



## Conocimiento y principios de "micosilvicultura"

Javier Gomez, Jean Rondet



**Interreg**  
**POCTEFA**



Actuación subvencionada por:



**Gobierno de Navarra**  
**Nafarroako Gobernua**

Reyno de **Navarra**  **Nafarroako**  
Erresuma  
[www.turismo.navarra.es](http://www.turismo.navarra.es)

Proyecto financiado por FEDER Fondo Europeo de Desarrollo Regional / Projet financé par le FEDER · Fonds Européen de Développement Régional  
Eskualdeen Garapenerako Europar Funttsak (EGEF) diruz lagundutako proiektua



## Resumen

<b>Introducción</b>	5
<b>1- La silvicultura en el hayedo es generalmente favorable para la producción de setas comestibles</b>	6
1.1- La productividad del bosque de hayas en Boletus	6
1.2- La silvicultura conduce a un "rejuvenecimiento" de los ecosistemas que promueve la productividad de las setas comestibles	12
1.3 – La silvicultura promueve la acción de factores climáticos necesarios para las diferentes fases del desarrollo de los hongos comestibles, hasta su fructificación	16
<b>2- Factores de biotopo que el técnico forestal debe tener en cuenta si desea desarrollar el potencial de hongos comestibles de un monte.</b>	22
<b>La identificación de áreas forestales con retos micológicos dentro de este monte</b>	
2.1- La influencia de la roca madre en la productividad de las setas comestibles en los hayedos.	24
2.2- Relación entre la productividad en boletus y el nivel de fertilidad o "calidad de la estación forestal"	27
2.3- La relación entre la productividad en boletus y la orientación de la parcela	30
2.4- La relación entre la productividad en Boletus y la ubicación de la parcela en la pendiente	32
2.5- La relación entre la productividad en Boletus y la estructura de los horizontes de la superficie del suelo	34
<b>3- La silvicultura puede orientarse para garantizar una mejor productividad y la sostenibilidad de la producción de setas comestibles en el contexto del cambio climático</b>	38
3.1- La elección de las especies forestales	39
3.2- La cuestión de abrir el bosque a las influencias climáticas	44
3.3- Las edades de los árboles	47

*Un bosque de árboles está íntimamente relacionado, en el suelo, con cientos de hongos que viven en simbiosis con todas las raíces finas que proporcionan nutrición para los árboles. Por lo tanto, no deberíamos hablar de "sistemas de raíces" para árboles sino más bien de "sistemas micorrícicos" y no deberíamos hablar de "árboles" sino de "árboles-hongos" o "hongos-árboles"...*

*Hoy más que ayer, con el cambio climático, nos enfrentamos a un desafío: necesitamos comprender rápidamente cómo, a través de la silvicultura, podemos optimizar la simbiosis entre árboles y hongos.*

## Introducción: objetivos de este estudio

En muchos bosques europeos, la Haya es una especie favorable para los **Boletus del grupo edulis** (Hongo blanco/*Boletus edulis*, Hongo de verano/*Boletus aestivalis*, Hongo rojo/*Boletus pinophilus*). Sin embargo, esta productividad está condicionada por factores relacionados con la silvicultura (la densidad del bosque de los árboles, las condiciones de regeneración, etc.) y que también dependen de factores que están relacionados con el biotopo, como la naturaleza de la roca madre y del suelo, la exposición, el clima del suelo (calor, ventilación, agua en el suelo) ... Por otro lado, la haya y las mismas condiciones forestales que favorecen a los Boletus favorecen la producción de la mayoría de **las otras setas** buscadas.

**objetivo de este estudio bibliográfico es explicar:**

1. ¿Por qué la silvicultura en el hayedo es generalmente favorable para la producción de hongos comestibles?
2. ¿Cuáles son los factores del biotopo que el técnico forestal debe tener en cuenta si desea desarrollar el potencial micológico de un monte y cómo identificar las áreas forestales con estacas micológicas dentro de este monte?
3. ¿Cómo puede orientarse esta silvicultura para garantizar una mejor productividad y sostenibilidad de la producción de hongos frente al cambio climático?

Por lo tanto, este estudio permitirá a los propietarios y técnicos forestales evaluar el valor de las orientaciones silvícolas propuestas. También permitirá que el público en general comprenda mejor el interés y los métodos de la silvicultura sostenible y que esto se adaptará bien a la conservación forestal si tiene en cuenta las funciones ecológicas de los hongos silvestres.

