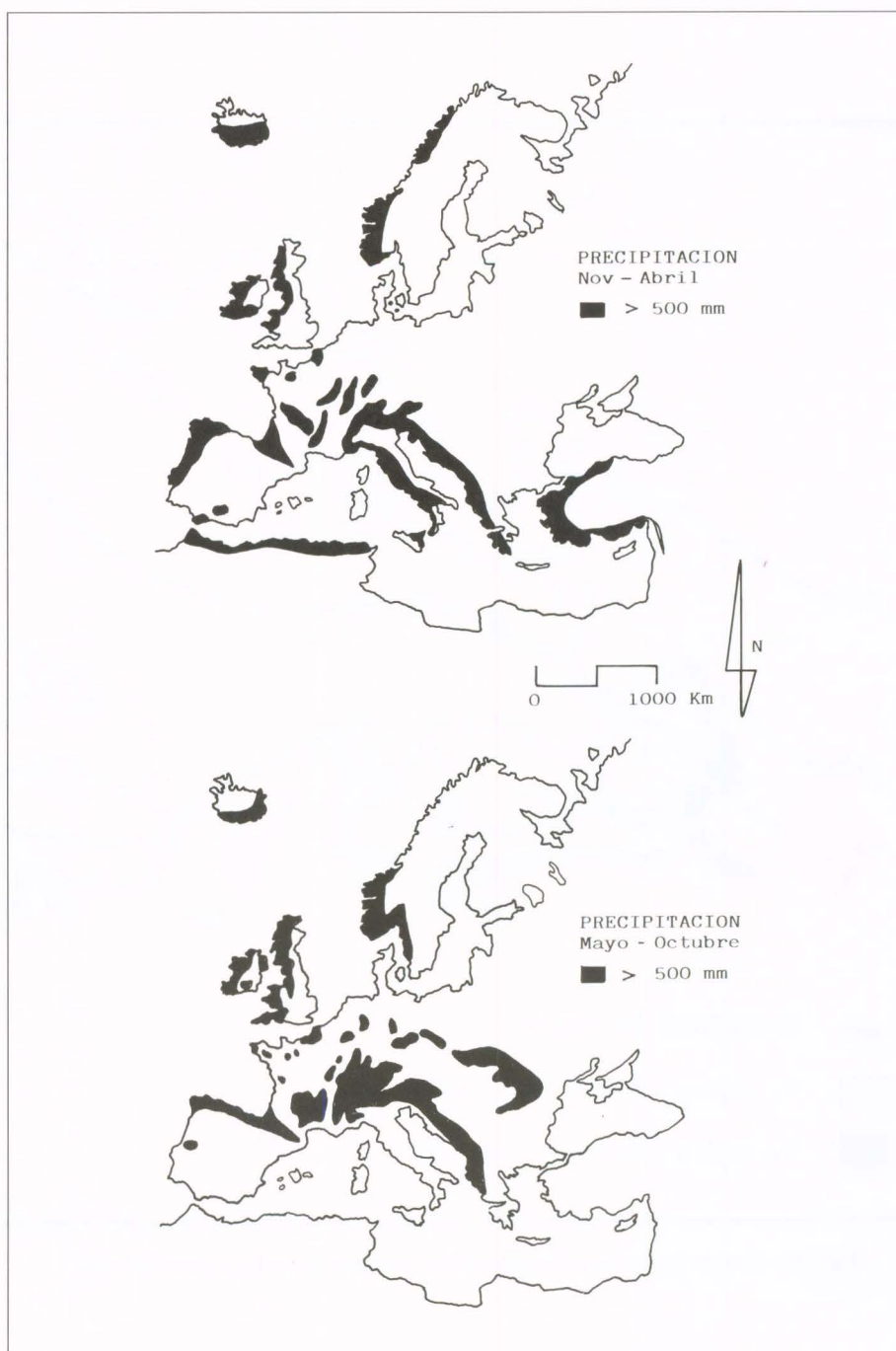


Fig. IV.4.- Europa: Precipitación media en diferentes períodos del año (áreas con > de 500 mm en algún período).

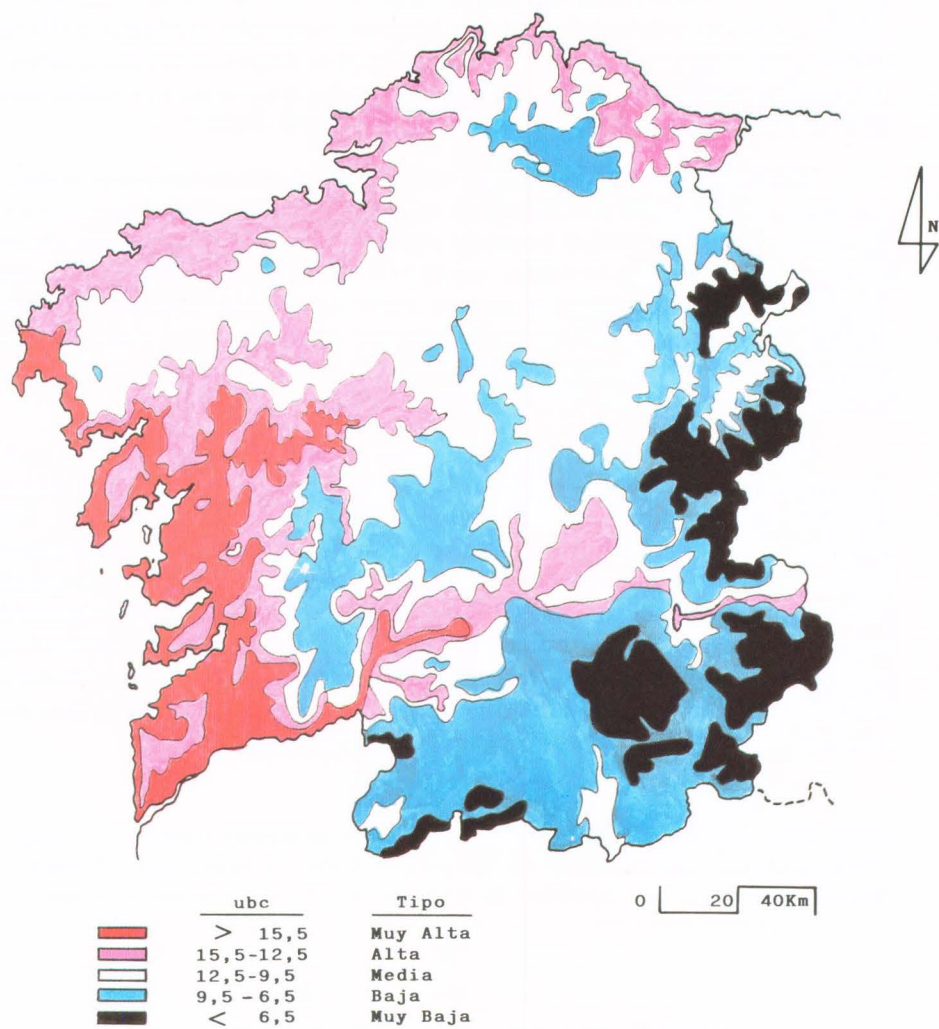


Fig. IV.5.- Intensidad Bioclimática Potencial en diferentes partes de Galicia (Carballeira *et al.*, 1985).

La diversidad climática interanual debería ser considerada a fin de adecuar los años de menor riesgo con los de las primeras etapas de crecimiento de las plantaciones.

En cuanto a las necesidades hídricas los datos son menos rígidos. En general se acepta como regiones más favorables las que presentan una precipitación anual superior a los 900 mm. No obstante, se han señalado fracasos en zonas con valores anuales superiores a los 800 mm, pero con una distribución irregular y sin existencia de compensaciones tales como nieblas, reserva edáfica...etc. Por el contrario, con precipitaciones anuales inferiores a 500 mm y hasta con cuatro meses de estación seca, pueden darse crecimientos más que aceptables cuando se planta en suelos profundos o en áreas con nubes bajas, como sucede en muchas zonas de sur y suroeste de España.

En las fig. IV.3 a IV.5 se recogen las variaciones de los citados parámetros en Europa. Claramente se destacan favorablemente determinadas zonas de la Península Ibérica, y particularmente una parte del territorio de Galicia, con lluvias de distribución invernal, cantidades anuales de precipitación superiores a 1000 mm, una estación seca no rigurosa (elevada saturación del aire, nieblas...) menor o igual a 3 meses, una temperatura media del mes más cálido entre 18 y 20°C, una temperatura media del mes más frío superior a 5°C y más de 250 (o incluso más de 300) días libres de heladas a 0°C.

Si se comparan los índices bioclimáticos de la estación de Hobart, en la isla de Tasmania, con los de las estaciones de Oviedo y Santiago de Compostela (Montero de Burgos y Montero de Juan, 1984 y Montero de Burgos, 1990) se observa más claramente este fuerte paralelismo (tabla IV.3). Así, tanto el Índice Bioclimático Potencial (IBP), que representa la productividad agrícola de un clima en regadío, como el Índice Bioclimático Libre (IBL), que representa la productividad forestal, resultan incluso más elevados en las dos estaciones españolas consideradas que en la estación de origen tomada como referencia. Es decir, se darían en nuestro territorio unas condiciones climáticas muy similares a las de las mejores estaciones del área originaria.

Tabla IV.3. Índices bioclimáticos de las estaciones de Hobart, Oviedo y Santiago de Compostela (datos de Montero de Burgos y Montero de Juan, 1984 y Montero de Burgos, 1990) (para una capacidad de retención de 100 mm y escorrentía nula).

	IBP ubc	IBL ubc	TBL °C
Hobart (Tasmania)	11,4	7,9	13,4
Oviedo	11,9	11,5	15,4
Santiago de Compostela	13,6	11,2	15,5

Si Santiago de Compostela parece presentar unas mayores cualidades climáticas que Oviedo, la observación de la fig. IV.5 permite reconocer zonas de Galicia con mejor aptitud que Santiago, al menos desde el punto de vista térmico, superándose las 15,5 ubc, en términos de IBP. Estos resultados permiten comprender la expresión generalizada de que Galicia y el norte de Portugal constituyen uno de los lugares climáticamente ideales para el *E.globulus* (FAO, 1981).

Datos de productividad

Los valores de producción obtenidos en Galicia, en comparación con los de diferentes lugares del mundo, responden perfectamente a las anteriores expectativas.

Así, según datos recogidos por la FAO (1981), el incremento medio anual resulta ser de 45 m³/Ha/año (en términos de volumen con corteza por Ha), para rodales de 12 años, en las tierras de 1ª categoría del norte de España, considerablemente superior al obtenido en otras regiones de la península y fuera de ella (fig. IV.6). En las mejores estaciones de Galicia se han señalado valores incluso superiores a 60 m³/Ha/año (como es el caso de algunas de las plantaciones del municipio de Cerdido).

Por otra parte, según los datos obtenidos por Molina (1970) y, posteriormente, por Fernandez Lopez (1983), el crecimiento medio obtenido en el segundo turno resultó siempre superior al del primero, en terrenos de diferente categoría y en rodales de distinta edad (fig. IV.7).

Es de destacar que el incremento medio anual en los sitios de peor calidad resulta próximo a 14 m³/Ha/año, según los datos medios recogidos por Pita Carpenter (1966) para el norte de España (fig. IV.6), y se encuentra entre 7 y 12 m³/Ha/año en las peores estaciones de la provincia de Pontevedra analizadas por Fernandez Lopez (1983). Es decir, incluso en el peor de los casos (dentro de las zonas con aptitud para el desarrollo de la especie) se supera el umbral de 6 m³/Ha/año que el USDA de los EEUU establece para reconocer las tierras más aptas para el desarrollo forestal (Prime Forest Land). El valor más comunmente aceptado como media anual de producción de *E.globulus*, en Galicia, es de 20 m³/Ha.

Y todo esto se alcanza, salvo excepciones, con una técnica selvícola prácticamente nula, sin fertilización, con una insuficiente preparación del terreno, sin considerar la adecuada densidad de plantas, turnos de producción, clareos, podas, técnicas de corta, control de plagas, selección de variedades... y, sobre todo, con una deficiente estructura del monte,

fundamentalmente por problemas de minifundio (téngase en cuenta que Galicia tiene 5 millones y medio de parcelas, con un tamaño medio de 0,41 Ha), riesgos de incendios, deficiente asistencia e información selvícola...

Conociendo las importantes limitaciones que ofrece buena parte del territorio de Galicia para usos agronómicos, tanto cultivos como praderas y bosques, es muy lógico que los datos que aporta el eucalipto puedan ser interpretados como un enorme privilegio: Se trata de la especie de secano de mayor producción, capaz de utilizar terrenos de muy baja fertilidad, con una fuerte demanda en el mercado y prácticamente sin competencia en el ámbito europeo.

Como datos de referencia comparativa a las cifras de producción recogidas anteriormente para *E.globulus*, en Galicia, pueden señalarse como valores medios citados por diferentes autores: una producción de 12 m³/Ha, para *E.camaldulensis*, en lugares en donde ya las heladas comienzan a limitar el desarrollo de *E.globulus* (a 450 m de altitud); de 6-8 m³/Ha, para *P.pinaster* y de 12 a 14 m³/Ha para *P.radiata*.

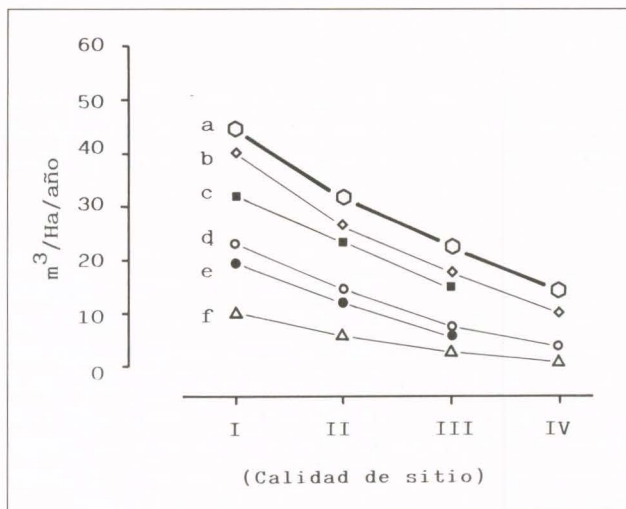


Fig. IV.6.- Incremento medio anual de *E. globulus* en diferentes regiones (volumen con corteza/Ha; turnos de 12 años) (FAO, 1981):

- a) Norte de España (Pita Carpenter, 1966)
- b) Portugal Norte (Informe Nac. Portugal)
- c) India (Nilgiri) (Inf. Nac. y Strets, 1962)
- d) S.O. de España: suelos de pizarra y esquisto (Min. de Agricultura)
- e) Portugal Sur (Inf. Nac. Portugal)
- f) S.O. de España: suelos arenosos (Min. de Agricultura)

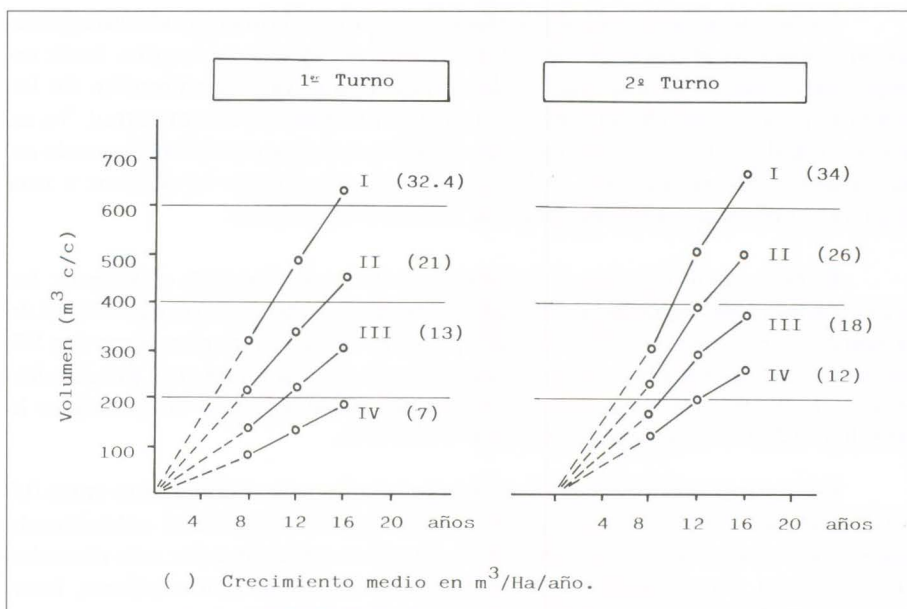


Fig. IV.7.- Productividad en diferentes turnos en la provincia de Pontevedra (datos de Fernández López, 1983).

La importancia real que alcanza actualmente la producción de *E.globulus* en Galicia puede desprenderse de las siguientes cifras, correspondientes a las existencias en 1986 (Inventario Forestal, Xunta de Galicia, 1988):

Montes arbolados:

Eucalipto (masas puras):	38.505 Ha
Eucaliptos + Pinos:	187.360 "
Eucal. y otras frondosas:	8.751 "
TOTAL Has	234.616
TOTAL $\text{m}^3 \text{ c/c}$	14.623.568
TOTAL $\text{m}^3/\text{año c/c}$	1.600.000

Es decir, en sólo un 8 % del territorio de Galicia, del cuál, únicamente una sexta parte tiene masas puras de eucalipto, se obtiene una producción que representa el 40 % del consumo generado actualmente en España (unos 4 millones de $\text{m}^3/\text{año}$).

La demanda es creciente. La madera es quizás el único producto agrario en que, tanto en el conjunto de la CEE como en España, se camina hacia un importante déficit. A una mayor demanda se une una disminución de las reservas en los países tropicales (y su propio incremento de consumo). Ya en la actualidad se produce en España un déficit anual de unos 0,7 millones de m³ de madera, que se importa, y las previsiones de futuro se acercan a una demanda próxima a los 6 millones de m³, en 15 o 20 años.

Es bien cierto que una intensificación de la producción, utilizando las áreas actualmente repobladas en Galicia, daría cifras muy próximas al total de la demanda prevista. Es decir, 234.616 Ha convertidas en masas puras (un 8% del territorio) generarían unos 4,7 millones de m³/año, con una producción media de 20 m³/Ha/año, y unos 5,9 millones de m³/año, si se mejora la productividad media hasta unos 25 m³/Ha/año.

Estas cantidades podrían ser incrementadas, previsiblemente entre 0,5 y 0,9 millones de m³/año, si se repueblan algunas superficies actualmente dedicadas a matorral y, evidentemente, las cifras serían mucho más elevadas si se llegan a comprometer algunos terrenos forestales con coníferas, frondosas... o cultivos.

No obstante, la intensificación o expansión de las plantaciones de eucalipto requiere una planificación cuidadosa, en la que se tengan en cuenta diferentes aspectos.

Clases de Aptitud

Obviamente, no todo el territorio de Galicia presenta igual aptitud. Por una parte las condiciones climáticas, sobre todo las relacionadas con el frío, no son igualmente aceptables en todos los puntos. Por otra parte, aunque los condicionantes edáficos son, desde el punto de vista de fertilidad o toxicidad, mínimos (a excepción de determinadas áreas excesivamente próximas al mar), si el espesor de suelo es muy escaso y las texturas son gruesas se ve reducida la capacidad de retención de agua y, por lo tanto, las posibilidades de desarrollo en el período seco. Los vientos, especialmente en áreas de suelos poco profundos que originan un enraizamiento superficial, son también un fuerte factor limitante, sobre todo para la producción de árboles singulares.

No descartando la posibilidad de otros usos diferentes del productivo, que en modo alguno podemos decir que den preferencia a esta especie sobre otras, nos limitamos aquí a sectorizar el territorio según 6 Clases de Aptitud a la producción, que establecemos desde un punto de vista relativo, dado que,

como hemos visto, en un contexto europeo (y hasta mundial) una Clase definida por nosotros como de *aptitud media* podría resultar, en comparación con otras regiones, de *aptitud elevada* o *muy elevada*.

Al no poseer suficientes datos de producción que relacionen integradamente las condiciones de clima (microclima, orientación, vientos, nieblas estivales...etc) y suelo (espesor, textura, estructura, reserva de humedad fertilidad...), la sectorización cartográfica de las Clases de Aptitud no puede realizarse definiendo de forma precisa la producción anual neta, lo que resulta tanto más difícil de asegurar cuanto más detallada sea la escala cartográfica utilizada. No obstante, pueden utilizarse como referencia lógica de los valores extremos, mínimo y máximo, de las Clases definidas, los datos de producción que señalan los técnicos forestales de Galicia como indicativos de terrenos de diferente calidad para la especie y variedad utilizadas comunmente en Galicia, que hemos comentado anteriormente. Como es lógico suponer, la mejora en las técnicas silvícolas (fertilización, mejora genética...) podrán elevar la productividad, no obstante es probable que la sectorización del territorio permeciese según un mismo orden relativo de jerarquías.

Definición de las Clases de Aptitud propuestas en este estudio

El esquema de clasificación que se recoge a continuación ha sido elaborado teniendo en cuenta los aspectos limitativos que hemos señalado hasta aquí, para *E. globulus*, a los que se ha valorado según umbrales y orden de importancia de acuerdo a hipótesis sucesivas y contraste con las propias observaciones de campo. En este momento está en marcha un estudio que probablemente permita un perfil más elaborado de cada clase (Calvo y Riveiro, 1992):

Clase I- *Aptitud óptima*: Zonas con un riesgo mínimo de heladas (más de 300 días libres de heladas a 0°C); régimen térmico caracterizado por un IBP superior a 12,5 ubc; alta reserva de humedad del suelo y/o una distribución/cantidad de precipitación que condicionan un riesgo de sequía estival muy bajo (inferior a 50 o incluso a 25 días); sin hidromorfía; sin riesgos de toxicidad; fertilidad del sustrato media-alta dentro del marco de posibilidades del territorio.