## 1- La silvicultura en el hayedo es generalmente favorable para la producción de setas comestibles

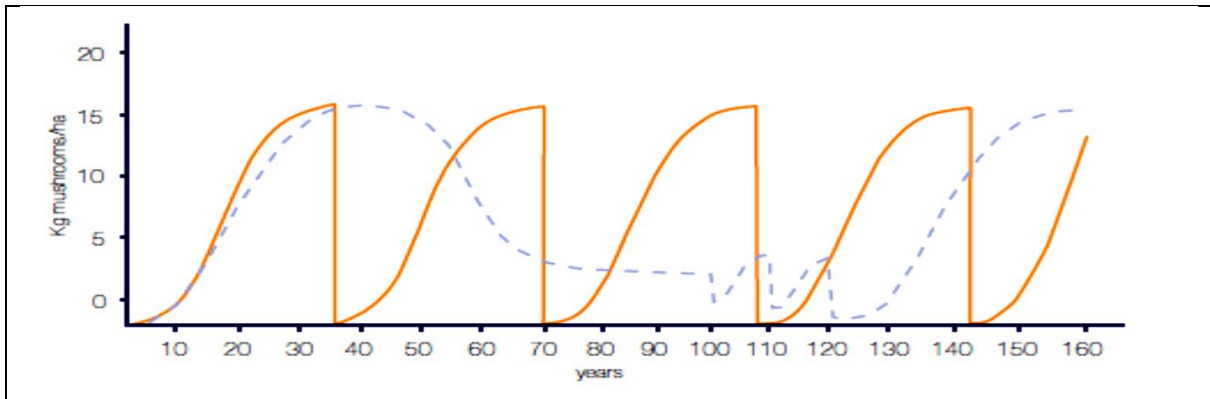
### I.1 - La productividad del bosque de hayas en *Boletus*

Un primer método utilizado para estimar esta productividad se basa en el principio de dividir la producción global promedio por el área forestal del territorio.

#### El caso de Borgorato.

El territorio se encuentra en la provincia de Parma, en Emilia-Romaña. Es el mejor ejemplo de una organización social de recolección y comercialización de hongos, así como la silvicultura dedicada simultáneamente a la producción de madera y hongos, en 22,000 ha. Esta silvicultura mixta, la organización de la recolección y el desarrollo económico, ya antiguos, se justifican por el hecho de que los ingresos del territorio (ingresos forestales, ingresos de las empresas agroalimentarias y turísticas) relacionados con los boletus son más importantes que los de la madera. Parte del "ingreso de boletus" está dedicado a la silvicultura. Debido a esta gestión y a esta organización, se conocen los rendimientos precisos de los *Boletus*. Estos rendimientos suman los rendimientos de *Boletus edulis*, *Boletus pinophilus* y *Boletus aestivalis* (Hongo negro/*Boletus aereus* también está representado, pero en bosques mixtos de Hayas / Castañas o Hayas / Robles). En el caso de este territorio, la silvicultura se ha estudiado durante mucho tiempo con el objetivo de promover la producción de *Boletus*. Esto condujo a dos modos de gestión de los hayedos que se muestran en la siguiente figura.

**Figura:** Producción de boletus durante la revolución de 35 años de **árboles forestales de cultivo corto** y durante la revolución de un **hayedo regular**



Un primer modo de silvicultura es el "bosque regular": todos los árboles en el bosque se cultivan juntos y esto se explota cuando los árboles han alcanzado una edad operativa de 100 a 120 años. La explotación y la regeneración se realizan durante 20 años (2 cortes de regeneración antes del corte final). La curva azul punteada muestra que la producción de boletus es máxima cuando los árboles tienen 35 años y luego disminuye a la mitad cuando los árboles tienen 60 años y se estabiliza alrededor de una cuarta parte de la producción máxima cuando los árboles tienen 70 años.

Tras observar este fenómeno, los propietarios y gerentes adoptaron una parte de la gestión de los bosques en forma de plantas forestales de rotación corta: los troncos de haya que crecen de los tocones se explotan a los 35 años. Después del corte, los tallos vuelven a crecer y se cortarán 35 años después, etc. Este método se ha utilizado en Francia en el castaño. Si esta silvicultura en realidad no es muy sostenible y hoy está orientado de manera diferente (conversión en bosque), fue posible visualizar claramente que la producción de Boletus está bien correlacionada con la edad de los tallos. También encontramos los mismos resultados en el caso de los arbustos de castañas que se han estudiado en Dordoña... La ventaja en términos de producción de Boletus es aumentar ligeramente la producción

promedio de hongos por hectárea por año y tener períodos más cortos de baja producción: durante el período de revolución de 35 años, hay veinte años durante el cual la producción es más de la mitad de la producción máxima de los mejores años.

En este estudio italiano, los rendimientos promedio para el territorio se estiman en un nivel de 15 Kg / ha, con, por supuesto, fluctuaciones muy importantes relacionadas con el clima. Este rendimiento significativo parece estar relacionado con la silvicultura muy específica que se lleva a cabo en el territorio y, sobre todo, dedicada a la producción de Boletus.