Clase II- *Aptitud muy buena*: Otras áreas que, presentando similares condiciones en cuanto a fertilidad, tengan una reserva de humedad edáfica y/o una cantidad/distribución de la precipitación tales que condicionen una sequía estival próxima a los 50 días, o áreas con un período libre de heladas (a 0°C) entre 250 y 300 días o un IBP entre 9,5 y 12,5 ubc.

Clase III- *Aptitud buena*: Suelos de espesor y características de fertilidad variables, con una reserva edáfica o una distribución/cantidad de la

precipitación que condicionan un riesgo de sequía próximo a 50 días; más de 250 días libres de heladas.

Clase IV- *Aptitud aceptable*: Otras áreas, óptimas desde el punto de vista térmico pero limitadas por falta de espesor (< 35 cm), reserva, pendiente y fertilidad del suelo; o áreas con buenas a muy buenas características edáficas pero con un riesgo de heladas superior al señalado en la clase III.

Clase V- *Aptitud baja*: Otras áreas con severas limitaciones por escasez de suelo (< de 35 cm), reserva, pendiente y fertilidad; o áreas con buenas a muy buenas características edáficas pero con un período libre de heladas entre 160 y 250 días.

Clase VI- *No apta para la producción* por presentar alguna de las siguientes propiedades: riesgo de heladas superior a 205 días/año (menos de 160 días libres de), IBP menor de 9,5 ubc, hidromorfía, suelos esqueléticos, toxicidad, áreas expoliadas... o por presentar otros usos actuales no compatibles con los usos agronómicos.

Sectorización del territorio de Galicia según Clases de Aptitud

Los criterios señalados anteriormente han sido aplicados para la sectorización del territorio de Galicia según su aptitud para la producción de *Eucalyptus globulus*.

La escala de trabajo elegida fue de 1:400.000, reproduciéndose en la fig. IV.8 (ver Anexo mapas) reducida varias veces. Esta escala permite el reconocimiento de unidades cartográficas no inferiores a 3 Km², es decir, una visión de semidetalle del territorio según unidades que representan clases de *aptitud dominante* (y no única).

Según esto, es perfectamente posible que en áreas calificadas genéricamente como *no aptas* puedan darse ejemplos puntuales de plantaciones con alguna rentabilidad, normalmente en la región suroeste del sistema dorsal, más que en su parte central y en los macizos orientales. Por lo mismo, no son cartografiables las riberas fluviales de la mayoría de los ríos, constituídas por suelos profundos, que no (o apenas) sufren sequía estival, pendientes "ligeras" a "medias", sin pedregosidad ni rocosidad...etc., frecuentemente contrastadas del paisaje del entorno, pero que, dadas sus escasas dimensiones, aparecen incluidas en clases definidas por este último.

Como documentación base para la realización de la cartografía se han utilizado: mapas topográficos del Instituto Geográfico Nacional (1:250.000); mapas geológicos del ITGE (1:200.000); características bioclimáticas de Carballeira *et al.*, (1985); tipos de suelo (perfil, espesor y material original) de Calvo y Macías (1991); datos de reserva de agua útil de Martínez Cortizas (1988).

La sectorización presentada permite una visión amplia del territorio, útil para un planeamiento general, pero en modo alguno para aplicar directamente en un ordenamiento detallado del mismo. Esto puede comprenderse más fácilmente si comparamos la resolución obtenida en un área concreta, por ejemplo en la zona piloto de la península de Morrazo, cuando se trabaja en documentos de base a mayor escala, tal como se recoge en la fig.IV.9. Evidentemente en el mapa realizado a mayor escala se perfilan mejor las unidades y es necesario, incluso, incorporar alguna clase de aptitud que no podía ser reconocida en el anterior.

Obviamente, el documento cartográfico realizado se basa exclusivamente en características del medio natural. Se supone, pues, que no se consideran condiciones dependientes de las actividades humanas, como tamaño de parcelas, forma, propiedad... ni posibles riesgos eventuales tales como plagas, enfermedades, incendios, accidentes...etc.

De la observación de la fig. IV.8 se destacan varios hechos:

- La importancia del área en la que dominan las zonas *no aptas* para la producción de *E.globulus* (más del 50 % del territorio). No obstante, debe señalarse la posibilidad de encontrar en estas áreas pequeños enclaves en los que, seleccionándose de modo adecuado la orientación, espesor de suelo, época de plantación y técnicas silvícolas, puedan obtenerse rendimientos satisfactorios y con menor coste por unidad de superficie. Obviamente, mejoras genéticas relativas a la resistencia al frío, o la utilización de variedades seleccionadas, modificarán la sectorización obtenida.

- La aptitud relativa entre las diferentes provincias, destacando ampliamente la provincia de La Coruña y la zona norte de la provincia de Lugo.

- La importancia que adquieren en Galicia las características edáficas, que rebajan sensiblemente la aptitud de amplias zonas en el área que presenta las mejores condiciones desde el punto de vista térmico (provincia de Pontevedra).

- La coincidencia general de la sectorización obtenida con la que cabría esperar para otros usos agronómicos, tales como cultivos de maíz y afines,

trigo y afines, praderas, coníferas...etc. Es decir, los mejores terrenos para eucalipto parecen serlo, así mismo, para la mayoría de las otras especies. Una planificación adecuada de la ubicación de eucaliptales requiere considerar conjuntamente las aptitudes del territorio para otros usos alternativos. Y por extensión, la Planificación Forestal/ Agrícola no debería hacerse aisladamente de la Planificación global del territorio (incluídas las alternativas no productivas).



Foto IV.1. Eucaliptos y pinos pueden desarrollarse en condiciones edáficas muy precarias, no aptas para otras especies arbóreas.



Foto IV. 2. Detalle de la capacidad de exploración radicular del eucalipto aprovechando las diaclasas del material geológico.



Foto IV.3. En áreas de especial aptitud los eucaliptos alcanzan en Galicia dimensiones muy elevadas. El interés ornamental fue el motivo inicial de su introducción (en foto Chavin).



Foto IV.4. Superficies no aptas: limitaciones por hidromorfía (en la foto, A Braña Rubia. A Coruña).



Foto IV.5. Superficies no aptas: limitaciones por falta de suelo.



Foto IV.6. Superficies no aptas: limitaciones por frío (en la foto, Sª de Queixa. Ourense).



Foto IV.7 Areas de elevada aptitud en el municipio de Cerdido.



Foto IV.8. Idem, foto IV.7. A la importante calidad edafo/climática se añade una baja incidencia de incendios y una alta dedicación humana a la explotación forestal, en esta zona.

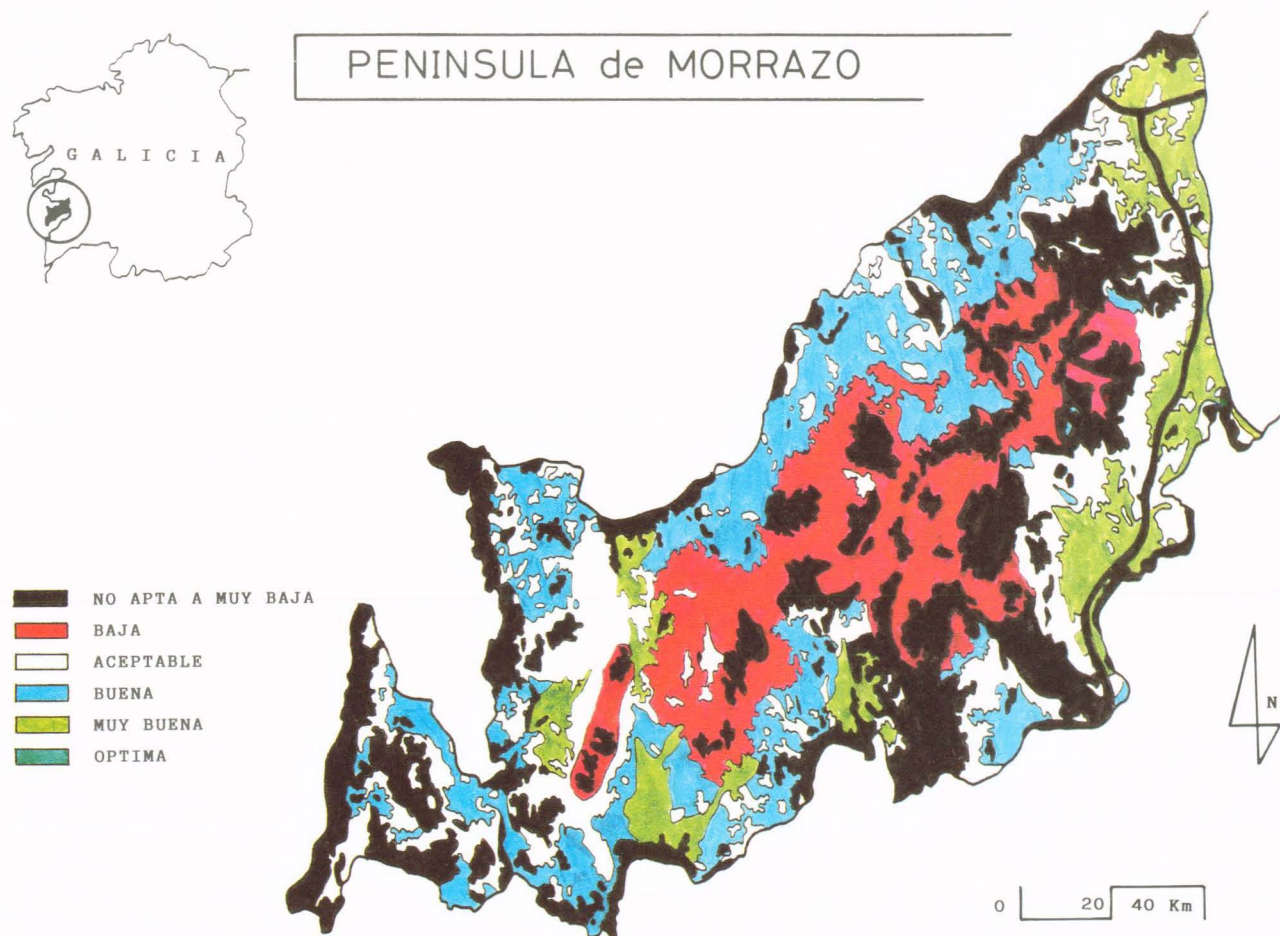


Fig. IV.9.- Importancia de la escala: Aptitud para *E. globulus* en la península del Morrazo.

CAPITULO V

La conservación de los Sistemas Naturales

Apuntes históricos

Es evidente que la importancia de los efectos de una determinada especie vegetal sobre las características de un medio natural no dependen exclusivamente de las peculiaridades de la primera, sino que resulta imprescindible valorar el estado de los sistemas sobre los que se asienta.

Según parece, la mayor parte del paisaje de Galicia hace 6.000-7.000 años estaba dominado por *Q. robur* (*Q. pyrenaica* en el interior más seco). Los cambios climáticos que afectaron al territorio después de la última glaciación, y sobre todo en los periodos *Boreal* y *Atlántico* (aumento de temperatura y humedad), habían propiciado la invasión por el roble de los terrenos previamente cubiertos por otras especies, mayoritariamente del género *Pinus* (sobre todo *P. sylvestris*), pero también *Betula*, que habían sido dominantes en episodios anteriores, más fríos y secos (Jato y Rodríguez, 1986). Con el desarrollo de la asociación *Quercetum mixtum* se produce la casi total desaparición de los pinares, que quedan relegados a pequeños enclaves más fríos (*P. sylvestris*).

Posteriormente (5.000 años BP), se produce un enfriamiento temporal del clima y, con él, un retroceso del *Quercus*, que se intensifica fuertemente con el comienzo de la agricultura y de la ganadería. El descenso continúa en la edad

del Bronce y, posteriormente, con la colonización romana, que impulsa la agricultura e introduce otros árboles, entre ellos el castaño (hace aproximadamente 2.000 años).

Las quemas, seguidas de intenso pastoreo, y la utilización de los terrenos de monte para la siembra de especies que permiten la obtención de abonos orgánicos, de forma continuada durante largos años..., las guerras y, más recientemente, el despegue industrial, que trajo consigo la tala de bosques para el desarrollo naval, la construcción, infraestructuras, etc., han culminado el proceso de deforestación, alcanzándose los niveles más bajos de superficie arbolada en los siglos XVIII y XIX.

A finales del siglo XVII se introduce (reintroduce ?) desde Portugal el *P.pinaster*, que llega a ser la especie más extendida en Galicia en las primeras décadas del siglo XX. El *P.radiata* se implanta a mediados del siglo XIX, intensificándose las repoblaciones en los últimos 60 años, sobre todo en áreas con mayor capacidad productiva o en suelos con una cierta limitación para el *P.pinaster* por presencia de texturas pesadas, hidromorfía...etc. Por último, en zonas más altas y frías se recurre al *P.sylvestris*, que ya había alcanzado notable desarrollo en los periodos *Preboreal* y *Boreal*.

No obstante, a pesar del reciente impulso que han tomado las repoblaciones de pinar y, más tarde, de eucaliptal, no se ha logrado remontar el proceso de deforestación iniciado hace varios milenios. Los cambios producidos no han supuesto simplemente el descenso o desaparición de una determinada especie arbórea, sino que implican un fuerte y complejo proceso regresivo que, en una parte importante del territorio, no sólo impide la reinstalación de la frondosa original, sino, incluso, de fases menos maduras de la sucesión. En otras palabras, en estas áreas de suelos fuertemente degradados y erosionados, con contactos líticos muy cerca de la superficie, no sería posible la instalación directa de un robledal y, en ocasiones, apenas de un pinar, sino que sería necesario el paso a través de otros colonizadores primarios que acelerasen la sucesión vegetal hacia los sistemas de mayor complejidad.

En otros terrenos menos degradados, ayudado de la mano del hombre o espontáneamente (gracias a haberse conservado durante milenios soportando los frios würmienses, en determinados enclaves de la costa), el *P.pinaster* ha recommenzado hace unos años el proceso evolutivo natural en el camino del incremento de complejidad y diversidad del sistema.

Por último, en lugares de privilegio, que no han sido modificados (o en donde la degradación implica un cambio ligero en el sistema), los bosques climáticos de caducifolias se mantienen, representando enclaves de indudable interés no sólo desde el punto de vista ecológico, sino por el hecho de ser testigos vivos de la remota historia de este territorio y ser depositarios del patrimonio genético que permitirá su supervivencia en el futuro.

El eucalipto y la conservación de los sistemas naturales

Desde esta perspectiva general y dado el profundo retroceso que han experimentado los sistemas arbóreos en una gran parte de Galicia, no deja de resultar un síntoma positivo la posibilidad de implantar eucaliptos en áreas fuertemente degradadas del territorio, lo mismo que resultó favorable hace varias décadas la reconquista por el pino de muchas extensiones que se encontraban en vías de alcanzar un estado fuertemente regresivo.

De todas formas, si el desarrollo del pinar a partir del matorral más o menos degradado parece seguir el "camino lógico" de la sucesión, en nuestro medio, poco podemos decir acerca del papel que puede jugar el eucalipto integrado artificialmente en este proceso. Al menos una cosa parece ser cierta, la facilidad de arraigo de esta especie en suelos esqueléticos, o muy poco profundos, forzosamente ha de facilitar la *producción* de más suelo a expensas de la roca y, a la vez, contribuirá a reducir la erosión. El que el eucalipto pueda suponer una fase más o menos avanzada que el matorral (o el pinar ?) en el camino de la sucesión hacia el asentamiento del bosque climácico, es algo que no podemos prever.

De todas formas, una pregunta queda en el aire cuando se abordan estos temas. En las actuales condiciones climáticas de Galicia ¿qué tipo de sistema representaría realmente el equilibrio?.

Según algunos autores podría darse la posibilidad de que los bosques de caducifolias existentes hoy en Galicia se mantuviesen como *residuos* de situaciones climáticas pasadas y, muy probablemente, el bosque en equilibrio con las condiciones actuales sería de tipo mixto, de coníferas y caducifolias, tal como sucede actualmente en los bosques del norte de California y de Carolina, en EEUU, de similares características climáticas a las nuestras. Las barreras geográficas existentes en la península Ibérica habrían impedido la invasión natural de nuestro paisaje por las coníferas propias de medios atlánticos y mediterráneos (cedros, pinos...), una vez retirados los hielos que las hicieron retroceder.

La anterior hipótesis estaría de acuerdo con el carácter de frontera que representa Galicia entre los ambientes *eurosiberiano* y *mediterráneo* (Rivas, 1973) y no exclusivamente el primero como cabría esperar en una situación en la que las caducifolias de tipo *Quercus robur*, *Fraxinus*, *Tilia*... etc., constituyesen las especies climácicas. A este respecto debe señalarse que el concepto central de *vegetación eurosiberiana* reposa sobre un clima de temperaturas contrastadas entre verano e invierno y, sobre todo, de ausencia de sequía, al producirse una gran parte de las lluvias en el periodo estival, situación que no se produce actualmente en Galicia (ver fig. III.1). La clara adaptación del *P. pinaster*, un representante de la *vegetación mediterránea*, en el medio *atlántico* (de la *región*

eurosiberiana) parece responder a la misma idea, no obstante no poder asegurar que su presencia en este mundo sea natural, al tratarse de una especie "cultivada" de intensa repoblación reciente (Izco, 1982).

Sea cual fuere la expresión vegetal de las condiciones climáticas actuales, la penetración del eucalipto, si bien es cierto que puede tener en determinadas zonas una interesante función productiva y cumplir, en otras fuertemente degradadas, un papel restaurador no carente de importancia, no es menos cierto que su enorme facilidad de integración supone un motivo de alerta, al señalar un potencial de supervivencia que puede derivar en una competencia ventajosa con respecto a otras especies vegetales preexistentes, lo que se ha visto es especialmente efectiva en áreas quemadas. Una plantación de eucalipto abandonada a su suerte puede ser causa de la reducción de otras formaciones que interese conservar. Es obvio que se requiere una planificación adecuada que prevenga el desplazamiento total de las diferentes fases vivas de la secuencia evolutiva, a fin de que puedan ser reconstruídas por generaciones futuras, y, mucho menos, de las que han alcanzado una mayor complejidad. La conservación de tales zonas debe ser garantizada y su expansión favorecida. El control de la tendencia expansiva del eucalipto se hace necesario, incluso, en las propias explotaciones productivas de esta especie, en las que la proliferación irregular y espontánea de los individuos puede poner en peligro el rendimiento de las mismas.

La diversidad genética en eucaliptales

Además de los propios cambios que supone la sustitución de una especie "principal" por otra, son frecuentes las referencias bibliográficas con respecto al efecto de los eucaliptales sobre el descenso de la diversidad de flora y fauna en los distintos estratos del sistema.

En principio, parece lógico que la propia sustitución vegetal, y más cuando se introducen plantas exóticas, debe llevar aparejado un descenso (retardo) en la aparición de especies asociadas. Si, además, esta introducción se hace con fines productivos que afectan a una única especie, se está reconociendo implícitamente una actividad humana con objetivos contrarios a la diversificación. Las labores de preparación del terreno, limpieza, clareos, rejuvenecimiento continuo de los sistemas, desarrollo simultáneo de individuos de la misma edad... etc., han de contribuir forzosamente al descenso de la diversidad. Es así, que cualquier explotación forestal tiende a la reducción de especies que, de todas formas, nunca llega a ser tan severa como la provocada por la introducción de cultivos agrícolas tradicionales, ya sea maíz, soja...o algodón (FAO, 1987).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, parece lógico suponer que si las características propias del eucalipto lo hiciesen capaz de incidir por sí mismo en esta dinámica simplificadora, estaríamos ante un hecho no reñido con los intereses agronómicos. No obstante, desde un punto de vista ecológico, la tendencia, forzada o espontánea, al monocultivo no puede ser considerada sin preocupación, a menos que se delimiten convenientemente las superficies de explotación.

La primera referencia que encontramos en Galicia a este respecto fue realizada por Bellot (1966), quien señala que el número de especies existentes bajo *E.globulus* es mucho menor que la encontrada en las otras asociaciones existentes en la región. Todos los estudios coinciden en señalar una mayor diversidad de la macroflora bajo *Q. robur* que bajo *E.globulus*. Las plantaciones de *P.radiata* muestran, así mismo, unas condiciones más favorables que las de eucalipto, no obstante, las de *P.pinaster* resultan muy similares (Bará *et al.*, 1985; Rodríguez, 1985).

Según algunos autores, las causas que provocan estos efectos son fundamentalmente de origen mecánico. Bará *et al.*, (1985) señalan que las especies más afectadas son las anuales y vivaces que germinan en la gruesa capa de restos orgánicos normalmente existente en los eucaliptales, y cuyas raíces son incapaces de traspasarla para alcanzar el suelo, provocándose su sequía y muerte. Así mismo, la interceptación que ejercen estos restos (sobre todo las cortezas) sobre la entrada de luz y agua al suelo, o el impedimento directo que oponen al crecimiento de las plántulas, ha sido frecuentemente señalado.

Todos estos efectos pueden ser considerados válidos para la mayoría de las explotaciones existentes en Galicia. Si la restitución de los residuos al suelo debe contribuir al menor consumo neto de nutrientes, el estado de abandono generalizado en que se encuentran los eucaliptales provoca una acumulación de restos de difícil descomposición que, al margen de incrementar otros riesgos, como los incendios, se comporta como una capa prácticamente impermeable al paso de la luz y el agua al suelo, según hemos comprobado en frecuentes experiencias. En general, en plantaciones con individuos jóvenes, con una menor acumulación de restos sobre la superficie del suelo, la diversidad de la flora es más elevada.

Por otra parte, no han faltado referencias a otras posibles causas de supresión, como el papel de la fauna (mesofauna) asociada a eucaliptales en la creación de zonas de inhibición (Story, 1967; Lange y Reynolds, 1981) o a la competencia por el agua en la épocas de menor pluviosidad (Bowman y Kipkpatrick, 1968), cuya posibilidad en algunas áreas de Galicia ya ha sido comentada anteriormente.

En algunos casos se ha apuntado, además, un posible efecto alelopático causado por determinados compuestos, volátiles o hidrosolubles, liberados

por las hojas de distintas especies de eucalipto (Baker, 1966; Story, 1967; del Moral y Muller, 1970 y 1978; Basu *et al.*, 1987). No obstante, la controversia sobre el tema es constante y, así, mientras en algunos estudios recientes se apoya el posible efecto inhibidor de diferentes especies vegetales (Rice, 1984; Putnam *et al.*, 1986; May y Ash, 1990), en otros se discuten los procedimientos empleados en los ensayos o la validez de los resultados en las condiciones de campo (Harper, 1977).

Los ensayos de laboratorio realizados en Galicia por Arias (1982) y Perret (1983) reconocen un potencial alelopático en extractos de hoja de *E.globulus*, similar en hojas jóvenes y adultas y más intenso en primavera que en invierno. Estos autores señalan la importancia de compuestos de tipo terpénico (cineol, fundamentalmente) y ácidos fenólicos (sobre todo vanílico y gentísico, seguidos de p-hidroxibenzóico, ferúlico y caféico) en el desencadenamiento de estos procesos. Estudios anteriores realizados por Ballester *et al.* (1975) habían puesto de manifiesto un efecto similar a partir de extractos obtenidos de diferentes especies de Ericáceas (*E.vagans*, *E.scoparia*, *E.arborea*, *E.australis*...). Por el contrario, los ensayos realizados sobre hojarasca de *Q.robur* (Ferro, 1983), *P.pinaster* (Cobian, 1982) y *P.radiata* (López Calvo, 1982) muestran un menor potencial alelopático que los de *E.globulus*, lo que resulta particularmente bajo en el caso de *Q.robur*.

La mayor parte de los resultados apuntan a la importancia de la concentración de las sustancias consideradas tóxicas, de manera que a concentraciones muy diluídas la incidencia es muy escasa e, incluso, se puede observar una cierta estimulación de la germinación (Perret, 1983; May y Ash, 1990). Según esto, los efectos supresores deberán manifestarse fundamentalmente en las regiones con menor pluviosidad, o en los períodos más secos en el resto de las regiones climáticas. No puede descartarse que el descenso de la vegetación en muchas zonas responda a una coincidencia de un cierto carácter alelopático y de una posible competencia entre especies por la humedad del suelo, durante los períodos menos lluviosos.

Según May y Ash (1990), la principal fuente de compuestos alelopáticos en eucaliptos es la corteza, de manera que las mayores cantidades de sustancias inhibidoras afectan a una pequeña zona alrededor del tronco; las hojas frescas tienen un menor potencial supresor que la hojarasca triturada o parcialmente descompuesta, debido a la menor rotura de las membranas celulares protectoras y, por lo tanto, menor salida de sustancias al exterior. No obstante, en los ensayos realizados en Galicia por Perret (1983) se aprecia un mayor contenido total de compuestos potencialmente inhibidores en hojas verdes con respecto a hojarasca descompuesta y suelo. Estos últimos resultados hacen pensar en una rápida mineralización de los compuestos hidrosolubles, ya en las primeras etapas de descomposición, lo que guarda una estrecha relación con los datos obtenidos posteriormente por Alonso y Bará (1989), quienes comparando entre *Q.robur*, *P.pinaster* y *E.globulus*,

obtienen que el contenido de ácidos fenólicos libres (entre ellos el vanílico, p-hidroxibenzóico y ferúlico, además de gálico, protocatéquico, siríngico y p-cumárico) es superior en hojas de *E.globulus* que en las de las otras especies y, no obstante, en los horizontes A₀ de los suelos las diferencias entre especies se anulan, reduciéndose sensiblemente el contenido de ácidos fenólicos con respecto a hojas verdes.

En este mismo sentido parecen caminar otros estudios. Así, añadiendo extracto hidrosoluble de hojas de eucalipto y alcornoque sobre sustratos con semillas de lechuga, Domínguez de Juan (1986) obtiene que la germinación en el primer caso es del 18 %, mientras que en el segundo es del 69 %. Sin embargo, cuando realiza la siembra en tierras procedentes de los sistemas naturales del eucaliptal y el alcornocal, el porcentaje de germinación es del 89 y 83 %, respectivamente. Por otra parte, los ensayos realizados por Rigueiro y Silva (1983) sobre el poder de germinación de algunas especies herbáceas en el mantillo de eucalipto y roble, en Galicia, reflejan una cierta selectividad, o afinidad, entre especies, germinando preferentemente las leguminosas en el primero de ellos, mientras que las gramíneas lo hacen sobre todo bajo el robledal.

* * *

De forma similar a lo señalado con respecto a la cantidad y diversidad de flora, se admite, en general, que los eucaliptales crean zonas con un bajo asentamiento de la vida animal. El propio descenso en la cantidad y diversidad de flora, así como el escaso alimento que proporciona la biomasa del eucalipto (las plántulas jóvenes nunca son mordisqueadas por la fauna libre) y la dificultad de anidamiento de aves, debido a la forma de su copa, provocan estos efectos, que pueden verse agravados cuando el tipo de explotación reduce e iguala la edad de todos los individuos de la población arbórea. El mantenimiento de algunos árboles maduros (cuando no la mezcla sistemática de árboles de diferente edad) entre las plantas jóvenes de la explotación favorecen la presencia de aves y otros animales de vida libre.

Obviamente, en lugares con presencia de especies endémicas, protegidas, en peligro de extinción...o en donde se produce el descanso temporal de aves migratorias, la repoblación con eucalipto (u con cualquier especie que modificase totalmente el medio) ha de considerarse causa de un fuerte impacto.

* * *



Foto V.1. La presencia de individuos maduros, sobre todo si son de características singulares, entre las plantaciones jóvenes, favorece una mayor riqueza faunística.

Sean atribuidos a una u otra causa, los datos apuntan a una baja cantidad y/o diversidad de organismos vegetales y animales en los eucaliptales. El hecho de que se produzca, o no, un daño, y la importancia del mismo, dependerá de la complejidad o singularidad del sistema sustituido.

La situación actual del uso de las tierras

Según datos recogidos en el 2º Inventario Forestal (1988), de los casi 3.000.000 de Ha de Galicia, alrededor de unas 900.000 (un 32 % de la superficie agraria) están dedicadas a cultivos y praderas. Algo más de 1.000.000 de Ha (un 38 %) aparece arbolada y, el resto, cerca de 900.000 Ha, se encuentran cubiertas de matorrales y pastizales (tabla IV.1). La posible expansión del eucalipto puede ser analizada considerando que pueda afectar a cada uno de los sistemas actuales de ocupación vegetal.

Cultivos:

Es difícil que la superficie labrada incremente de forma significativa, tanto por dificultades de tipo físico (espesor de suelo y pendiente) como por condicionantes de tipo socioeconómico (distribución de la propiedad, tamaño de las parcelas, etc.) y la existencia de excedentes agrícolas en el mercado europeo. Mas bien, el futuro de este sector camina por la vía de la intensificación, mejora y adecuación (cuando no reconversión) de las explotaciones.

Salvo en muy contadas ocasiones, la expansión del eucalipto no afecta actualmente a las tierras de cultivo. De darse una sustitución de este tipo, nunca podría hablarse de *deterioro* de los sistemas, al ser las tierras cultivadas áreas con un valor ecológico mínimo (sustitución total de las formaciones vegetales preexistentes, reducción al máximo de la diversidad, rejuvenecimiento continuo, remoción de gran parte de la materia orgánica producida, elevada extracción de nutrientes del suelo, riesgos de erosión..., etc.).

Praderas:

La confrontación eucaliptales-praderas, que ya se planteó hace algunos años entre pinares y praderas (o mejor entre la dedicación de las tierras a la producción de carne y leche, o de madera), no puede ser sostenida de forma generalizada en todo el territorio, ya que una parte muy extensa del mismo no es susceptible de soportar ambas alternativas, al menos en términos de que resulten rentables. Así, a pesar de la difundida creencia de que Galicia es un territorio con una amplia vocación para la producción de pastos, la características climáticas y la extensión de terrenos con texturas ligeras y escaso espesor condicionan fuertemente este uso. Por su parte, el eucalipto, que sobrevive (y produce) en estas condiciones, está fuertemente restringido fuera de las tierras bajas próximas a la costa, en donde el desarrollo de praderas puede resultar importante.

Cuando la discusión entre estas dos alternativas se plantea es muy frecuente que surja en terrenos "aptos para todo" en los que cualquier uso puede ser discutido por un amplio abanico de alternativas. En todo caso, en estas zonas, la disputa se establece entre dos tipos de explotación, es decir, está fuera de todo plantemiento ecológico que, de realizarse, nos llevaría a consideraciones similares a las señaladas con respecto a los cultivos.

Superficie arbolada:

La evolución de la superficie arbolada parece que ha sufrido un nuevo retroceso en los últimos años. Así, en los 14 años que median entre el 1^{er} y 2^o

Inventario Forestal (1972/74- 1986/88) se produce un descenso de unas 137.000 Ha, parte de las cuales, unas 27.000, se han convertido en terreno raso.

Los continuos incendios forestales guardan un paralelismo con el descenso de la superficie arbolada, afectando particularmente a las plantaciones de pino. Así, según los datos oficiales disponibles, en el período señalado han ardido 797.000 Ha, que representarían un 27 % del territorio (si no se diesen casos de repetición de incendios en una misma zona).

La fig. V.1 recoge la distinta incidencia del fuego en los terrenos forestales de Galicia, en el período 1984-1988. Es significativa la fuerte variación observada entre los distintos municipios, que no encuentra justificación con una determinada situación o características climáticas, ya que municipios adyacentes, y por lo tanto con similares condiciones, pueden aparecer fuertemente contrastados (p.e., Oia, Cuntis, Ares... y sus municipios limítrofes respectivos).

En general, la mayor parte de las superficies quemadas coinciden con áreas de matorral y pinar. El descenso del *P.pinaster*, entre 1972 y 1986, se cifra oficialmente en unas 190.000 Ha (un 40 % de caída); en el caso del *P.radiata* parece darse un retroceso próximo a 9.000 Ha (un 28 % del área que ocupaba).

El incremento de las repoblaciones de eucalipto unido al carácter pirofítico de la especie, contribuyen, así mismo, al descenso de los pinares. Si para una gran parte de la opinión pública, el eucalipto parece ser una especie que disputa el territorio a posibles bosques de carácter autóctono, "desafortunadamente" ésta no es la situación más general, dada la incapacidad de estos últimos por instalarse en más de dos tercios del territorio de Galicia. Mas bien, el eucalipto se perfila hoy como una especie que puede comprometer la hegemonía de los pinares, concretamente del *P.pinaster*, en los terrenos arbolados de las zonas costeras de Galicia.

Al margen de posibles conflictos de intereses productivistas, desde el punto de vista que en este capítulo se considera, conviene recordar el interés por la conservación de determinadas formaciones de pinar, así como el hecho de que los sistemas de explotación mixta pino/eucalipto resultan siempre más favorables que los cultivos monoespecíficos de eucalipto.

Respecto a la extensión que ocupan bosques de otras frondosas, bien autóctonas bien introducidas, el retroceso es patético. Además de las grandes causas que antes se señalaron, existen innumerables factores que actúan en esta dirección y que podrían ser resumidos en términos de "abandono" real de muchos de estos sistemas.

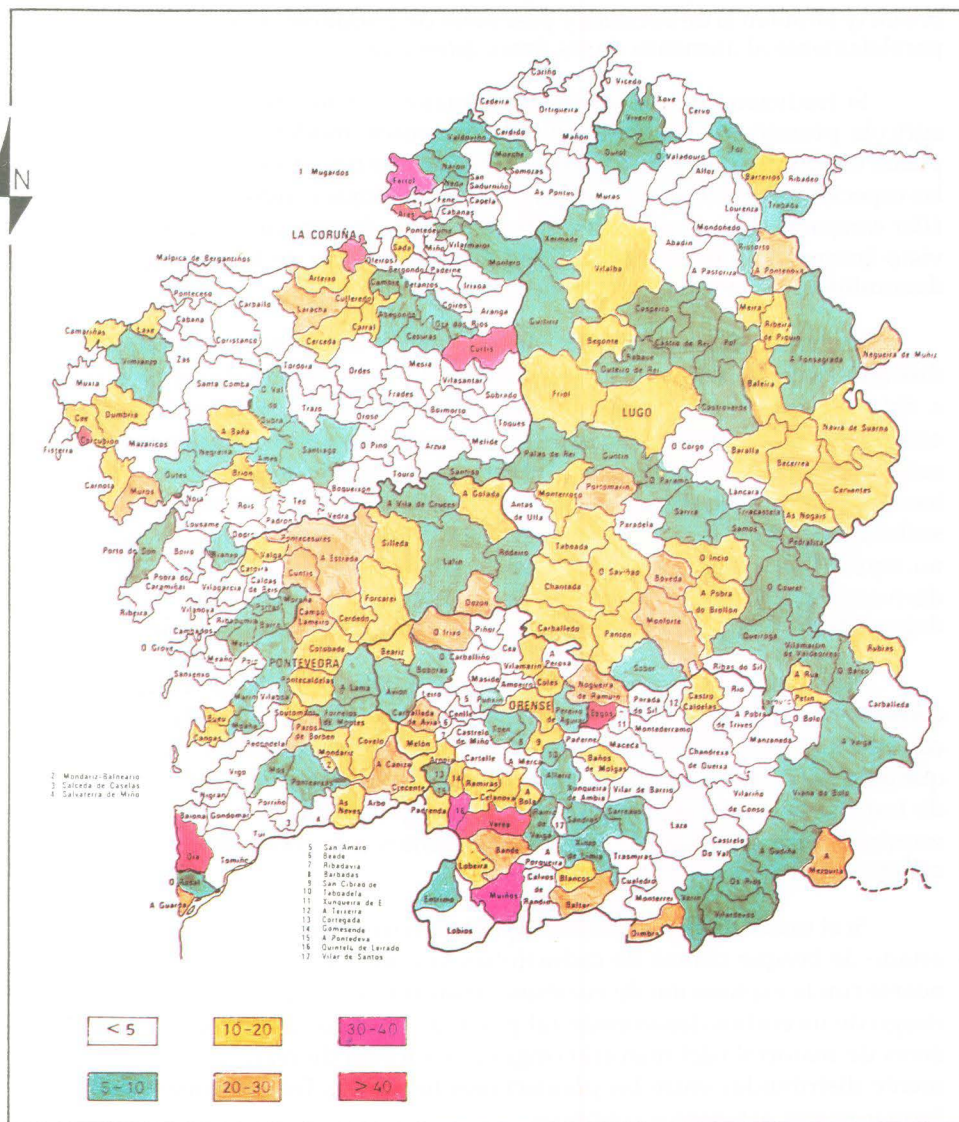


Fig. V.1.- Incendios forestales en los municipios de Galicia (1984-1988) (Fuente: Galicia en cifras. Xunta de Galicia).

Matorrales:

En cuanto a los matorrales, a pesar de que algunas áreas llegan a ser colonizadas también por los eucaliptos, en términos globales la superficie de brezal (y también la de brezales y pastizales degradados) sigue incrementando paralelamente al aumento de las áreas quemadas.

Si tradicionalmente las áreas de matorral han cumplido una función agrícola prominente, es evidente que una visión moderna de este sector no puede establecerse en base a presupuestos de este tipo. Conviene recordar que las especies más apreciadas en esta práctica, los tojos y, más concretamente, el *Ulex europaeus*, es una especie sembrada, cuya distribución superficial se ha visto favorecida e incentivada por el hombre, dentro de lo que algunos han denominado la "agricultura de subsistencia".

De todas formas, en un interés por la conservación integrada de distintas fases de la secuencia evolutiva ha de considerarse de forma especial a determinadas formaciones de brezal de Galicia, con predominio de Ericáceas, en algún caso incluso con la presencia de especies escasamente representadas en Europa (Fraga *et al.*, 1990). Al argumento ecológico se añade un incremento en la calidad paisajística de algunas zonas de montaña, no siempre suficientemente valorada. Evidentemente, la conservación de tales sistemas no equivale a su mantenimiento en la situación actual, de abandono, que deriva en un incremento del riesgo de incendios, intensificándose los procesos degradativos y la pérdida irreversible, a escala humana, de los suelos.

No obstante, y suponiendo una adecuada gestión, el interés por la conservación de estos sistemas no lleva al extremo de exigir la dedicación de cerca de 1/3 del territorio, tal y como sucede en la actualidad. La importancia que alcanzan estas superficies, no todas ellas de iguales cualidades, y el hecho de tratarse de las zonas con más graves riesgos de degradación, las hacen a nuestro punto de vista candidatas preferentes a la competición con el eucalipto.

Si el mantenimiento de áreas que han retrocedido fuertemente desde el estado de bosque climax de caducifolias (o nunca lo fueron) puede simultanearse con la explotación de eucalipto (matorral/eucaliptal), es posible que el riesgo de incendios desaconseje tal práctica. En todo caso deben mantenerse áreas de matorral (del matorral original) en forma de manchas convenientemente distribuidas entre las plantaciones forestales. Estas últimas no deben formar masas extensas y continuas.

Brezales y pastizales de bajo valor:

Por último, sobre áreas fuertemente degradadas, pastizales naturales "pobres" y sistemas jóvenes sometidos a erosión, las plantaciones de árboles

-de cualquier especie que pueda sobrevivir a estas condiciones- resulta siempre beneficiosa para el asentamiento de vida silvestre, animal o vegetal. Evidentemente, en estos sistemas no cabe esperar producción.

Las alternativas a los sistemas forestales de producción

Se ha aludido frecuentemente a la existencia de alternativas forestales a eucaliptales (y pinares) mediante la implantación de sistemas que utilicen especies caducifolias endémicas. Conviene recordar, a este respecto, que tales alternativas no se corresponden con los bosques climácicos de frondosas aludidos anteriormente. El interés por conservar aquellos sistemas se justifica por sí mismo, sin que se les deba atribuir además una productividad neta que, como etapas maduras de la sucesión, apenas poseen.

La implantación de sistemas forestales de producción con especies frondosas endémicas, o de características similares (robles, castaños, abedules, hayas...), como explotaciones que son, tenderían a la simplificación de la biocenosis, supondrían un desgaste de nutrientes superior al de sistemas maduros, se opondrían a la estructura natural..., etc.

No obstante, tales formaciones presentan determinados aspectos que les confieren un notable interés. En primer lugar, la naturaleza de las especies implantadas no supone un retroceso de la sucesión, cuyo avance sólo se vería frenado por la actividad humana.

Por otra parte, su menor tasa de crecimiento, con relación a los eucaliptos, conduce a un alargamiento de los ciclos de corta, lo que redundaría en un menor consumo neto de las reservas del suelo. Además, si el objetivo de la plantación es la obtención de madera para mueble se incide intencionadamente en la procura de árboles de cierto porte, lo que se favorece, no sólo espaciando los turnos, sino, además, disminuyendo la densidad de la plantación, es decir, se reduce aún más el consumo.

Las plantaciones así configuradas resultan ambientes que proporcionan mejor refugio para la fauna y, por otra parte, la forma de las copas de la mayoría de las especies aludidas es adecuada para el anidamiento de las aves. Tampoco cabría esperar efectos químicos ni físicos (salvo los derivados de las actividades humanas en la explotación) que afectasen al desarrollo de plantas en estratos inferiores.

De todas formas, es necesario recordar una vez más, que la cuestión en Galicia no es decidir entre dos tipos de vegetación forestal, eucaliptos (pinos)

u otras frondosas. Al margen de los criterios puramente productivistas (demanda, productividad, precios...etc.), desde el punto de vista del medio natural, la presencia de estas últimas especies no puede concebirse como una alternativa al eucaliptal, si acaso como una actividad complementaria, dado que, salvo en contadas ocasiones, no se disputan el mismo espacio. Su mayor exigencia, tanto en espesor de suelo como en fertilidad, etc., las sitúa como posibles alternativas a los usos actuales existentes en las zonas con estas características, es decir, reductos de bosques de frondosas, riberas no hidromorfos... o áreas cultivadas (con fertilización). Ciertamente, en algunos de esos puntos, la selección de variedades y la utilización de técnicas de manejo adecuadas podrían derivar en el desarrollo de un importante recurso.

Modificaciones del paisaje

El estudio del paisaje, su valoración, degradación... etc., es una disciplina compleja que sigue diferentes criterios y presupuestos de trabajo, no siempre bien definidos y con importantes controversias entre los expertos del tema. En general suele admitirse como impacto negativo sobre el paisaje: *cualquier modificación de las condiciones naturales en sistemas biológicos complejos o no degradados, con presencia de endemismos o de especies en vías de extinción, en sistemas geológico/geomorfológicos singulares, o que suponga una reducción de las "superficies-agua", fuerte disminución de luminosidad, desaparición de un marco visual calificado "de interés..."*

No nos referimos en este apartado más que a la expresión más popular del término, que, por otra parte, no deja de tener importancia en muchos de los métodos de evaluación al uso y, muy frecuentemente, recoge de modo natural algunos de los anteriores criterios.

Es evidente que la introducción del eucalipto ha supuesto una modificación del paisaje en Galicia. Si toda valoración de este tipo, por simple que parezca, tiende a llevar una carga importante de subjetividad que podría conducir a invalidar cualquier resultado, en el caso que nos ocupa adquiere una importancia que no podemos dejar de considerar como un "dato" imprescindible dentro del análisis. En este sentido, el hombre, en cuanto a su sensibilidad (su cultura ?) en un momento y espacio dado, es considerado como un factor más del medio.