**En la Toscana**, un estudio detallado de la productividad de los bosques de hayas (no gestionados específicamente para la producción de Boletus) ha llevado a una estimación de la cosecha de 3.1 a 4.2 kg / ha / año. (Bartolozzi -1988).

### **El caso del «Plateau de Millevaches», en el departamento de Creuse -Francia.**

Un estudio de 1990 se basa en la evaluación de las cantidades de Boletus recolectados en una superficie forestal específica por una compañía recolectora (50 t de Boletus / año) con derechos exclusivos de recolección en un perímetro preciso de unos pocos municipios. En ese momento, los habitantes vendían la mayoría de los Boletus a empresas de recogida de setas que "compartían el territorio" a través de acuerdos de "buena vecindad" y "paz comercial", y los hongos se enviaban todas las noches. en camiones refrigerados en Italia. Esta evaluación se complementó con numerosas entrevistas con recolectores en quienes esta empresa confiaba. Los recolectores acordaron cooperar en un estudio que respetara el anonimato y que buscara encontrar soluciones forestales que permitieran renovar el potencial para la producción de Boletus en los bosques del territorio.



De hecho, los recolectores sabían que los bosques más productivos (plantaciones de abetos jóvenes / *Picea abies* o *Abies alba*) estaban condenados a desaparecer a corto plazo. El objetivo de las entrevistas fue comparar los rendimientos de los diferentes tipos de bosques con la mayor precisión posible. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Futaies, futaies/taillis et taillis simples de chênes, hêtres, chataîgners	85 000 ha	10 Kg/ha	850 tonnes
Futaies (plantations) d'épicéas ( <i>Picea abies</i> ), de sapins ( <i>Abies alba</i> , <i>A.grandis</i> )	22 500 ha	60 Kg/ha	1350 t (=56 %)
Taillis/futaies épicéas, sapins dominants	1250 ha	30 Kg/ha	40 t
Futaies et futaies/taillis Pins sylvestres	7740 ha	10 Kg/ha	80 t

(enquête Creuse, 1990. « Economie et écologie des cèpes en Creuse » - J. Rondet, 1990)

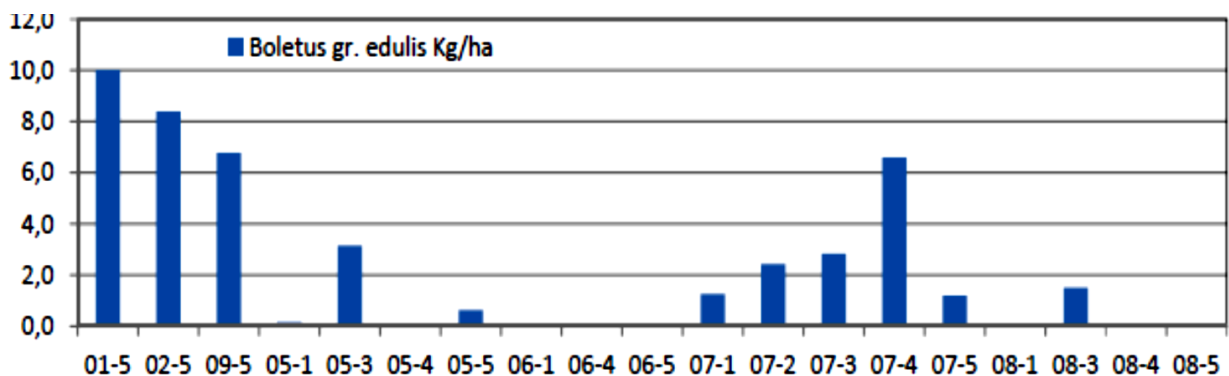
**Figure 2 :** Productions de cèpes de première catégorie (*hyménium blanc*) sous différents peuplements dans les années 85-90.

Los bosques de haya, bien representados en este territorio de media montaña y en las 85,000 ha indicadas en la primera línea de la tabla, produjeron diez Kg / ha / año de *Boletus*. Se notará que en ese momento el clima aún no planteaba problemas de sequía y que los bosques aún eran relativamente jóvenes, lo que a menudo resultaba de la reforestación espontánea de tierras de cultivo y prados progresivamente abandonados.

## El caso de la Navarra

Otro método de estimación más científico se basa en el principio de recolectar todos los Boletus de una "parcela forestal", lo suficientemente grande como para ser representativo de una unidad de ordenación (una unidad de ordenación teniendo una superficie a menudo de al menos una a unas pocas hectáreas), esta parcela forestal en sí misma es representativa de parte de una masa forestal. En la parcela, los hongos comestibles se cuentan y se pesan, por especie, durante varios años para estimar un promedio por ha (las cifras de las parcelas se reducen a la hectárea).