Sin un estudio estadístico que lo confirme, pero tras la experiencia de bastantes años de trabajo relacionado con el tema, parece poco comprometido afirmar que: *en líneas generales, el paisaje generado por las plantaciones de eucalipto*

no está en sintonía con la sensibilidad media del hombre de Galicia. Las relaciones de afectividad hombre/eucalipto, que tuvieron un precedente más suave en las relaciones hombre/pino, adquieren unas peculiares características de rechazo, sobre todo (pero no únicamente) en ambientes urbanos, cuya explicación no resulta fácil y parece integrar múltiples entradas.

La paulatina disminución de los bosques originales y el incremento de los sistemas de repoblación ha llevado a establecer una relación directa causa-efecto que explica una buena parte de la valoración negativa del paisaje en estos últimos. Sustituciones de este tipo se han dado y siguen dándose en Galicia.

No obstante, el alcance de la idea tiene un calado tan profundo que, aún cuando es bien sabido que la mayor parte de las repoblaciones se localizan en terrenos de monte, aun cuando en un reconocimiento del paisaje de Galicia los sistemas de eucaliptal se alternan normalmente con matorrales y pastizales degradados (es decir son las alternativas a este tipo de paisaje), la valoración sigue realizándose muy frecuentemente en base a las premisas iniciales y, por lo tanto, resulta negativa. En estas situaciones, un “procedimiento viciado” conduce a una calificación negativa del paisaje de eucaliptal, ampliamente aceptada. Es decir, el mismo resultado podría ser considerado admisible (correcto) si el paisaje característico de las superficies de matorral, asociadas a los eucaliptales, obtuviese una más alta calificación.

No obstante, hay varios aspectos de la realidad que pesan a favor de la opinión que hemos considerado “más generalizada”. Por una parte, la excelente adaptación del eucalipto y su tendencia natural a la expansión puede conducir, en áreas abandonadas en las que penetre espontáneamente (por ejemplo después de un incendio), a la aparición de un paisaje que en nada recuerda a un sistema forestal de explotación, configurado por una extensa “maraña” de plántulas jóvenes, de escaso grosor, imposible de transitar, de utilizar... y, por supuesto, de valorar positivamente dentro del paisaje. Los ejemplos son abundantes.

Además, no todos los sistemas de explotación presentan una misma configuración. Las actividades asociadas a los sistemas forestales, desde la preparación del terreno, pasando por las diferentes labores... hasta la tala, llevan aparejadas modificaciones del paisaje (incluidas las infraestructuras viarias, cortafuegos, terrazas...) que evidentemente pueden conducir a graves impactos en el paisaje, que deben ser valorados en cada caso. En este sentido son las “actividades” más que las “especies” forestales quienes deben ser consideradas, según veremos a continuación. Por el contrario, la reforestación cuidadosa de determinadas áreas puede modificar favorablemente un paisaje. Ejemplos de ambos tipos pueden reconocerse fácilmente en diferentes zonas de Galicia.



Foto V.2. La integración en el paisaje: Tanto los cuidados silvícolas como las propias características del medio influyen en una mejor o peor calidad del paisaje con eucaliptales.



Foto V.3. Ejemplo de baja integración en el paisaje de plantaciones de eucalipto, en un área extremadamente degradada.



Foto V.4. La integración en el paisaje: La importancia del manejo en la baja calidad del paisaje interior en los eucaliptales de Galicia.



Foto V.5. Interior de una plantación de eucalipto en áreas con elevado nivel de manejo, en Galicia.



Foto V.6. La capacidad de supervivencia de *E. globulus* en áreas quemadas debería ser convenientemente controlada, tanto desde un punto de vista de calidad del paisaje como para un mejor rendimiento de las explotaciones.



Foto V.7. Rebrotos de *E. globulus* en áreas quemadas.

Los impactos humanos en las explotaciones forestales

La cuestión que hoy nos planteamos con respecto a los posibles impactos generados por los eucaliptales y hace algunos años hacíamos con los pinares, no es un ejercicio aislado dentro de un contexto mundial.

El descenso de la productividad del suelo, que se observó en numerosas ocasiones varios años después del reemplazamiento de antiguas vegetaciones arbóreas por especies de producción, normalmente exóticas, fue frecuentemente atribuido a las características propias de las especies introducidas. En Europa fue importante la relación de publicaciones que consideraban aspectos concretos de las mismas, generalmente especies de coníferas, y lo mismo ha sucedido en otras partes del mundo, resultando significativo, desde nuestra perspectiva, el interés suscitado en Australia por la introducción de pinos (diferentes especies) sustituyendo áreas de eucaliptal, al parecer con unas respuestas negativas en las condiciones de fertilidad del suelo (Lamb, 1986).

No obstante el planteamiento inicial, los resultados no han permitido establecer relaciones causa-efecto entre el deterioro de la fertilidad (y por lo tanto de la posibilidad de utilización futura) y las propiedades de las especies introducidas. Incluso son frecuentes las críticas al planteamiento metodológico de algunos estudios que, por ejemplo, realizan comparaciones entre suelos muy diferentes desde el punto de vista de su composición elemental, mineralogía, características de la fracción coloidal, estado ácido-base..., previos a la incorporación de las especies vegetales que se pretende comparar (Stone, 1975; van Goor, 1985). La confusión se incrementa todavía más cuando se intentan extrapolar algunas de estas conclusiones a regiones manifiestamente diferentes.

Los resultados previos a nuestro estudio no apuntaban precisamente a un decrecimiento de las condiciones de fertilidad de los suelos de Galicia, al menos hasta el momento, aunque sí a otros aspectos particulares que hemos tratado. Del conjunto de datos que hemos recogido podrían extraerse diversas conclusiones, pero quizás, una de las más claras sea la importancia que parecen tener las actividades humanas en las explotaciones forestales (más que el tipo de especie utilizada en las mismas) sobre la intensidad de los impactos que pueden afectar al medio.

* En primer lugar, la existencia de la explotación (de cualquier explotación) exige una sustitución de las formaciones vegetales preexistentes y la modificación, o eliminación, de los biotopos animales. Por otra parte, se actúa para frenar la tendencia a la maduración y diversificación de los sistemas.

* Pero, además, la extracción de nutrientes a que se somete a los terrenos forestados, aunque en menor medida que con los cultivos agrícolas, entraña

un desgaste, que es tanto más grave cuanto menores sean las reservas del sustrato mineral. En suelos envejecidos o cuando se intensifica fuertemente la producción, la fertilización puede hacerse imprescindible.

* Algo similar podría decirse con respecto a la demanda de agua. En este caso no cabe hacer, como con los nutrientes, balances sobre periodos de varios años, y ni siquiera anual, que resultan siempre positivos, en Galicia. La competitividad por el agua, durante los meses de sequía, nos remite nuevamente a un problema de manejo, bien seleccionando para la plantación las áreas de menor riesgo, bien jerarquizando y priorizando un *determinado uso*, entre todos los posibles usos sujetos a demanda..., bien abordando definitivamente una gestión más adecuada de los elevados recursos hídricos de Galicia.

* Por otra parte, la facilidad de adaptación del eucalipto en gran parte de nuestro territorio exige un manejo adecuado que *contenga* su tendencia expansiva, controlándolo dentro de los límites deseados, tanto en extensión como en densidad.

* Por último, hay que señalar posibles riesgos de impacto derivados de las labores en las áreas forestadas. Recogemos a continuación los aspectos más ampliamente difundidos en la bibliografía, que son especialmente adecuados para ambientes de características tropicales húmedas, mediterráneas y semiáridas (Hillis y Brown, 1978; Hingston *et al.*, 1979; Zimmermann, 1983; Russel e Isbell, 1986; MOPU, 1989):

Explotación con tala rasa:

Impactos sobre el relieve del terreno y suelos:

- Inestabilidad de laderas, márgenes u orillas fluviales.
- Erosión.
- Desecación
- Laterización y compactación del suelo (en áreas tropicales y subtropicales).
- Asurcados y encharcamiento del suelo.

Impactos sobre la fertilidad del suelo:

- Pérdida de nutrientes y de materia orgánica (decrecimiento del rendimiento en los sucesivos turnos).
- Disminución o alteración de microflora o microfauna.
- Disminución de la capacidad de intercambio de cationes (pérdida de materia orgánica).

Impactos sobre el régimen y recursos hídricos:

- Incremento de la esorrentía superficial.
- Descenso de la infiltración y recarga de acuíferos.
- Menor caudal asegurado o reparto de agua a lo largo del año.
- Incremento de turbidez de aguas superficiales.
- Eutrofización acelerada.
- Colmatación de embalses o zonas de captación de aguas.
- Impactos sobre la vida acuática.

Clima y calidad del aire:

- Incremento de la temperatura del suelo durante el verano.
- Deseccación local del clima (cuando la deforestación es muy intensa).

Fauna silvestre:

- Eliminación total de lugares de nidificación.
- Daño a organismos de fondo, por acumulación brusca de residuos de corta.
- Posible desplazamiento de herbívoros a zonas con cultivos agrícolas.

Reducción de la edad de las plantaciones o la intensificación de los aclareos

- Incremento de la salida de nutrientes del suelo.
- Reducción de la fertilidad en sucesivos turnos.
- Reducción de la materia orgánica del suelo. — Efectos sobre las propiedades físico-químicas del suelo.
- Incremento de los riesgos de desecación, lavado de nutrientes, toxicidad por Al, fijación de fósforo...

Quema de residuos y sotobosque:

- Riesgo de incendios
- Pérdida de elementos por volatilización (N, S...).
- Modificación de la solubilidad de algunos elementos (como el P), que pueden incrementar a corto plazo los niveles asimilables, pero con grave riesgo de intensificar las pérdidas por lavado.

- Reducción de la materia orgánica del suelo.
- Influencia sobre las poblaciones microbianas.

Eliminación de sotobosque mediante productos químicos:

- Riesgo de contaminación de aguas superficiales y acuíferos.

Eliminación mecánica de parte aérea y raíces del sotobosque:

- Descenso de materia orgánica del suelo.
- Influencia de las poblaciones microbianas.

Técnicas de preparación del suelo:

- Riesgos de erosión por remoción de suelos, aterrazamientos, subsolados...

Uso de maquinaria pesada:

- Compactación del suelo y reducción de porosidad.
- Incremento de la escorrentía (por descenso de la infiltración). Incremento del riesgo de erosión y reducción del agua del suelo y el relleno de los acuíferos.

Incidencia de las actividades forestales sobre el paisaje:

- Introducción de estructuras (canales, elementos de construcción, edificaciones, aterrazamientos, cortafuegos...).
- Cambios de la cubierta vegetal no integrados en el paisaje del entorno.
- Alteración de lugares singulares (históricos, culturales o naturales).
- Perturbación de usos específicos dedicados al disfrute del paisaje.
- Disminución del área de la cuenca visual.

Carreteras forestales, vías de saca y zonas de recogida:

- Posible incidencia negativa sobre el incremento de escorrentía superficial, riesgos de erosión, aumento de sedimentos, contaminación de aguas...
- Aspectos positivos relacionados con la mejor aplicación de las restantes actividades y lucha más eficaz ante determinados riesgos (p.e. incendios)



Foto V.8. En Galicia, la tala rasa puede ser causa de impactos serios, en relación a los riesgos de erosión de suelo, cuando los terrenos han sido quemados y desprovistos de protección vegetal.



Foto V.9. Areas de *uso obligado*: conservación del patrimonio natural (en la foto: distorsión provocada por plantaciones de eucalipto en la fraga del río Eume).

La Evaluación del Impacto Ambiental en las actividades forestales

Todos estos riesgos deben ser considerados en una transformación forestal, si bien es necesario recordar nuevamente que en un principio, y sobre todo cuando la repoblación tiene lugar sobre áreas degradadas, la introducción de especies arbóreas, sea cual sea el tipo de especie empleada, debe ser considerada beneficiosa, al actuar positivamente sobre los niveles de O_2 y CO_2 , la captación de polvo atmosférico, protección contra la erosión, control de las aguas y mejora de su calidad, etc.

La normativa europea para la realización de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) se establece en la *Directiva 85/337* de la CEE. En España dicha normativa se recoge en el *Real Decreto Legislativo 1302/86* (BOE nº 155 de 30-6-1986), de Evaluación de Impacto Ambiental, al que se hace referencia también en la *Ley 4/89*, de Conservación de Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres.

En el R.D.L. 1302/86 se consideran, entre otras actuaciones que deben someterse a EIA, *“las primeras repoblaciones cuando entrañen riesgos de graves transformaciones ecológicas negativas”*.

El Reglamento para la ejecución del R.D.L. se desarrolla en el *Real Decreto 1131/1988* (BOE nº 239 de 5-9-1988). En lo que se refiere a actividades forestales recoge los siguientes aspectos:

* Se entiende por *primera repoblación*: todas las plantaciones o siembras de especies forestales sobre suelos que durante los últimos 50 años no hayan estado sensiblemente cubiertos por árboles de las mismas especies que las que se tratan de introducir y todas aquellas que pretendan ejecutarse sobre terrenos que en los últimos 10 años hayan estado desarbolados.

* Se entiende por *riesgo de grave transformación ecológica negativa* alguna de las circunstancias siguientes:

- La destrucción parcial o eliminación de ejemplares de especies protegidas o en vías de extinción.

- La destrucción o alteración negativa de valores singulares botánicos, faunísticos, edáficos, históricos, geológicos, literarios, arqueológicos y paisajísticos.

- La actuación que por localización o ámbito temporal dificulte o impida la nidificación o la reproducción de especies protegidas.

- La previsible regresión en calidad de valores edáficos cuya recuperación no es previsible a plazo medio.

- Las acciones de las que pueda derivarse un proceso erosivo incontrolable, o que se produzcan pérdidas de suelo superiores a las admisibles en relación con la capacidad de regeneración del suelo.

- Las acciones que alteren paisajes naturales o humanizados de valores tradicionales arraigados.

- El empleo de especies no incluidas en las escalas sucesionales naturales de la vegetación correspondiente a la estación a repoblar.

- La actuación que implique una notable disminución de la diversidad biológica.

La normativa que regula la E.I.A. en Galicia (Decreto 442/1990 de 13-9-1990, DOGA nº 188 de 25-9-1990) recoge textualmente la redacción del Reglamento del Real Decreto 1131/1988. Con respecto al eucalipto existe un decreto que regula algunas de las características de las plantaciones.

* * *

Evidentemente, lo que se realiza a través de las E.I.A., la prevención de los daños, es siempre más económico que la recuperación de los impactos, especialmente cuando se trata de áreas o sistemas sensibles. En todo caso, la situación ideal requiere una definición previa de los valores que deben ser conservados y la prohibición o limitación de las actividades humanas que se oponen a este objetivo.

Conclusiones al capítulo

Si en épocas pasadas de la historia del territorio de Galicia, como en otras partes de la península, la superficie ocupada por bosques era muy extensa, el comienzo de la agricultura y su desarrollo, así como el pastoreo, las quemadas, las guerras, la industria... han provocado una fuerte deforestación que alcanzó los niveles más bajos en los siglos 18 y 19 y no ha sido remontado en la actualidad, a pesar de las repoblaciones realizadas. Incluso, en los 14 años que median entre los dos últimos censos oficiales se reconoce un descenso de las superficies arboladas, paralelamente a un incremento de los terrenos rasos.

La introducción del eucalipto, hace aproximadamente 130 años, es contemplado aquí como un proceso de carácter positivo, por cuanto supone

un incremento de la reforestación, así como por el hecho de tratarse de una especie capaz de colonizar terrenos muy degradados y erosionados, no aptos para aceptar bosques de especies exigentes. *"Cualquier árbol mejor que ninguno... y los más deseables, los posibles"* sería la frase que resumiría la idea.

No obstante, la entrada de esta especie supone un motivo de alerta, por cuanto:

1) Es capaz de competir favorablemente con otras especies, tanto como consecuencia de su tendencia expansiva y mejor adaptación ante determinadas contingencias, como por presentar un elevado crecimiento, que puede inducir a incentivar su producción a expensas de aquellas. En este sentido, todos los sistemas naturales capaces de aceptar al eucalipto son susceptibles de un riesgo de retroceso.

La extensión ocupada actualmente por diferentes usos agronómicos, cultivos, praderas, matorral, arbolado...etc., y su posible sustitución, es valorado de acuerdo a implicaciones de orden estrictamente ecológico. La introducción del eucalipto no supone una degradación cuando se trata de sustituir áreas cultivadas y praderas implantadas (al contrario, si se considera la susceptibilidad a la erosión o el consumo de nutrientes). No obstante, puede suponer un grave impacto cuando se ven afectadas otras formaciones vegetales. En líneas generales, la ubicación de eucaliptales debería respetar: sistemas naturales singulares o de elevada complejidad, bosques de riberas, espacios naturales de interés cultural o histórico, plantaciones endémicas o exóticas (incluidas las de eucalipto) que por sus dimensiones, porte de los individuos, asimilación al entorno humano... etc., forman parte de nuestro patrimonio más reciente.

2) Como otros sistemas de explotación, un eucaliptal es una formación tendente a la reducción de la diversidad vegetal, lo que en este caso se ve favorecida, además, por las características de las plantaciones de Galicia (falta de limpieza que obstaculiza el crecimiento o el acceso a la luz y al agua de plantas anuales), sin descartar las propias de la especie (competencia por el agua en época estival, alelopatía). Desde esta perspectiva, un eucaliptal no debe considerarse como un "bosque", sino como una plantación con fines productivos o conservativos, cuya dimensión debe ser controlada.

3) Por último, las implicaciones de los eucaliptales sobre el medio natural, como las de otras explotaciones, deben valorarse teniendo en cuenta las actividades forestales. *Un deficiente manejo puede provocar impactos de gran importancia, no comparables con ningún aspecto relacionado con las especies vegetales, con cualquier especie vegetal.*

CAPITULO VI

La Planificación

Fases de la Planificación

Es evidente que la planificación forestal es un ejercicio interdisciplinar que integra otros aspectos además de los relacionados con el medio natural. Si habitualmente las decisiones no suelen ser tomadas siguiendo estrictamente una determinada metodología, nos parece oportuno presentar aquí un modelo de trabajo coordinado, que, en términos generales, se adapta a otros existentes en la bibliografía sobre el tema (fig. VI.1).

1- La fase “naturalista” podría considerarse como una primera etapa, de *inventario* de los Recursos del Medio (climáticos, hidrológicos, edáficos, geológicos, florísticos, faunísticos...) que permite su *evaluación*, en clases de aptitud para diferentes usos, así como los posibles riesgos de degradación derivados del desarrollo de los mismos.

2- A la etapa “naturalista”, precisamente la menos consultada, seguiría la de tipo “socioeconómico”, que, bien de forma intuitiva o más elaborada, ha regido normalmente la decisión sobre la utilización de las tierras. Al *inventario* y *valoración* de los *usos actuales*, se añadiría la *valoración* de *diferentes alternativas* al mismo.

Si en la fase “naturalista” se realiza simplemente una evaluación a las posibilidades de existencia (*posibilidades al uso*), en la etapa “socioeconómica”

se recogen detalladamente las *posibilidades al desarrollo*, tales como la previsión de demandas, problemas de comercialización, riesgo de incendios (y otros riesgos), limitaciones por infraestructura, nivel de conocimientos silvoculturales de la población, posibilidades de información ... e, incluso, aceptación social del uso en el entorno próximo.

Es evidente la importancia que debe adquirir esta fase en toda Ordenación y, concretamente, en la Ordenación del Sector Forestal en Galicia.

3- Por último, la etapa de "planificación" propiamente dicha, que, partiendo del conocimiento de todas las *necesidades* de la población, de las *valoraciones* realizadas en las anteriores etapas y de otras consideraciones de tipo político y macroeconómico, establezca definitivamente una Gestión Integrada de los recursos.

El término Gestión incluye entre otros:

- La *Ordenación de los Recursos Forestales*, es decir, la sectorización del espacio forestal según las diferentes alternativas de conservación, producción y recreo. Tal sectorización debe reconocer variables tales como estructura de la propiedad, recursos humanos y económicos, limitaciones infraestructurales, lucha y prevención de incendios... etc.

- *Mejora de los factores de producción*, que afecta a aspectos de Suelo, Planta, Manejo y Estructuras. Se requiere, entre otros, incentivar la investigación sobre fisiología y autoecología de especies y variedades, obtención de plantas micorrizadas, desarrollo de técnicas de propagación, diagnóstico y control de plagas, adaptación y diseño de maquinaria de corta, saca y transporte, trazado de vías de saca, tecnología para la utilización de biomasa, técnicas de diagnóstico y recomendación forestal, estrategias de gestión de las explotaciones...etc.

- *Transformación, Industrialización y Comercialización* de los productos forestales.

- *Derecho, Sociología y Economía* de las áreas con explotaciones, que incluyen, la tipificación de la titularidad jurídica de los montes, efectos de intervención administrativa sobre el régimen de montes, modalidades de reparto del monte en Galicia, mejora de las condiciones de empleo sostenido a las poblaciones locales...etc.

Algunas aportaciones a la Planificación

Nuestro trabajo se integra, obviamente, en la primera de las etapas señaladas, si bien haciendo hincapié en unos determinados aspectos y

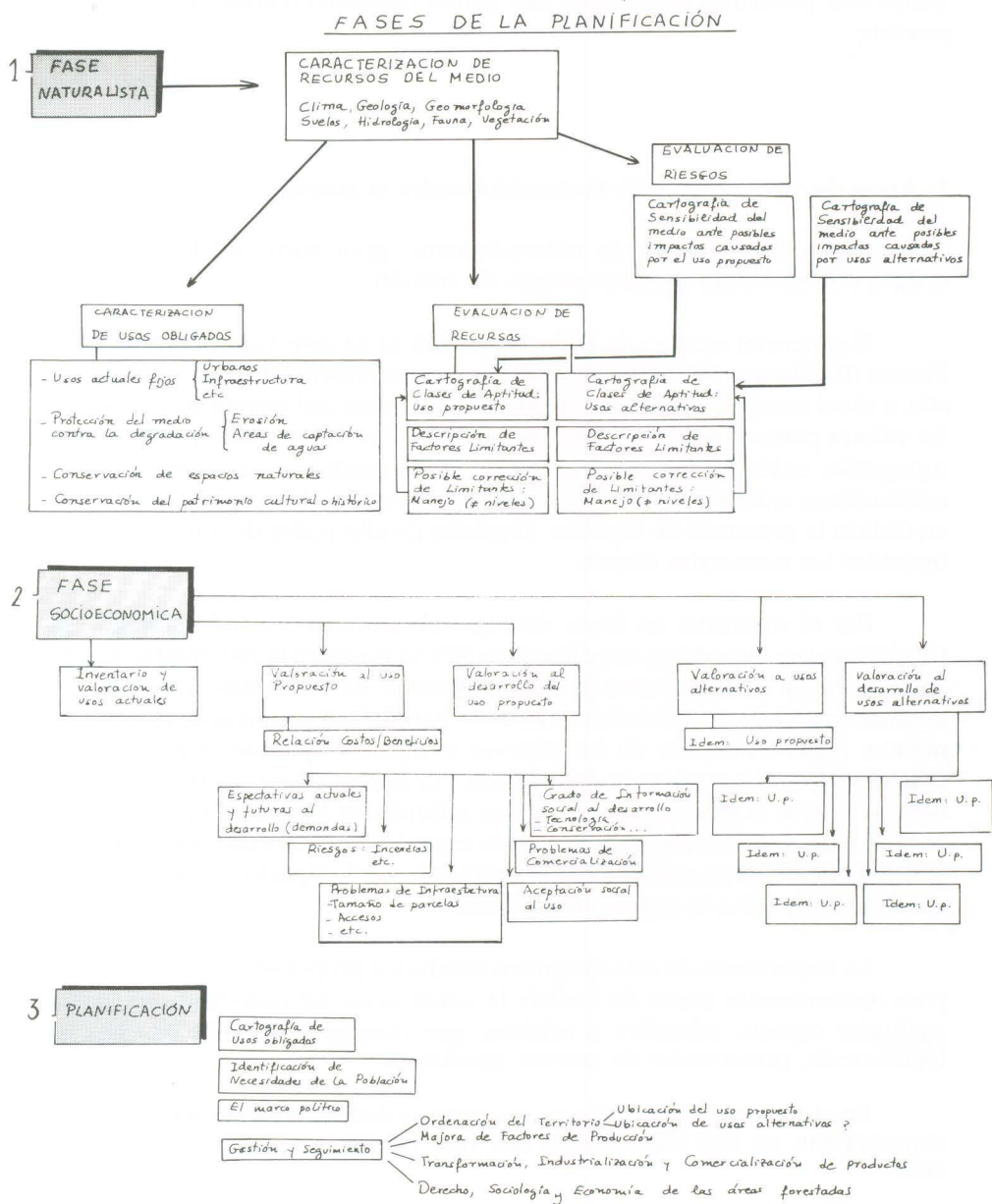


Fig. VI.1.- Fases de la Planificación: una propuesta metodológica.

atendiendo fundamentalmente a los parámetros de tipo edafo-climático. Desde esta particular perspectiva nos parece oportuno realizar algunas propuestas:

1- Areas de "uso obligado": Protección contra la erosión

Según hemos señalado reiteradamente, gran parte del territorio de Galicia está sometido a graves riesgos de erosión.

El potencial erosivo de la lluvia en Galicia ha sido valorado por Díaz-Fierros (1986) como de *moderadamente alto*, en un contexto mundial, y *alto a muy alto*, a nivel europeo. Según este autor, en gran parte del territorio se superan los valores potenciales de 100 Tm/Ha. Al factor "lluvia" se añaden otros, como topografía, cubierta vegetal, etc., que pueden modificar sensiblemente las estimaciones anteriores. Con una influencia reductora de las mismas actuaría en Galicia la presencia de especies vegetales de alto poder de interceptación, incluidos los matorrales densos.

Por el contrario, en áreas de baja cobertura, sobre todo cuando las pendientes son superiores a un 20 o a un 30% se favorece la escorrentía superficial del agua y, consiguientemente, el arrastre de materiales. Además, en algunas regiones se presentan sustratos geológicos propensos al deslizamiento, como es el caso de las pizarras y algunos tipos de esquisto, muy abundantes en el sector oriental de Galicia. Por último, y junto a otros aspectos, debe señalarse la gran influencia de las actividades humanas, tales como el barbecho, las quemas controladas...o los incendios, entre otras, que provocan la desaparición de la cubierta vegetal protectora del impacto mecánico de las gotas de agua sobre la superficie del suelo.

La importancia de este riesgo nos conduce a proponer como *uso obligado* para determinadas zonas de Galicia la *conservación del suelo*, introduciendo cualquier especie, arbustiva o arbórea, que consiga sobrevivir en ellas y, lógicamente, preservarlas de nuevas agresiones.

En otras zonas se propone un *uso mixto*, es decir la obligatoriedad de una conservación no está aquí reñida con una posible producción (o recreo... etc).

En la fig. VI.2 se presenta una sectorización de los espacios que consideramos deben estar sujetos a estas disposiciones. Unimos a ellos las áreas que sirven de marco a los embalses, cuyos riesgos de erosión deben ser especialmente controlados a fin de evitar que se intensifique la colmatación de los mismos.



Fotos VI.1. y VI.2. Areas de *uso obligado*: protección contra la erosión (en algunos casos compatible con la producción).



2- Areas de “uso obligado”: Conservación del patrimonio natural

A riesgo de no incluir todas las posibles zonas que en Galicia deben ser mantenidas (y protegidas, en el amplio sentido del término), evitando cualquier uso diferente del actual, recogemos aquí un inventario de aquéllas que a nuestro juicio deben ser consideradas con el mayor nivel de protección, teniendo en cuenta su alto valor ecológico o, simplemente, la escasa presencia de las formaciones de este tipo en el entorno más próximo (fig. VI.3).

Muchas de estas zonas aparecen frecuentemente citadas, desde diferentes perspectivas, por sus peculiares valores naturales y bastantes de ellas ya se encuentran sometidas a un determinado “rango” de protección, al menos desde un punto de vista formal. Tal es el caso de algunas lagunas, marismas, sistemas de dunas, sistemas de “fraga” de cierta entidad...etc.

De todas formas, dado que la escala de trabajo no permite una cartografía completa, sirva decir que consideramos incluídas aquí todas aquellas formaciones de cierta extensión que representen las etapas maduras de la sucesión vegetal, en Galicia, u otras áreas singulares, no sólo desde el punto de vista de flora y fauna, sino atendiendo a valores culturales e históricos. En todo caso, no nos interesa tanto una relación pormenorizada, que sería objeto de un estudio de mayor detalle, como la filosofía subyacente, es decir, la necesidad de una caracterización y propuesta de zonas de *uso obligado*, previa a la planificación forestal de una determinada superficie.

Al interés por la protección de determinados espacios se une el de la ampliación o expansión de algunos de ellos. Una posible alternativa, que mantenga los criterios de distribución (y no de ghetto) y de utilización mixta del territorio, a la vez que resulte posible, dada la exigencia de los sistemas a implantar, sería la consideración de la red fluvial como base de distribución de los sistemas de bosque caducifolio. Tal alternativa ha sido ya considerada por otros estudiosos del tema (Vales, 1991). La propuesta necesitaría ser matizada en un estudio de detalle, pero sirva señalar aquí que no pretende cubrir absolutamente todo el espacio asociado a la red fluvial de Galicia, que se recoge en la fig. VI.4, sino plantear un posible camino al desarrollo y extensión de estos sistemas. La idea toma como base las posibilidades reales de tal expansión, es decir, se trata de facilitar la continuidad a los bosques ya existentes, método habitual en los ensayos de restauración de los sistemas degradados de cualquier tipo. El desarrollo de esta propuesta no resultaría especialmente reñido con lo que se recoge en la legislación vigente acerca de los espacios de ribera, si bien, resulta obvio que una optimización del mismo requeriría un cierto ensanchamiento del marco, a ambos lados de los cauces.

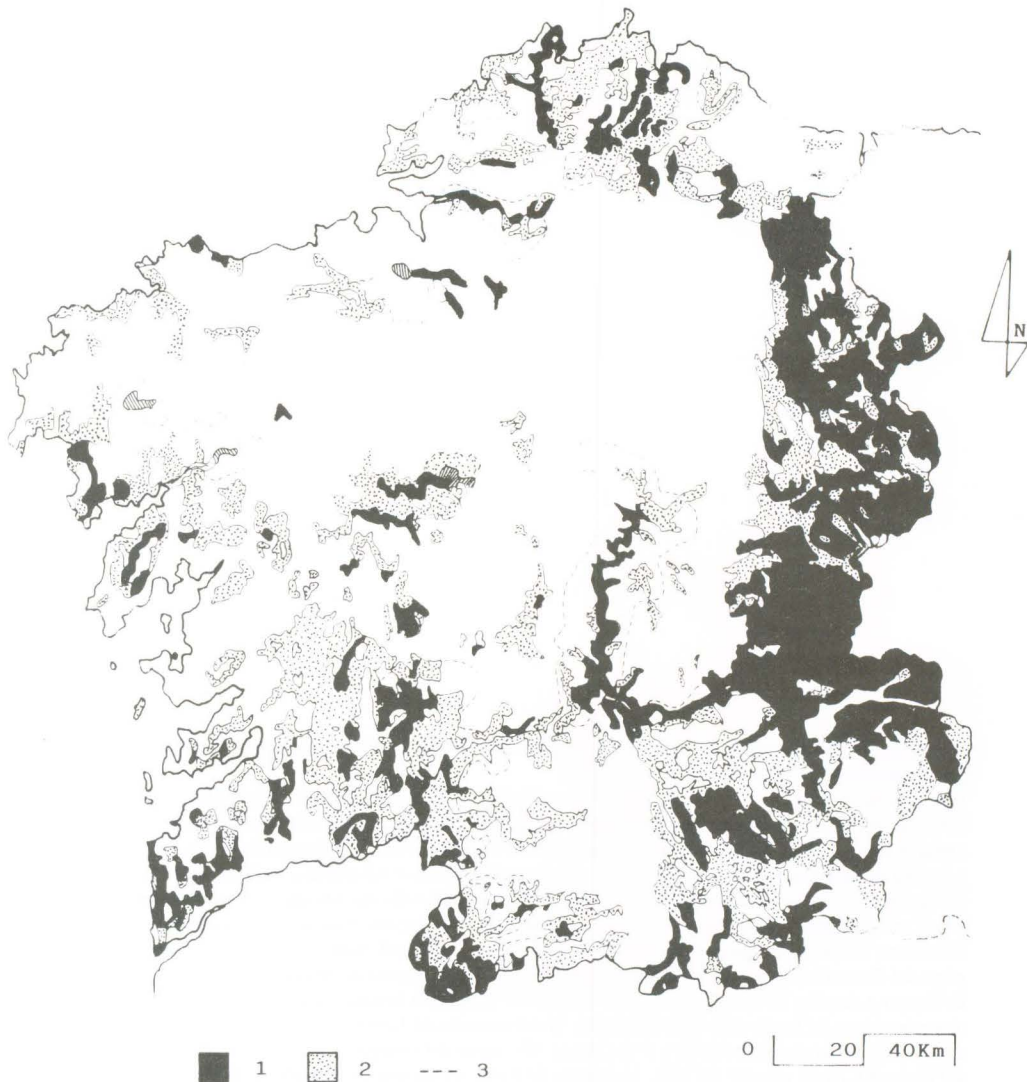


Fig.VI.2.- Conservación de suelos: propuesta de espacios que deben ser sometidos a actuaciones de protección.
 1- Muy graves riesgos de erosión. Uso obligado: Conservación.
 2- Graves riesgos de erosión. Uso propuesto: Conservación/producción.
 3- Extensión del área a proteger: control del entarquinamiento de embalses (en ocasiones esta áreas aparecen englobadas en las superficies de tipo 1 y 2).

Fig. VI.3.- Puntos de interés natural. Uso obligado: Conservación (sólo se incluyen aquellas zonas consideradas incompatibles con una producción forestal).

1-curso y estuario del río Eo; 2-Fragavella; 3-serra do Buio; 4-Chavín y valle del río Landro; 5-cuenca del río Sor; 6-marisma y arenales de la ría de Ortigueira; 7-herbazal serpentínico de Herbeira y Limo (Capelada); 8-arenal y marisma de Vilarrube; 9-arenal y marisma de Pantín; 10-dunas y laguna de Valdoviño; 11-arenal y laguna de Doniños; 12-fraga del río Beelle; 13-fraga del río Eume; 14-arenal y marisma de Miño; 15-valle del Lambre; 16-marjal de Mariñán; 17-embalse de Cecebre; 18-valle del Mandeo; 19-valle del Mendo; 20-arenal de Barañán; 21-dunas y marisma de Baldaio; 22-punta del Roncudo; 23-arenales de Corme y Ponteceso; 24-arenal y laguna de Traba; 25-curso medio e inferior del Anllons; 26-Costa da Morte: arenal y playa del Trece; Cementerio de los Ingleses; montaña Blanca; 27 laguna de Alcaian (Braña Rubia); 28-playas de Rostro y Arneta; 29-desembocadura del Xallas; 30- playa de Carnota; 31-arenal y laguna de Louro; 32 desembocadura del Tambre; 33-valle del Dubra; 34-curso medio del Tambre; 35-curso alto del Tambre y laguna de Sobrado; 36-gándaras de Melide y S^a de Careón; 37-cuenca del Arnego; 38-curso medio del Ulla; 39-cuenca del Deza; 40-curso inferior del Ulla; 41-laguna de Xuño; 42-laguna de Carballosa; 43-dunas y laguna de Corrubedo; 44-curso superior y medio del Umia; 45-desembocadura del Umia; 46-ensenada de Bao; 47-arenal de la Lanzada; 48-xunqueira de Alba; 48-curso superior y medio del Lérez; 50-Cotorredondo y lago Castiñeira; 51-carballeiras del Verdugo y Oitavén; 52-playa América; 53-marjal de la Ramallosa; 54-gándaras de Budiño; 55-Monte Aloia; 56-tramo inferior del Miño; 57-carballeiras del Arnoia; 58-carballeiras del Avia; 59-tramo medio del Miño; 60-laguna de Antela; 61-cañón del Sil; 62-cuenca del Cabe; 63-gargantas del Bibey y Codos del Larouco; 64-cuenca del río Camba; 65-cabeza de Manzaneda; 66-teixidal de Casaio; 67-carballeiras de Valdeorras; 68-montes de Trevinca; 69-serra do Caurel; 70-carballeira de Cartelos; 71-curso alto del Navia (Pintinidoira); 72-As Nogais (Mte. Aguieira); 73-encinar de Cruzul; 74-valle del Navia; 75-bosque de Carballido; 76-bosque da Marronda; 77-fraga de Sanxés; 78-curso alto del Eo; 79-lagunas de Cospeito, Espiñeira; 80-laguna de Pumar; 81-curso alto del Miño; 82-islas e islotes de Galicia.

1



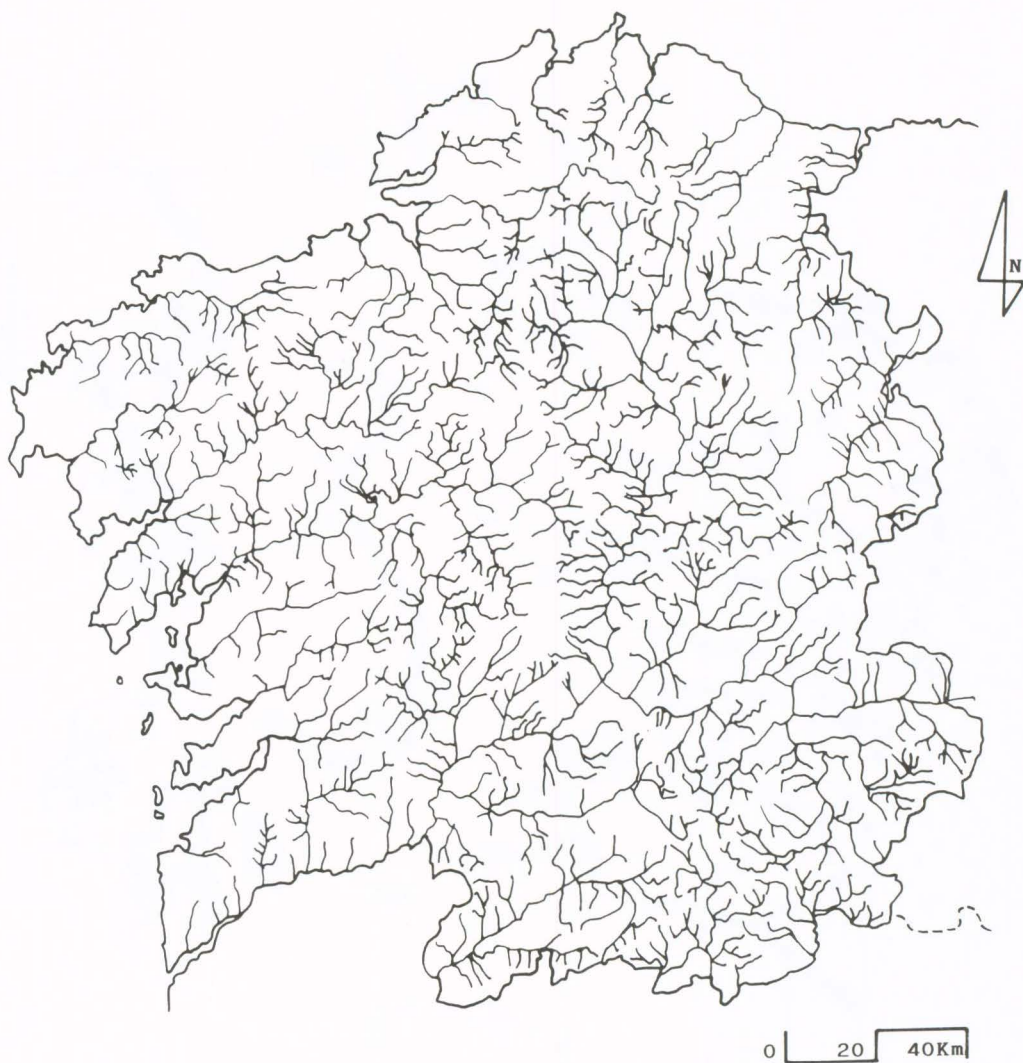


Fig. VI.4.- Red fluvial de Galicia: una posible vía a la expansión de bosques caducifolios.

3- Usos alternativos

La sectorización del espacio para la plantación de eucaliptales se ve limitada finalmente por la conflictividad entre el eucalipto y otras alternativas.

Naturalmente, estas alternativas no se restringen al campo agronómico, de tal manera que un mismo espacio puede ser pretendido por actividades de tipo urbanístico, de infraestructuras y servicios, industrial, minero, recreo..., etc. No obstante, la efectividad de una determinada ordenación agronómica, y concretamente, en este caso, la de las plantaciones de eucalipto, no requiere la consideración simultánea de todos los posibles usos, sino que, en la realidad, el trabajo suele aparecer "relativamente" facilitado, al ser las propias necesidades de la población, en una zona determinada, quienes marcan la posible competencia.

Es así, que una vez seleccionado el espacio más idóneo para el desarrollo de estas actividades, la evaluación y ordenamiento del medio natural suele restringirse a alternativas que podríamos denominar "similares", en este caso, las alternativas de carácter agronómico, cultivos, praderas y otros sistemas forestales.

En las fig. VI.6 a VI.10 (ver Anexo) se presenta una evaluación en clases de aptitud para algunos de estos usos. Hemos considerado un cultivo *tipo* de verano, maíz, que representaría a otros cultivos afines; un cultivo *tipo* de invierno, trigo (y afines); praderas implantadas; pinares y castaño (*C.sativa*).

No vamos a describir detalladamente el método de trabajo empleado ni la definición precisa de cada una de las clases de aptitud para los diferentes usos, que tuvieron como precedente estudios anteriores (Macías y Calvo, 1989) y están actualmente siendo contrastados a otras escalas (Calvo y Riveiro, 1992). En las figuras se recogen las siguientes denominaciones genéricas para las clases sectorizadas:

- | | |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1- <i>Optima</i> | 4- <i>Aceptable</i> |
| 2- <i>Muy buena</i> | 5- <i>Baja</i> |
| 3- <i>Buena</i> | 6- <i>No apta para la producción</i> |

De todas formas, debemos señalar algunos de los presupuestos con los que hemos trabajado, a fin de permitir una mejor interpretación de los resultados:

1- En primer lugar, y tal como se comentó con relación al mapa de clases de aptitud para *E.globulus*, la escala de trabajo no permite más que una visión amplia de las posibilidades del territorio, de forma que cada unidad cartográfica viene definida por la clase dominante (y no la única) existente en la zona.

2- La clasificación utilizada tiene exclusivamente un valor relativo, es decir, la clase *optima* debe interpretarse como "*óptima dentro del área de estudio*" (Galicia) y lo mismo el resto de las clases, hasta la denominada *no apta*. En este último caso debe precisarse que las áreas así caracterizadas no tienen impedido necesariamente el uso de que se trate, sino que su aptitud dominante resulta lo suficientemente baja como para que no la consideremos desde una perspectiva actual de producción "*rentable*". Es fácil comprender esta intención cuando se observan muchos de los mapas que presentamos, en los que algunos usos aparecen como *no aptos* en áreas en donde la población mantiene, de hecho, el cultivo de los mismos.

3- Los mapas de aptitud no tienen en cuenta aspectos sociales, infraestructurales o económicos.

4- En el caso de maíz y afines (fig. VI.6):

- Se considera un cultivo de secano, es decir se tienen en cuenta las limitaciones por escasa retención de humedad del suelo.

- Se considera producción para grano (el maíz forragero daría lugar a un mapa diferente, menos restrictivo).

- Las áreas que aparecen clasificadas como *no aptas* tienen como principales limitaciones la escasez de suelo o la existencia de un período vegetativo muy corto; en este último caso puede darse, en alguna zona, la posibilidad de cultivar variedades de ciclo corto (y de hecho hay ejemplos de ello). El término *no apto*, que empleamos, hace referencia, pues, a un determinado tipo de producción.

- Las áreas de clase *óptima* no están exentas necesariamente de un requerimiento de fertilización. De todas formas, tratándose de un cultivo de los que podríamos denominar de "*alto valor*", la necesidad de un abonado (y consiguientemente, el gasto producido) no hace decrecer la valoración aplicada.

5- Lógicamente las posibilidades del trigo (y afines) son más amplias que las de maíz (fig. VI.7). Su sensibilidad al frío es mucho menor, no existen restricciones por sequía (se trata de un cultivo de invierno) y los requerimientos de espesor de suelo y fertilidad son también más bajos.

6- En cuanto a las praderas, tal y como puede observarse en la fig. VI.8, sus posibilidades en Galicia están lejos de ser lo que durante bastantes años se

difundió reiteradamente. Si las limitaciones por frío no resultan en Galicia tan severas como en otros países europeos productores de carne y leche, en los que suele darse una parada de producción en invierno, la sequía estival existente en gran parte de Galicia, y el hecho de que la capacidad de exploración del suelo por el sistema radicular de las especies herbáceas no resulte tan eficaz como en el caso de arbustivas o arbóreas, limita seriamente las aptitudes de una amplia zona del territorio, fundamentalmente en las provincias de Pontevedra y Orense, en las que suele darse una seria parada estival.

7- Los pinares (diferentes especies) tienen amplias posibilidades de desarrollo en Galicia. Prácticamente, sólo en las áreas más frías, cuando el suelo es esquelético, puede hablarse de *no aptitud*. Por el contrario, suelos muy delgados o sometidos a períodos largos de sequía, con hidromorfía o en áreas con bajas temperaturas de invierno, no soportables por otras especies, resultan aceptables, o incluso buenos, para la producción de alguna especie de pino (fig. VI.9).

En el caso de los pinares hemos incluido una clase de aptitud que no aparece en los restantes mapas que presentamos, la clase *más baja*, que asociamos a muchas de las superficies en las que hemos propuesto un *uso obligado* de protección contra la erosión (fig. VI.2) y en las que cabría esperar, además, una cierta producción.

8- Por último, hemos considerado las aptitudes para una especie frondosa *tipo*, el castaño (*Castanea sativa*) (fig. VI.10). Se utilizó el castaño y no el roble (*Q. robur*) dado que el primero tiene un campo más amplio de posibilidades de asentamiento y, por lo tanto, la sectorización obtenida representa mejor la aptitud del territorio para desarrollar algún tipo de bosque de frondosas, incluso especies de roble distintas de *Q. robur*. La escasez de suelo y las bajas reservas de humedad resultan las principales limitaciones para esta especie, en Galicia.

* * *

A la vista del conjunto de mapas que obtenemos cabe hacer múltiples reflexiones. Únicamente nos limitaremos aquí a los comentarios de tipo más general:

Como era de esperar, y de acuerdo con la observación práctica y los datos obtenidos por diferentes investigadores, determinadas áreas de Galicia son disputadas por la mayoría de las alternativas, mientras que otras sólo resultan aptas para un número limitado de las mismas.



Foto VI.3. La discusión entre alternativas: La tendencia más común sigue siendo la plantación forestal en los terrenos menos aptos para la producción de cultivos y praderas.



Foto VI.4. El grado de erosión en algunas áreas limita la amplitud del territorio de vocación forestal.



Foto VI.5. La discusión entre alternativas: En algunas ocasiones los eucaliptales disputan el terreno a otros posibles usos agronómicos.



Foto VI.6. Discusión entre alternativas: áreas con aptitud para praderas y uso forestal.

La conflictividad no se plantea exclusivamente entre diversas especies forestales, sino que cultivos y usos forestales plantean un primer nivel de discusión. Dado que la mayor parte del territorio de Galicia parece presentar una vocación predominantemente forestal, existe un amplio consenso en el mantenimiento de las áreas cultivadas como tales, es decir, la retirada de los árboles hacia posiciones no aptas para el cultivo, al menos para cultivos de cierta demanda e interés.

La tendencia a preservar las tierras más aptas para el cultivo libres de cualquier uso distinto del agrícola resulta bastante frecuente en los planes de ordenamiento de diferentes países. Tal es el caso de las áreas definidas como *Prime Farm Land* por el USDA de los EEUU. En Galicia no existe ninguna disposición de este tipo; no obstante, en la cartografía oficial se establecen diferencias entre *tierra agrícola* y *uso forestal*, aún cuando no todas las *tierras agrícolas* se utilizan como tales o están libres de repoblación y los terrenos de *uso forestal* incluyen también las áreas de matorral. Pero en todo ello subyace una filosofía de base que atribuye una vocación forestal exclusivamente a aquellos terrenos que no pueden ser cultivados. Una distribución porcentual de la importancia de estas zonas se recoge en la fig. VI.5. En la mayor parte de los municipios de Galicia las tierras de *uso forestal* superan ampliamente el 50 % de la superficie total.

De todas formas, aunque la jerarquización entre cultivos y explotaciones forestales puede parecer clara, a la vista de la desproporción entre las aptitudes del medio para uno y otro uso, parece lógico pensar que para una valoración adecuada se requiere, además, otro tipo de planteamiento. Un sencillo ejemplo que pondría en discusión una jerarquización rígida a favor de los cultivos, lo constituiría la consideración del posible interés en producir maderas de calidad, que podría comprometer algunas de las mejores tierras de cultivo. Pero además, los problemas que viene sufriendo el sector agrícola desde hace varios años requieren un planeamiento muy preciso del mismo, que, intuimos, no irá ligado necesariamente al incremento, y ni siquiera al mantenimiento, de la actual superficie productiva.

La discusión entre diferentes alternativas forestales está sujeta a problemas de índole socioeconómico. De todas formas, el medio físico impone determinadas limitaciones que restringen bastante las posibilidades del conflicto (siempre que el manejo sea adecuado). Por ejemplo, entre eucaliptales y pinares se ofrece una superficie considerablemente más amplia para estos últimos, mientras que los eucaliptales (con *E.globulus*) tienen un campo bastante limitado. Por su parte, los bosques de caducifolios pueden encontrar asentamiento en lugares climáticamente no, o poco, aptos para el eucalipto y, no obstante, muestran unas exigencias edáficas que no son indispensables para aquel.

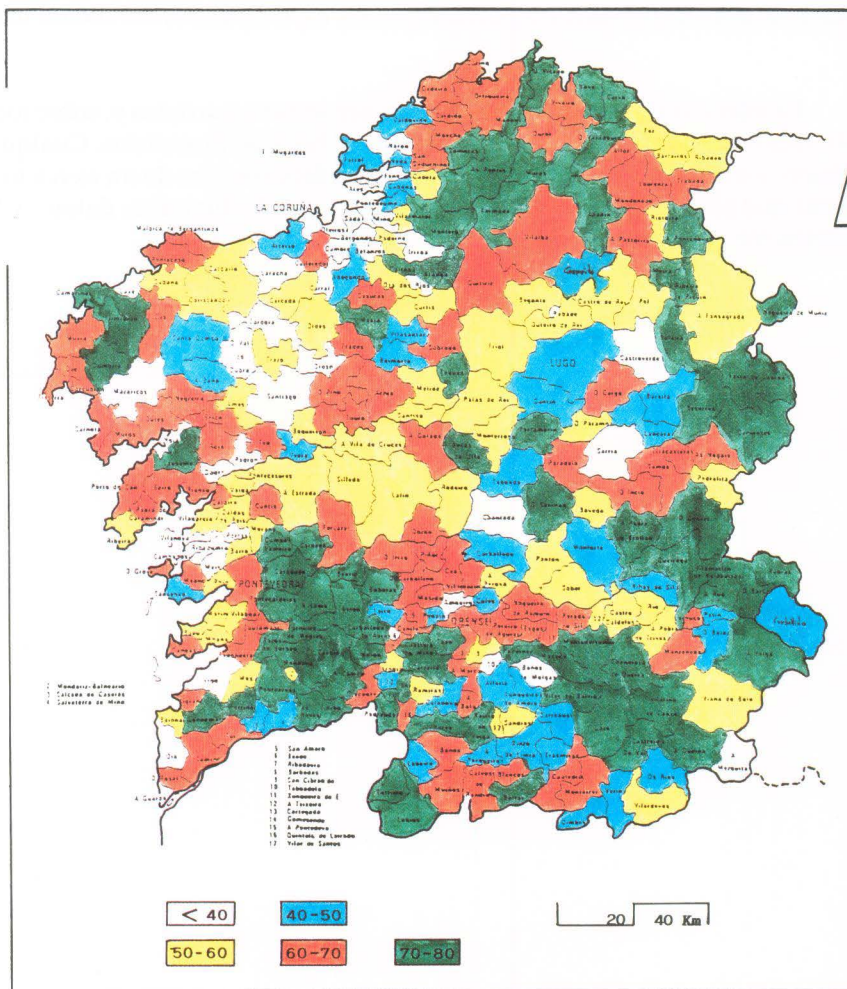


Fig. VI.5.- Terrenos de "uso forestal" en los municipios de Galicia (% de la superficie total) (Galicia en cifras, 1988).

* * *

La decisión final puede resultar en alternativas muy variadas. Incluso limitándonos a los aspectos de tipo físico podrían elaborarse diferentes Propuestas, en base a otros tantos Presupuestos de ordenación. En todo caso, resulta evidente que la planificación del sector forestal de Galicia no puede ser discutida en términos imprecisos o muy generales, ni siquiera cuando nos restringimos a un único aspecto, el de la ubicación, y manejamos exclusivamente unos determinados parámetros, las características del medio natural.

La intención de este estudio fue la de presentar unos datos y, sobre todo, la de incidir en la necesidad de un orden a la hora de discutirlos. Cualquier decisión, y más en cuestiones de planificación, debe resultar de un ejercicio de síntesis que precisa de la consideración organizada de diferentes datos ...y los nuestros son unos más.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso Aguilar, L. (1972).- Análisis químico de la madera de diferentes especies forestales. *Serie Tecnol. Agraria*, nº 2. INIA. Madrid
- Alonso, M. y Bará, S. (1989).- Análisis comparativo del contenido de ácidos fenólicos libres en hojas y hor. Ao de suelos de *E. globulus*, *P. pinaster* y *Q. robur*. *Com. INIA. Serie: Recursos Naturales*, nº 48.
- Alvarez, E., Veiga, A. y Martínez, A. (1989).- Comparisson of extraction capacity of non buffered solutions in acid soils (*en prensa*).
- Alvarez Rodríguez, E. (1990).- Estudio de las diferentes formas de aluminio presentes en solución de suelos de Galicia. *Tesis. Univ. de Santiago*.
- Alvarez Rodríguez, E. y Calvo de Anta, R. (1991).- Contenido total y especies alumínicas en solución de suelos forestales de Galicia (*en prensa*).
- Altman, P.L. y Dittmer, D.S. (1966).- *Environmental Biology*. Fed. Am. Soc. Expt. 507 pp.
- Arias Martínez, A.M. (1982).- Estudio del potencial alelopático de *E. globulus* Labill. *Tesis de Licenciatura. Fac. de Biología. Univ. de Santiago*.
- Asociación Nacional de Pasta Papelera (1990).- Datos no publicados
- Asociación Nacional de Pasta de Papel y Cartón (1990).- Datos no publicados.
- Ballester, A., Vieitez, E. y Mantilla, J. (1975).- Sustancias químicas inhibidoras del crecimiento y la germinación presentes en Ericaceas. *Anal. Inst. Bot. Cavanillas*, 32 (1), 235-243.
- Baker, H.G. (1966).- Volatile growth inhibitors produced by *E. globulus*. *Madrono*, S. Francisco 18, 207-210.
- Bará, S. (1979).- Estudios sobre el *E. globulus*. *Comunicación Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias*, nº 67.
- Bará, S. (1983).- Efectos del *E. globulus* sobre la composición de los suelos de Galicia. I. Índice estimativo de la degradación. II. Xornadas "Os usos do monte en Galicia". *Sem. Est. Galegos. Lourizán*.
- Bará, S. (1989).- ¿Es el eucalipto un arbol desertizante?. *Actualidad forestal*, 3-8.

- Bará, S., Rigueiro, A., Gil, M.A., Mansilla, P., Alonso, M. (1985).- Efectos ecológicos del *E.globulus* en Galicia. Estudio comparativo con *P. pinaster* y *Q. robur*. *Monografías del INIA* 50. 381 pp.
- Bará, S. y Toval, G. (1983).- Calidad de estación de *P. pinaster* ait. en Galicia. *Com. INIA. Serie: Recursos Naturales* n° 24.
- Basu, P.K.; Kapoor, K.S.; Nath, S., y Banerjee, S.K. (1987).- Allelopathic influence: an assessment on the response of agricultural crops growing near *Eucalyptus tereticornis*. *Indian Journal of Forestry*, 10, 267-271.
- Bednall, B. (1967).- The problem of lower volumes associated with second rotations in South Austral. *Woods and Forest Dept. Bull.* n° 17
- Bellot, F. (1966).- La vegetación de Galicia. *An. Inst. Bot. Cavanilles*, 241, 1-306.
- Bowman, D. y Kipkpatrick, J.B. (1986).- Establishment, suppression and growth of *eucalyptus delegatensis* R.T. Baker in multiaged forests. III. Intraspecific allelopathy, competition between adult and juveniles for moisture and nutrients, and frost damage to seedlings. *Australian Journal of Botany*, 34, 81-94.
- Buol, S.W., Sanchez, P.A., Cate,, R.B. and Granger, M.A. (1975).- Soil Fertility Capability Classification: a technical soil classification system for fertility management. En: *Soil Management in Tropical America*. N.C. State Univ., Raleigh, NC, 126-145.
- Calvo de Anta, R., Paz González, A., Díaz-Fierros, F. (1979).- Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia.I. Interceptación de la precipitación. *An. Edafol. Agrob.*, 38, 1151-1163.
- Calvo de Anta, R., Paz González, A., Díaz-Fierros, F. (1979).-...II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco. *An. Edafol. Agrob.*, 38, 1675-1691.
- Calvo de anta, R., Paz Gonzalez, A., Díaz-Fierros, F. (1979).- ... III. Aportes por hojarasca y pérdidas por drenaje y escorrentía. *An. Edafol. Agrob.*, 38, 1983-2000.
- Calvo de Anta, R. y Díaz-Fierros, F. (1981).- Consideraciones acerca de la acidificación de los suelos de la zona húmeda española a través de la vegetación. *An. Edaf. Agrob.*, 40, 411-425.
- Calvo de Anta, R., Paz González, A. y Díaz-Fierros (1979).- Contribución al estudio de los sistemas forestales: actividad biológica en suelos desarrollados bajo *Q. robur* y *P. radiata*. *Trab. Comp. de Biología*, 8, 145-154.

- Calvo de Anta, R. y Díaz-Fierros, F. (1982).- Mineralización del carbono y del nitrógeno en suelos forestales de Galicia. *An. Edafol. Agrob.*, 41, 1-10.
- Calvo de Anta, R., Guitián Rivera, F. y Macías Vázquez, F. (1981).- Aspectos geoquímicos de la alteración de un granito de dos micas en Galicia. *Acta Científica Comp.*, 4, 287-313.
- Calvo de Anta, R., Fernández Marcos, M.L., Veiga Vila, A. (1987).- Composición de la solución del suelo en medios naturales de Galicia. *An. Edafol. Agrob.*, 46, 621-641.
- Calvo, R., Blázquez, R., Macías, F. (1987).- Ordenación agronómica de un área de montaña en Galicia. II una alternativa de planificación. *An. Edafol. Agrobiol.*, 46, 897-908.
- Calvo de Anta, R. y Macías Vázquez, F. (1990).- Utilización de minerales test (vermiculitas) en la caracterización de procesos de cambio iónico en suelos de Galicia. *Reunión Luso-Espanhola de argilas. Aveiro*.
- Calvo de Anta, R. y Macías Vázquez, F. (1992).- Mapa de Suelos de la Prov. de La Coruña, 1:200.000. Excma. Dip. Provincial de La Coruña.
- Carballas Fernández, T. y Guitián Ojea, F. (1966).- Evolución de la composición mineral de los restos vegetales al incorporarse al suelo. *An. Edaf. y Agrob.*, 3-4, 151-163.
- Carballeira, A., Devesa, C., Retuerto, R., Santillán, E., Uceda, F. (1983).- Bioclimatología de Galicia. *Fundación Barrié de la Maza. La Coruña*, 391 pp.
- Carballeira, A., Martínez, A., Carral, A. (1985).- Subregiones bioclimáticas de Galicia: Clasificación y capacidades de cultivo de *Actinidia chinensis*. *Publ. Consellería de Agricultura. Xunta de Galicia*.
- Chesworth, W. (1973).- The parent rock effect in the genesis of soil. *Geoderma*, 10, 215-225.
- Chesworth, W. y Macías, F. (1981).- Inorganic buffers in soils. *Prog. Rep. Dpt. Land Resources. Univ. Guelph*, 69-71.
- Chilvers, G.A. (1973).- Host range of some eucalipt mycorrhizal fungi. *Aust. J. Bot.* 21, 103-111.
- Cobián Casares, B. (1982).- Estudio del potencial alelopático de *P. pinaster*. *Tesis de Licenciatura. Fac. de Biología. Universidad de Santiago*.

- Dabral, B.G. y Subba Rao, B.K. (1968).- Interception studies in chir and teak plantations- New Forest. *Indian Forester*, 94 (7), 541-551.
- Dabral, B.G. y Subba Rao, B.K. (1969).- Interception studies in sal (*Shorea robusta*) and khair (*Acacia catechu*) plantations- New Forest. *Indian Forester*, 95 (5), 314-323.
- David, M.B. y Driscoll, C.T. (1984).- Aliminun speciation and equilibria in soil solution of a Haplortod in the Adirondack Mountains (New York, USA). *Geoderma*, 33, 297-318.
- Dejou, J., Guyot, J., Robert, M.(1977).- Evolution superficielle des roches cristallophylliennes dans les regions tempérées. *INRA. Paris*, 463 pp.
- Díaz-Fierros, F. (1979).- Degradación y erosión de suelos forestales incendiados en Galicia. En: *As especies forestais e os solos de Galicia. Cuad. Lab. Xeol. de Laxe, Area de Ciencias Agrarias* 3, 1982.
- Díaz-Fierros, F., Calvo de Anta, R. y Paz Gonzalez, A. (1982).- As especies forestais e os solos de Galicia. Publ. Sem. *Estudos Galegos. Cuad. Ciencias Agrarias*, nº 3, 153 pp.
- Díaz-Fierros, F. (1986).- A conservación do meio físico en Galiza. En: *O meio Natural Galego. Cuad. Sem. de Sargadelos* nº 47. Edic. do Castro. Sada. A Coruña.
- Domínguez de Juan, M.T. (1986).- Influencia de nutrientes y polifenoles vegetales en la humificación de la hojarasca de especies autóctonas e introducidas de la provincia de Huelva. *Tesis Doctoral. Universidad Autónoma. Madrid*.
- Egner, H. y Eriksson, E. (1955).- Current data on chemical composition of air and precipitation. *Tellur* VII (2).
- Elorza, E. (1964).- El eucalipto en las repoblaciones de Galicia. S.E.A. *Série Técnica* nº8. Ministerio de Agricultura.
- FAO (1978).- Report on the Agroecological Zones project. Vol.1: Methodology and Results for Africa. *FAO, Rome*.
- FAO (1980).- Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. *FAO. Soils Bulletin* 38/2. Roma.
- FAO (1981).- El eucalipto en la repoblación forestal. *Colección FAO: Montes*. Roma. 723 pp.

- FAO (1987).- Efectos ecológicos de los eucaliptos. *Estudios FAO.Montes* n° 59. Roma.
- Fernández de Ana Magán, F. (1991).- Comunicación personal.
- Fernández Ferro, P. y Díaz-Fierros, F. (1977).- Estudio de algunos factores que influyen sobre la actividad biológica de los suelos de Galicia. *Trab. Comp. de Biología*, 5.
- Fernández Ferro, P. (1979).- Influencia de la vegetación en los horizontes superficiales de los suelos de Galicia. *Tesis. Univ. de Santiago*.
- Fernández Marcos, M.L. y Macías, F. (1987).- Variación estacional de la composición de la disolución de suelos de Galicia en relación con el tipo de horizonte y material original. *An. Edaf. y Agrob.*, XLVI, 53-65.
- Fernández López, A.B. (1983).- A productividad de arcolitar en turnos sucesivos de *E.globulus* en Galicia. *Publ. do Seminario de Estudos Galegos. Cuad. da Area de Ciencias Agrarias*, n° 4.
- Ferro, E. (1983).- Estudio del potencial alelopático de *Q.robur* L. *Tesis de Licenciatura. Fac. Biología. Univ. de Santiago*.
- Florence, R. (1967).- Factors that may have a bearing on the decline of productivity under forest monoculture. *Aust. For.* 31: 50-71
- Font Tullot, I. (1983).- Climatología de España y Portugal. *Publ. del Instituto Nacional de Meteorología*, 296 pp.
- Fraga, I., Sahuquillo, E., García, M. (1990).- Los brezales en Galicia (NW de España). Historia y estado actual. *Paysages et Societés. Peninsule Iberique, France. Regions Atlantiques. Mélanges en hommage au Prof. A. Bouhier. Univ. Poitiers*.
- Gandullo, J.M. (1990).- Informe sobre las consecuencias ecológicas de las repoblaciones de eucaliptos en España y, en concreto, en Galicia. *Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Silvopascicultura. Madrid*. 16 pp.
- García Arrese, A. (1990).- Ciclo biogeoquímico de N en sistemas acidolíticos y ácidocomplexolíticos. *Tesis. Universidad de Santiago (en realización)*.
- García García, P. (1984).- Efectos del encalado sobre la composición mineral de praderas establecidas en terrenos a monte. *Tesis Licenciatura. Fac. Biología. Univ. de Santiago*.

- García-Rodeja, E. y Macías, F. (1983).- Algunos datos sobre la fijación de P en suelos de Galicia. *Publ. Sem. E. Galegos. Cuad. Area de Ciencias Agrarias*, 4, 133-157.
- García, C., Silva, B., García-Rodeja, E. (1986).- Meteorización de las anfibolitas del macizo de "Santiago-Ponte Ulla". *Anales de Edafol. y Agrob.*, 45, 1163-1188.
- García Paz, C. (1982).- Estudio de la meteorización de rocas básicas de Galicia. *Tesis. Universidad de Salamanca*.
- García Queijeiro, J. (1990).- Suelos de la Comarca de Bergantiños. *Tesis. Universidad de Santiago (en realización)*.
- George, M. (1978).- Interception, stemflow and throughfall in a *Eucalyptus* híbrid plantation. *Indian Forester*, 104 (11), 719-726.
- Gesper, A. (1971).- Some effects of stemflow from forest canopy trees on chemical properties of soils. *Ecol.*, 52, 691-702.
- Gil Sotres, F. y Díaz-Fierros, F. (1982).- El fósforo en suelos forestales de la S^a del Barbanza (Galicia-España).II. Estudio de la retención de fósforo:a) relación entre la adsorción y las propiedades del suelo. *Agrochim.XXVI*, 2-3, 204-212.
- Gillman, G. y Bell,L.C. (1977).- Soil solution studies on weathered soils from tropical North Quesland. *Aust. J. Res.*, 16, 67-77.
- González Esparcia, E. (1984).- Aspectos silvoecológicos de las plantaciones de *Eucalyptus* en el suroeste de España. *Asamblea Nacional de Investigación Forestal III*, 695-7000. M.A.P.A. Madrid.
- Goor, C.P. van (1985).- The impact of tree species on soil productivity. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 33, 133-140.
- Grandal Alonso, M.C., Díaz-Fierros,F. y Guitián Ojea,F. (1976). La técnica lisimétrica en el estudio de los procesos de formación del suelo. *P. Cent. pir. Biol. exp.*, 7,I, 137-147.
- Guitián Ojea, F. (1963).- Acción de las hojas de algunas especies vegetales en la movilización del Fe y de la arcilla del suelo. *Trab. del Jardín Botánico. Santiago De Compostela*, 9, 31-39.
- Guitián,F. y Carballas, T. (1968).- Suelos de la zona húmeda española.III. Ranker Atlántico. *Anales de Edafol. y Agrob.*, 27, 57-73.

- Guitián, F., Rodríguez Seoane, P. y Díaz-Fierros, F. (1971).- Análisis de las aguas de percolación a través del suelo en condiciones controladas. *An. Edaf. y Agrobiol.*, 30, 323-347.
- Guerrero, A. (1984).- Cultivos herbáceos extensivos. Ed. Mundiprensa. Madrid, 744 pp.
- Gras, J.M. (1990).- Influencia no réxime hidrolóxico das plantacions de *Eucalyptus globulus* en Galicia. II^{as} Xornadas da Area de Ciencias Biolóxicas. Sem. de Estudos Galegos e Univ. de Santiago de Compostela.
- Harper, J.L. (1977).- Population Biology of Plants. Academic Press. London.
- Hillis, W.E. y Brown, A.G. (1978).- Eucalyptus for wood production. CSIRO.
- Hubregtse, J.J. (1973).- Petrology of the Mellid Area. A precambrian polymetamorphic rock complex. Galicia. N.W. Spain. *Lith. Geol. Meded.*, 49, 9-31.
- ICONA (1989).- Estimación de posibles impactos ambientales de las restauraciones de la cubierta vegetal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Cir. n^o 1.
- Izco, J. (1982).- Problèmes spatiaux et altitudinaux posés par la limite entre les Ecosystèmes méditerranéens et atlantiques. *Ecología Mediterranea*, 8, 289-299.
- Jato, V. Rodríguez, V. (1986).- A flora e a vexetación no pasado. En: *O Meio Natural Galego. Cuad. Sem. Estudos Galegos*, 47, 109-121.
- Karschon, R. y Heth, D. (1967).- The water balance of a plantation of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Contributions on Eucalyptus in Israel. III, *Ilanot and Kiriat Haym, Israel*, 7-34.
- Kollman, F. (1959).- Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Traducción de IFIE y Servicio de la madera, Dirección General de Montes. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Lacaze, J.F. (1963).- La résistance des Eucalyptus au calcaire actif dans le sol. Compte rendu d'un test précoce. *Actas de la Consulta Mundial sobre la Genética Forestal y Mejora del Arbol*, vol.1., paper 4/8. Roma. FAO.
- Lamb, d. (1986).- Forestry. En *Australian Soils. The human Impact*. Edit. J.S. Russell y R.F. Isbell. Austr. Soc. of Soil Sci.
- Lange, R.T. y Reynolds, T. (1981).- Halo effects on native vegetation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 105, 213-214.

- Lee, R. (1980).- Forest Hydrology. *Columbia University Press, New York*.
- Leloux, R., Falisse, A., Poelaert, J. (1980).- CIBA-Geigy Doc. Tech.
- Lema, M.X., Macías, F. Martínez, A. (1988).- Evaluación de los recursos edáficos para el cultivo de patata seleccionada en la comarca de Bergantiños. *Monograf. Dpto. Edafología- Dip. Prov. de La Coruña- FEUGA*.
- Lima, W.P. (1976).- Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. *IPEF n° 13, 75-90*.
- Lima, W.P. (1987).- Oreflorestamento con eucalipto e seus impactos ambientais. *Art. Press. Dpto. de Ciencias Forestales. Univ. Sao Paulo*.
- Lima, W.P. y O'Loughlin, E.M. (1987).- The hidrology of eucalypt forest in Australia a review. *IPEF (Piracicaba, Brazil)*.
- Lloveras-Vilamanya, F. (1984).- Crop rotations and summer crops forage production in northwestern Spain (Galicia). *Tesis. Iowa State University*.
- López Calvo, E. (1982).- Estudio del potencial alelopático de *P.radiata*. *Tesis de Licenciatura. Fac. de Biología. Universidad de Santiago*.
- Lozano, J.M. y Velasco, F. (1981).- Evolución del humus y de la microflora por la implantación de *E. camaldulensis Delm.* en bosques autóctonos de Extremadura. *Anales de Edaf. y Agrob. 40 (5-6): 711-720*.
- Maaskant, P. (1970).- Chemical petrology of polymetamorphic ultramafic rocks from Galicia, NW Spain. *Leid. Geol. Meded., 45, 237-325*.
- Macías Vázquez, F. (1971).- Balance de N en suelos de Galicia. Estudio lisimétrico. *Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias. Univ. de Santiago*.
- Macías Vázquez, F. *et al.* (1980).- El factor material de partida en los suelos de las Mariñas. I. Alteración de las rocas metabásicas. *Cuad. Lab. Xeol. de Laxe, 1, 205-223*.
- Macías Vázquez, F. *et al.* (1981).- El factor material de partida de los suelos de las Mariñas. 2. Alteración de los esquistos en medios bien drenados. *Acta Científica Compostelana, 17, 265-291*.
- Macías Vázquez, F. *et al.* (1982).- El material original: su formación e influencia en las propiedades de los suelos de Galicia. *An. de Edaf. y Agrob., 41, 1747-1768*.

- Macías, F., Calvo, R. y Lloveras, J. (1983).- Recursos Agronómicos de Galicia. *Consellería de Ordenación del Territorio. Xunta de Galicia*.
- Macías, F., Fernández, M.L. y Chesworth, W. (1987).- Transformations minéralogiques dans les podzols et les sols podzoliques de Galice (NW Espagne). En: *Podzols et Podzolisation* (Ed.: D. Righi et A. Chauvel), INRA, 163-177.
- Macías Vázquez F. y Calvo de Anta, R. (1987).- Limitantes a la fertilidad de suelos de la prov. de La Coruña. En "*El suelo. Fertilidad y Fertilizantes*". EFCE Publ. Series, 68, 65-72.
- Macías Vázquez, F. y Calvo de Anta, R. (1987).- Suelos de elevada aptitud agrícola de la provincia de La Coruña. *Informe Excma. Dip. Prov. de La Coruña*.
- Macías Vázquez, F. y Calvo de Anta, R. (1989).- Aptitudes agronómicas de Galicia según criterios edáficos y climáticos. *Consellería de Agricultura. Xunta de Galicia. I Centenario de Mabegondo. (en prensa)*.
- Madeira, M.A. (1986).- Influencia dos povoamentos de eucalipto (*E. globulus* Labill.) no solo, comparativamente aos povoamentos de sobreiro (*Q. suber* L.) e de pinheiro (*P. pinaster* Ait.). *Tesis Doctoral. Univ. Técnica de Lisboa*.
- Madeira, M.A. (1987).- Changes in soil under eucalyptus plantations in Portugal. En: *Biomass Production by Fast-growing trees*. Ed. Pereira and Landsberg. Obidos. Portugal.
- Martínez Cortizas, A. (1987).- Zonas agroecológicas de Galicia: zona climática FAO. *An. Edaf. y Agrob.*, 46, 521-538.
- Martínez Cortizas, A. (1988).- La reserva de agua útil de los suelos de Galicia. I. Relación con la textura y el contenido de materia orgánica. *An. de Edaf. y Agrob.*, 47, 561-572.
- Martínez Cortizas, A. (1988).-...II. Cartografía y regímenes de humedad a nivel de Comarca. (C. de Lalín, Pontevedra). *An. de Edaf. y Agrob.*, 47, 1467-1484.
- May, F. y Ash, J.E. (1990).- An Assessment of the Allelopathic Potential of *Eucalyptus*. *Aus. J. Bot.*, 38, 245-254.
- Molina, F. (1970).- Aspectos silvoecológicos de las plantaciones de *Eucaliptus*. *IFIE com.*, 689-694.
- Molina, F. (1975).- La influencia de la repoblación con *E. globulus* y el regimen hidrológico del monte. *INIA. Madrid*.

- Molina, F., Bará, S., Ruiz-Zorrilla, P. (1977).- El monte gallego. Aspectos relacionados con su fertilidad. *INIA Hoja Técnica* nº 17, 14 pp.
- Molina, F. (1984).- Efectos alelopáticos durante la descomposición de residuos de *E. globulus*. *Publ. Sem. de Estudos galegos. Cuad. Ciencias Agrarias* nº 5.
- Mombiela, F. y Mateo, M.E. (1982).- Respuesta a seis dosis de P y Cal en el establecimiento de praderas permanentes en dos tipos de suelos gallegos a monte. *Pastos* 12 (1), 187-201.
- Mombiela, F. (1983).- El estudio de la fertilidad del suelo en Galicia. Apuntes históricos y problemática general de la investigación sobre la acidez y la falta de fósforo. *Publ. Sem. E. galegos. Cuad. Area Ciencias Agrarias*, 4, 75-118.
- Montero de Burgos, J.L. y Montero de Juan, J.L. (1984).- Contribución al estudio comparativo de diagramas bioclimáticos del eucalipto en Australia y España. *ICONA, Serie Técnica*, 70 pp.
- Montero de Burgos, J.L.(1990).- El eucalipto en España. (Comentarios a un problema). *ICONA. Serie Técnica*, 44 pp.
- MOPU (1989).- Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental.3. Repoblaciones forestales. *Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente*.
- Del Moral, R. y Muller, C.H.(1970).- The allelopathic effects of *E.camaldulensis*. *Am. Midl. Natur.*, 83, 254-282.
- Del Moral, R., Willis, R.J. y Ashton, D.H. (1978).- Supression of coastal heath vegetation by *Eucalyptus baxteri*. *Australian J. of Bot.*, 26, 203-219.
- Mullete, K.J. Hannon, N. y Elliott, A.G. (1974).- Insoluble phosphorus usage by *Eucaliptus*. *Plant and Soil* 41, 199-205.
- Muñoz Taboadela, M. y Guitián Ojea, F. (1956).- Sur le pH des sols Galiciens. *VI. Congr. Int. Soil Sci. Paris*.
- Nicolás Isasa, A. (1962).- Influencia de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* sobre las propiedades de los terrenos. *An. Inst. Forestal*, nº 7.
- Niño, E.(1989).- Comunicación personal.
- Paiva, J. (1991).- As Plantacions de eucaliptos e a flora e fauna portuguesa. *Sem. Estudos Galegos*, nº 3.

- Parga Pondal, I. (1966).- Datos geológicos y petrográficos de la prov. de La Coruña. *Publ.Excma. Dip. Prov. de la Coruña*.
- Paz González, A. (1982).- Iniciación al estudio de las relaciones entre el agua del suelo y la evapotranspiración de cultivos y bosques en Galicia. *Tesis. Univ. de Santiago*.
- Pearson, F.G., Fisher, D.W. (1971).- Chemical composition of atmospheric precipitation in the northeastern United States. *U.S. Printing Office. Washington D.C.*
- Perret, F. (1983).- Participation de l'allelopathie dans l'appauvrissement de la vegetation en sous-bois d'*Eucalyptus globulus* Labill., en Galice. *Mémoire de D.E.A. de Biologie et Physiologie Végétales. Fac. de Clermont Ferrand*.
- Poore, M.E.D. y Fries, C. (1987).- Efectos ecológicos de los eucaliptos. *Estudio FAO. Montes, n° 59*.
- Puerto Arribas, G. (1986).- Los Bosques de Galicia. *Actualidad Forestal. Bol. B.Bilbao, n° 106-107*.
- Prieto, A., Villar, M.C., Carballas, M. y Carballas, T. (1991).- Effect of wildfire on the N-mineralization kinetics in a forest soil. *Workshop: Soil Erosion and degradation as a consequence of forest fire.Barcelona*.
- Prebble, R.E. y Stirk, G.B. (1980).- Throughfall and stemflow in silverleaf ironbark (*Eucalyptus melanophloia*) trees. *Australian J. of Ecology, 5, 419-27*.
- Putnam, A.R. y Tang, C.S. (1986).- The Science of Allelopathy. *John Wiley and Sons. USA*.
- Raison, R.J. y Crane, W.J.B.(1981).- Nutritional costs of shortened rotations in plantation forestry. *17 th IUFRO World Congress, 1981, Kyoto. Proceedings Div. I, 63-72*.
- Reuss, J.O. (1975).- Chemical/biological relationships relevant to ecological effects of acid rainfall. *National ecological research. Lab. Nat. Environmental Research Center. Program. Element n° 1AA006. ROAP/TASK n° 21ALU32*.
- Rice, E.L. (1984).- Allelopathy. 2nd ed. *Academic Press. New York*.
- Rigueiro, R. y Silva Pando, J.(1983).- Algunas consideraciones sobre los efectos de *E. globulus* sobre el medio natural gallego. *Publ. del Sem. de Estudos Galegos. Cuad. de Ciencias Agrarias n° 4*.

- Rigueiro, A. (1989).- Efectos ecológicos del eucalipto en Galicia (avance). *Informe mecanografiado*.
- Rivas-Martínez, S. (1973).- Avance sobre una síntesis corológica de la península Ibérica, Baleares y Canarias. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, 30, 69-87.
- Rodríguez, V. (1985).- Análisis de la evolución de los restos orgánicos en los horizontes superiores de los suelos bajo distintas formaciones vegetales en una comarca de la provincia de La Coruña. *Publ. INIA*, 498pp.
- Romero, R., Taboada, T. y García, C. (1990).- La solución de abrasión como un índice del grado de evolución del material original. *Suelo y Planta (en prensa)*.
- Russel, J.S. and Isbell, R.F. (1986).- Australian Soils. The human Impact. *Univ. of Queensland Press: Sta. Lucía*, 522 pp.
- Saa, A., Trasar, C., Carballas, T. (1991).- Effect of forest wildfire on P mineralization and phosphomonoesterase activity. *Workshop: Soil Erosion and degradation as a consequence of forest fire. Barcelona*.
- Sainz, M.J. y Arines, J. (1987).- Efecto de la fertilización fosfatada y de las micorrizas vesículo-arbusculares en la dinámica del P-inorgánico y orgánico en tres suelos ácidos. *Agricultura Mediterranea*, 117, 25-29.
- Shuster, C.J. (1979).- Rehabilitation of soils damaged by logging in southwest, Western Australia. *W.A. Forests Dept. Res. Pap. n° 54*.
- Silva Hermo, B. (1982).- Estudio de las transformaciones químicas, mineralógicas y estructurales en la formación de los hor. B de suelos de Galicia. *Tesis. Univ. de Santiago*.
- Smith, M.K. (1974).- Throughfall, stemflow and interception in pine and eucalipt forest. *Australian Forestry*, 36 (3), 190-197.
- Specht, R.L., y Groves, R.H. (1966).- A comparison of the phosphorus nutrition of Australian heath plants and introduced economic species. *Aust. J. Bot.*, 14, 201-221.
- Stone, E.L. (1975).- Effects of species on nutrient cycles and soil change. *Phil. Trans. R.Soc. Lond.B.* 271-279.
- Story, R. (1967).- Pasture patterns and associated soil water in partially cleared woodland. *Australian J. of Bot.*, 15, 175-187.

- Taboada, T., Romero, R., García, C. y Macías, F. (1988).- Evolución geoquímica durante las fases iniciales de formación de suelos en zonas de contacto entre rocas ácidas y básicas de Galicia. *Geociencias. Aveiro*, 3, fasc.1-2.
- Taboada, T., Romero, R., García, P. (1990).- Relaciones entre dos índices de alteración: el índice de Parker y el pH de abrasión. *XVI Reunión Nacional sobre Edafología. Badajoz*.
- Toval, G.(1989).- Comunicación personal
- Trasar, M.C., Gil, F. Guitián, F. (1989).- Relación entre algunas propiedades físico-químicas y las fracciones de fósforo en suelos naturales de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, 48, 665-679.
- Trasar, M.C., Gil, F., Guitián, F. (1989).- Distribución del fósforo en perfiles de suelos de Galicia. *An. de Edafol. Agrobiol.*, 48, 693-710.
- Urrutia, M. (1989).- Procesos ácido-base en suelos de la prov. de La Coruña. *Tesis. Univ. de Santiago*.
- USDA (1975) Prime and unique Farm Lands. Soil Conservation Service. Mém.3. Washington.
- Vales, C.(1991).- Tesis en realización.
- Vilariño, A. (1990).- Efecto del incendio del monte sobre la población y actividad de hongos formadores de micorrizas de tipo vesículo-arbuscular. *Tesis Doctoral. Univ. de Santiago*.
- Wise, P.K. y Pitman,, M.G. (1981).- Nutrient removal and replacement associated with short rotation eucalypt plantations. *Aust. Forestry*, 44, 142-152.
- Xunta de Galicia (1988).- 2º Inventario Forestal (Avance) *Dirección Xeral do Forestal e Medio Ambiente Natural. Consellería de Agricultura*.
- Xunta de Galicia (1988).- Galicia en cifras. *Consellería de Economía e Facenda*.
- Zimmermann, R. (1983).- Impactos ambientales de las actividades forestales. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. nº 7. Roma*.

ANEXO

Fig. IV.8.- Clases de Aptitud para la producción de *E. globulus* en Galicia.

Fig. VI.6.- Clases de Aptitud del territorio para MAIZ y afines.

Fig. VI.7.- Clases de Aptitud: TRIGO y afines.

Fig. VI.8.- Clases de Aptitud: PRADERAS.

Fig. VI.9.- Clases de Aptitud: PINARES.

Fig. VI.10.- Clases de Aptitud: CASTAÑOS (*C. sativa*).

E. GLOBULUS

NO APTA
BAJA
ACEPTABLE
BUENA
M. BUENA
OPTIMA

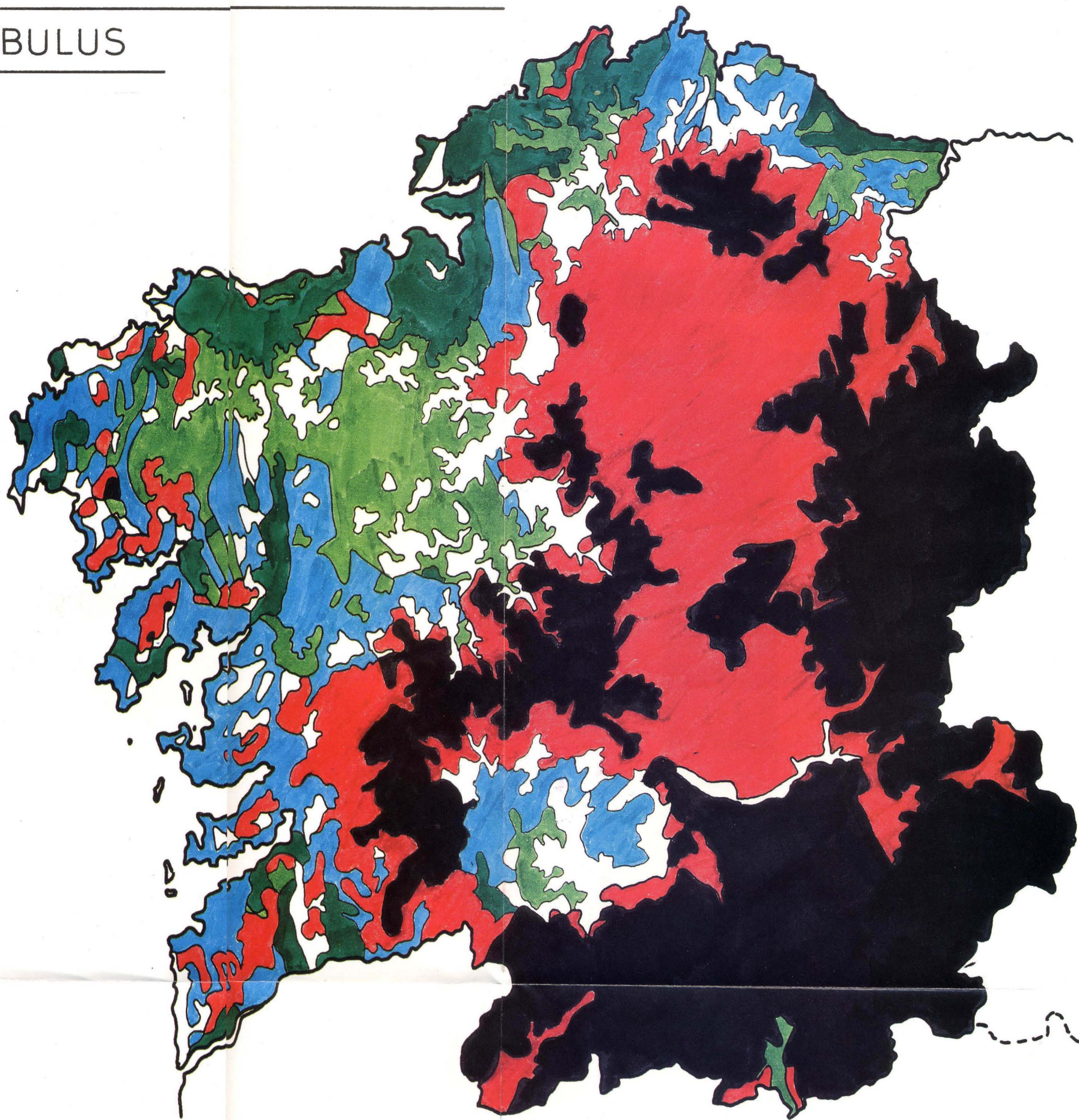


Fig. IV.8.- Clases de Aptitud para la producción de *E. globulus* en Galicia.

0 20 40 Km

MAIZ y afines

- OPTIMA
- MUY BUENA
- BUENA
- ACEPTABLE
- BAJA
- NO APTA

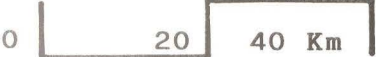
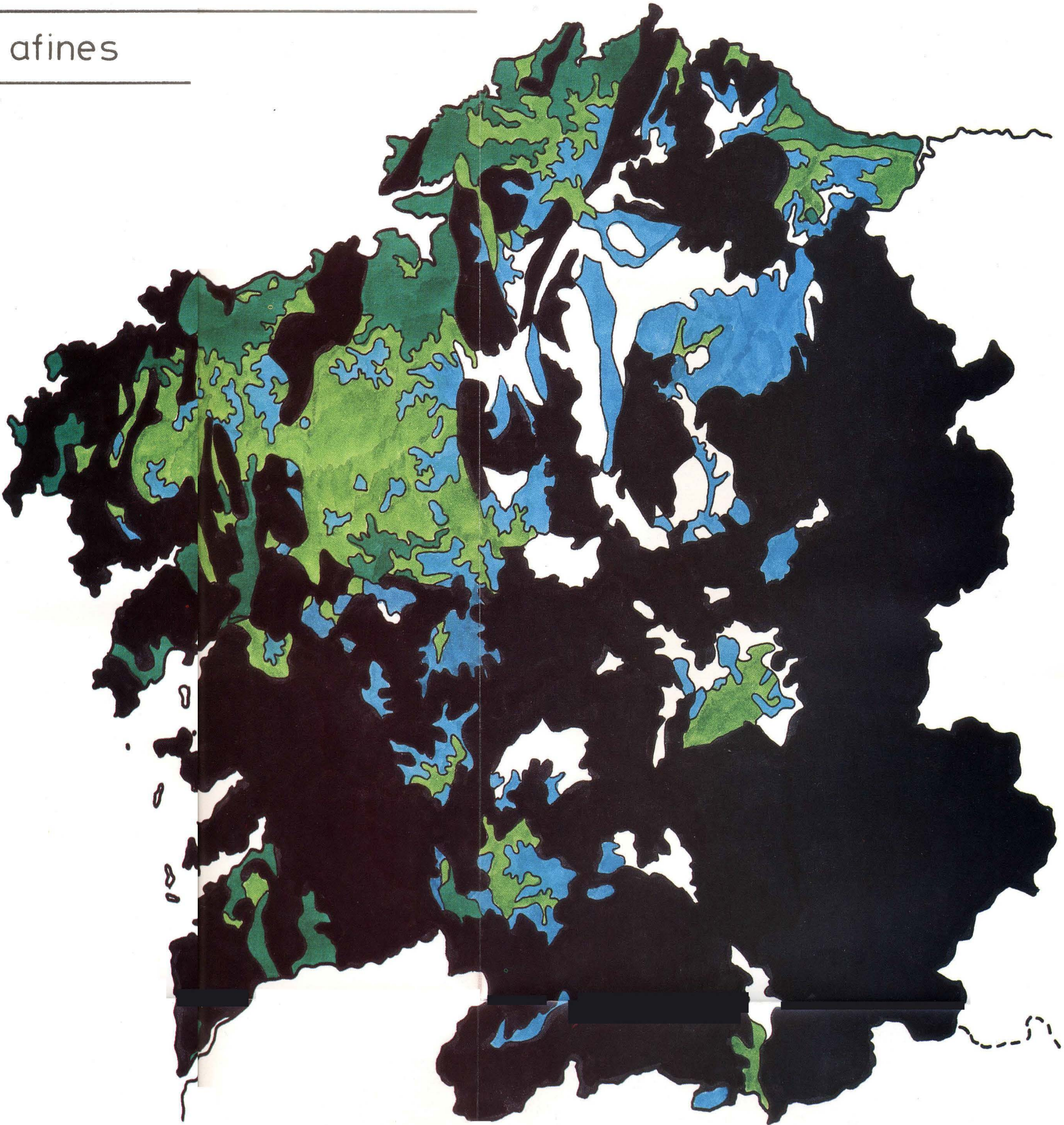


Fig. VI.6.- Clases de Aptitud del territorio para MAIZ y afines.

TRIGO y afines

OPTIMO
MUY BUENO
BUENO
ACEPTABLE
BAJO
NO APTA

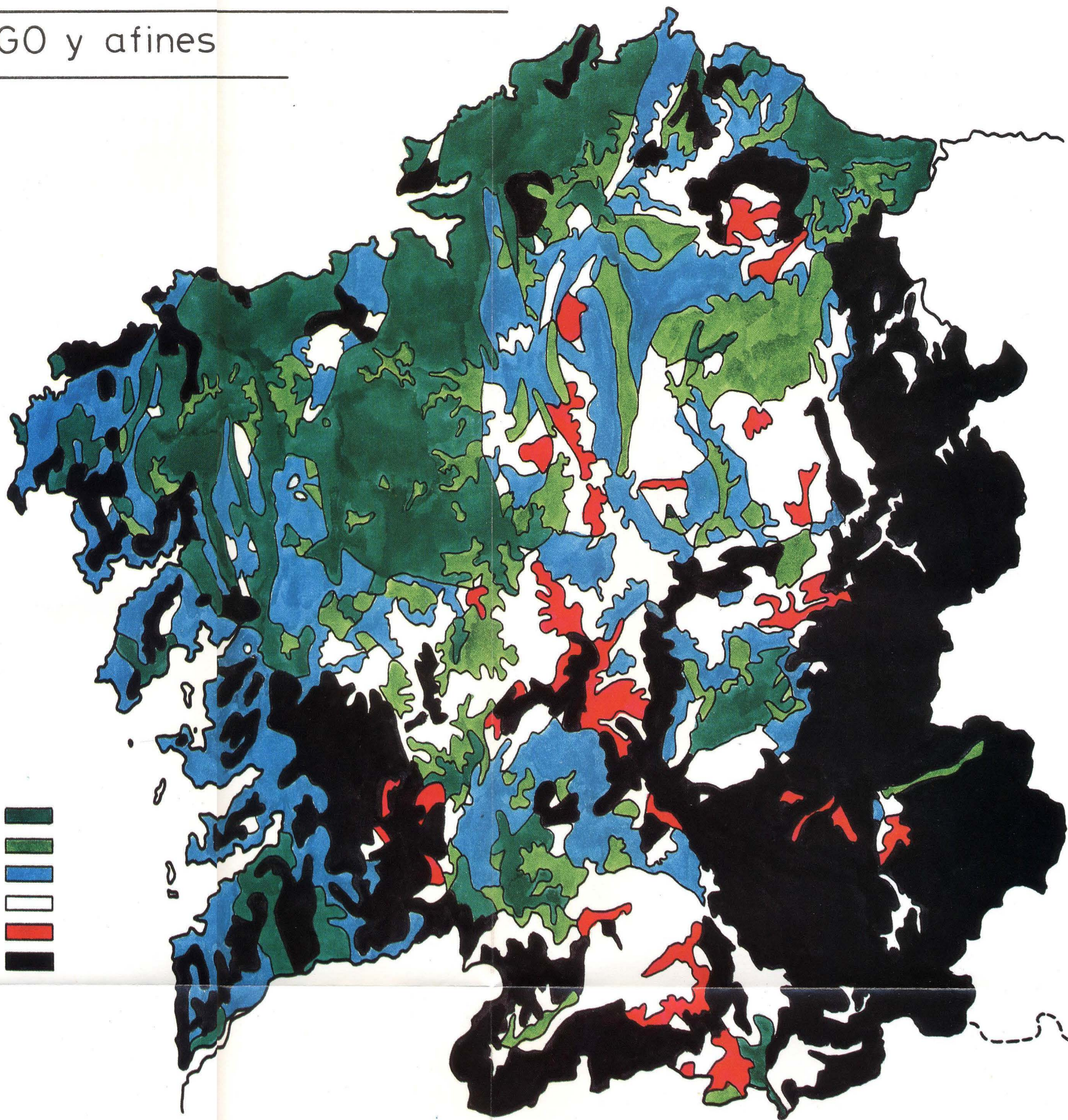


Fig. VI.7.- Clases de Aptitud: TRIGO y afines.

0 20 40 Km

PRADERAS

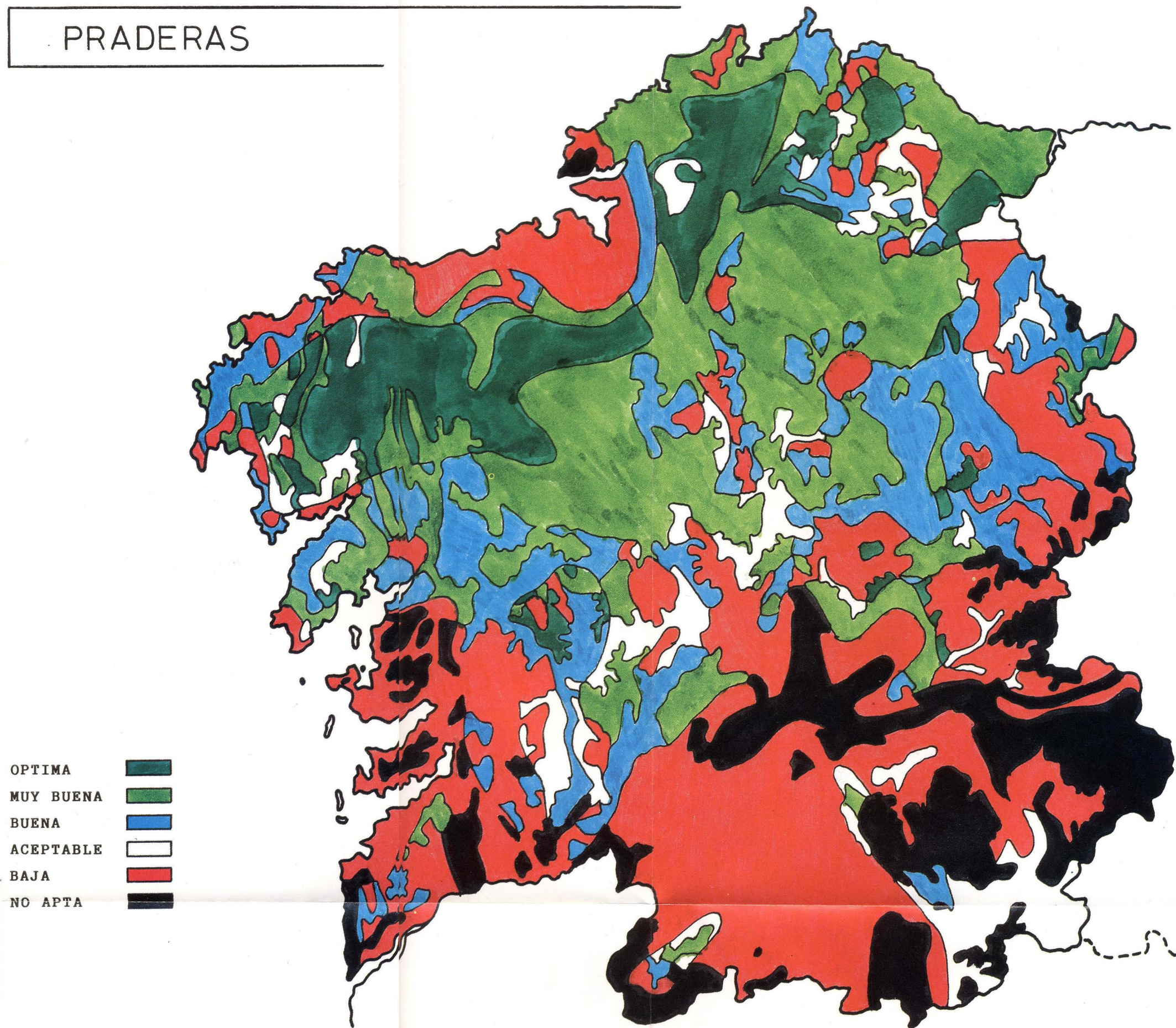


Fig. VI.8.- Clases de Aptitud: PRADERAS.

PINOS

OPTIMA
MUY BUENA
BUENA
ACEPTABLE
BAJA
MAS BAJA
NO APTA

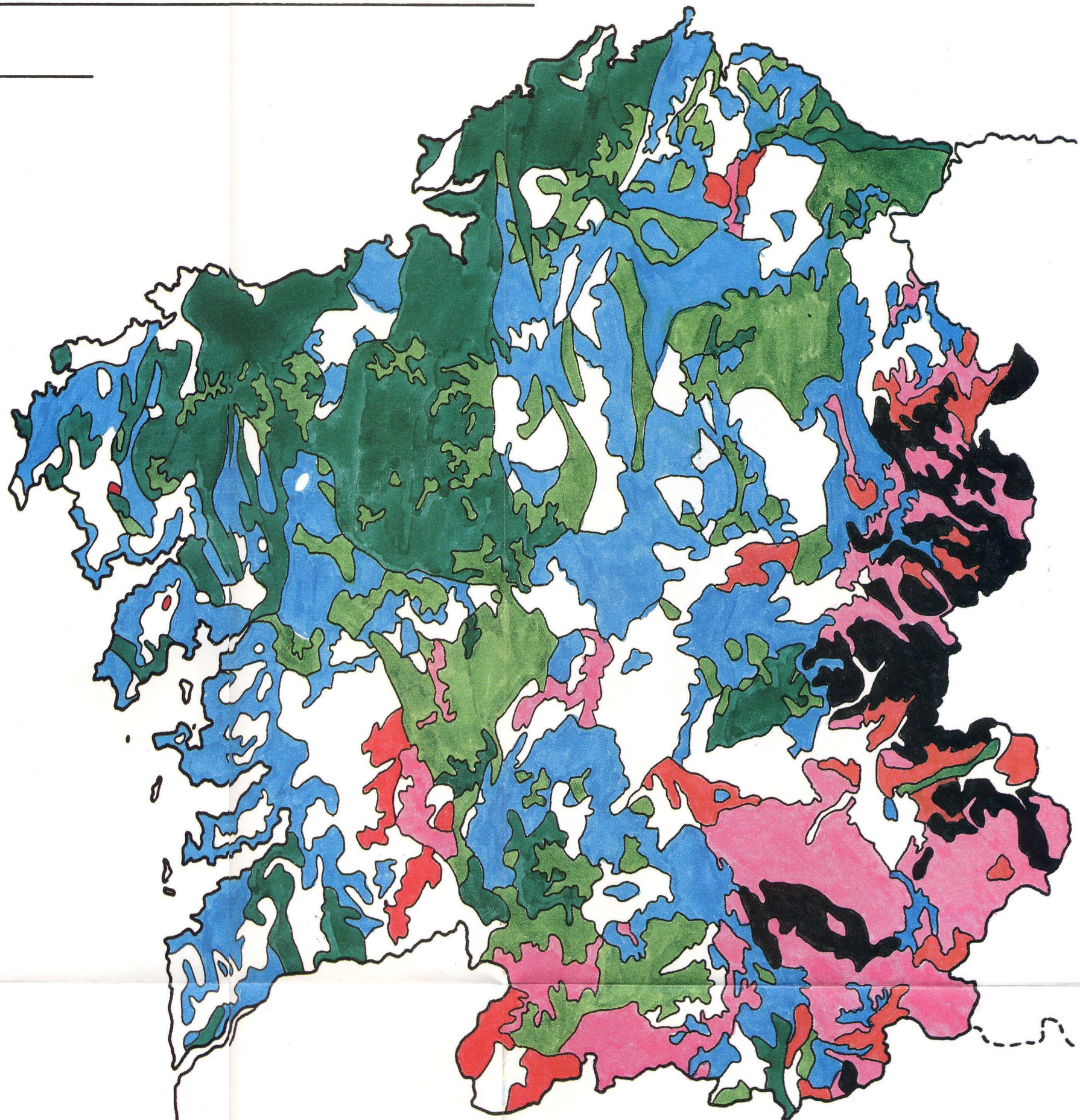
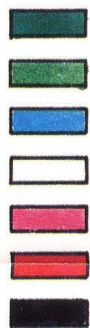


Fig. VI.9.- Clases de Aptitud: PINARES.

0 20 40 Km

CASTAÑO

OPTIMO
MUY BUENO
BUENO
ACEPTABLE
BAJO
NO APTA

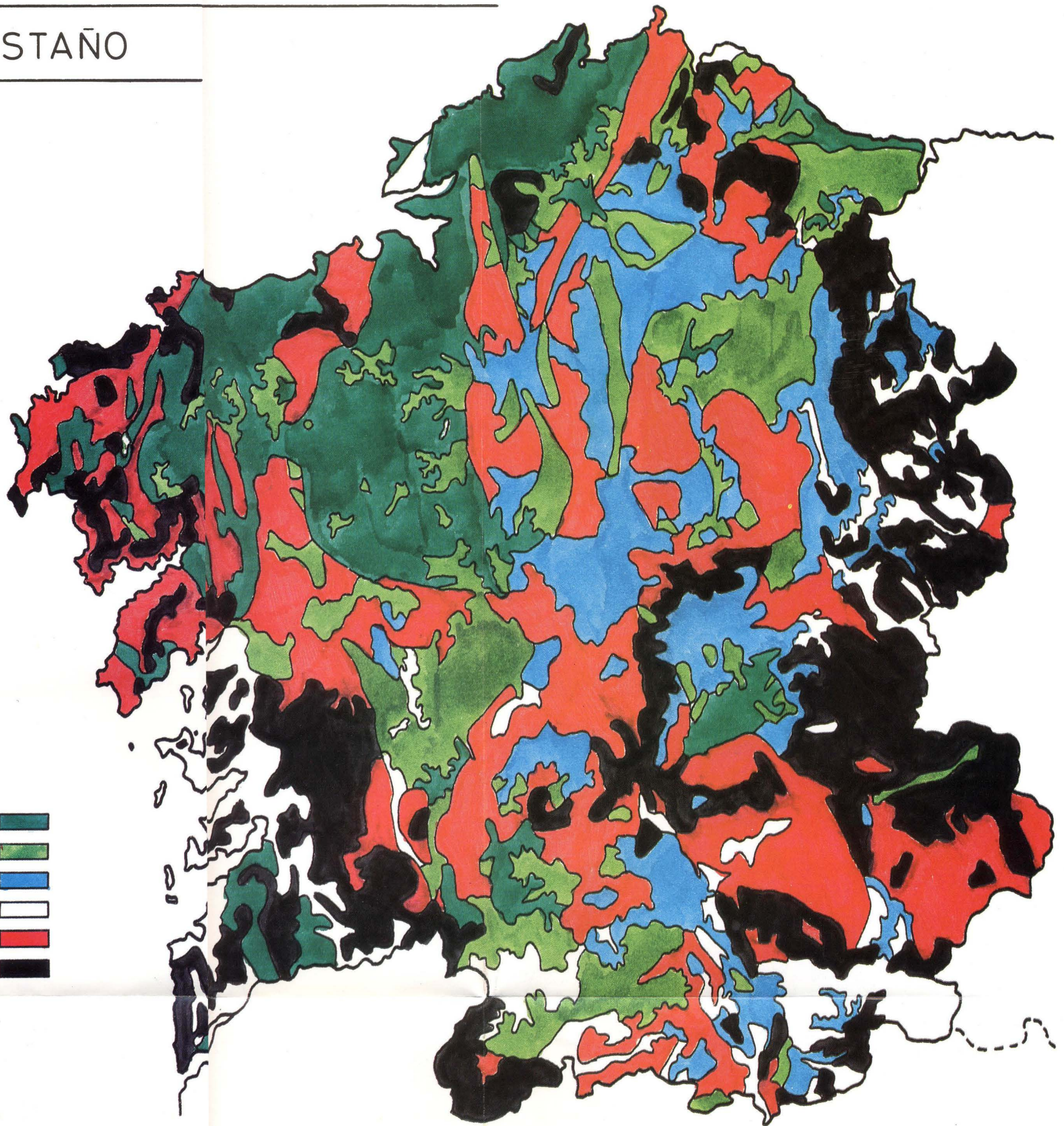


Fig. VI.10.- Clases de Aptitud: CASTAÑOS (*C. sativa*).

0 20 40 Km