En Navarra, un estudio incluyó, entre 2005 y 2010, 60 parcelas, incluidas 19 parcelas ubicadas en el área micológica de Irati. Los rendimientos promedio de Boletus para estos años se dan en el siguiente gráfico: el promedio de las 19 parcelas es de 2.4 kg / ha / año, con parcelas de productividad muy diversas.

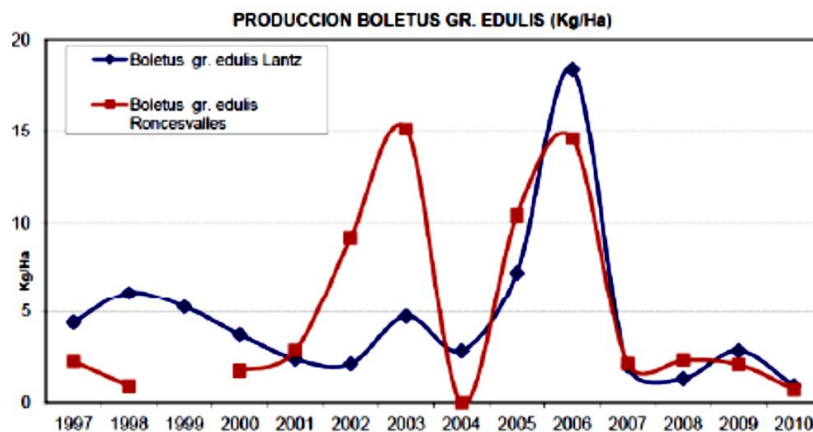


**Figura:** producción promedio de Boletus/ha, medida en 19 parcelas del bosque de hayas de Navarra.

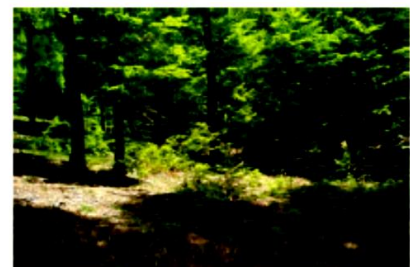
De acuerdo con J. Gómez. Fuente: Servicio Forestal del Gobierno de Navarra.

Otra observación realizada en Navarra, en dos bosques de hayas, proporciona datos de 14 años.

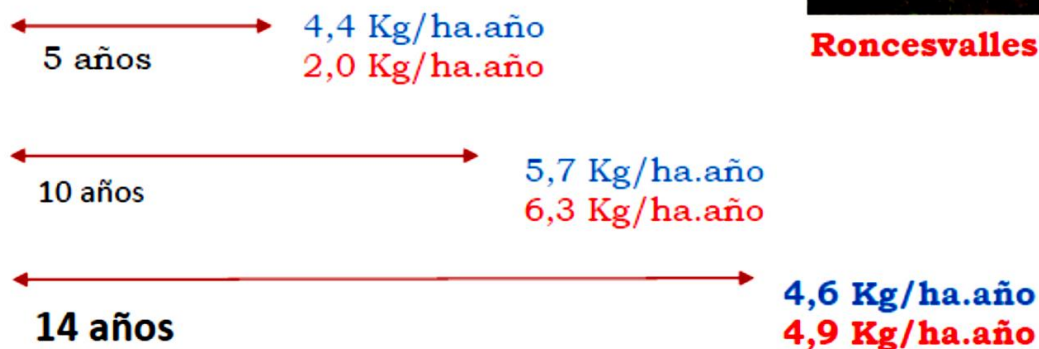
Muestra las variaciones significativas en la producción de un año a otro y una producción promedio durante los 14 años de 5 kg / ha / año de Boletus.



**Lantz**



**Roncesvalles**



**Figura:** Producciones de Boletus medidas durante largos períodos en dos bosques de hayas. Según Javier Gómez - Garapo - Fuente: Servicio Forestal del Gobierno de Navarra.

### Conclusiones:

- El bosque de hayas tiene un buen potencial para producir Boletus.
- Sin embargo, veremos que la productividad varía de acuerdo con muchos factores.
- Algunos de estos factores pueden mejorarse.

## I.2 - La silvicultura conduce a un "rejuvenecimiento" de los ecosistemas que promueve la productividad de las setas comestibles

Las setas comestibles más populares y recolectadas son especies pioneras (*Lactarius deliciosus*, debajo del pino silvestre, por ejemplo) o bastante pioneras (las cuatro especies de *Boletus* gr. *edulis*). Estas son especies que la gente rural de la antigüedad solía apreciar y que se desarrollaron bien en bosques anteriormente muy explotados. De hecho, la densidad de la población agrícola del siglo XIX era muy fuerte y las masas forestales bien explotadas para diferentes usos: madera para la construcción, estacas, mangos de herramientas, carbón en el caso de la haya, etc.

El *Boletus* se ve así favorecido por un rejuvenecimiento regular del ecosistema forestal. Este "rejuvenecimiento" está principalmente relacionado con tres factores:

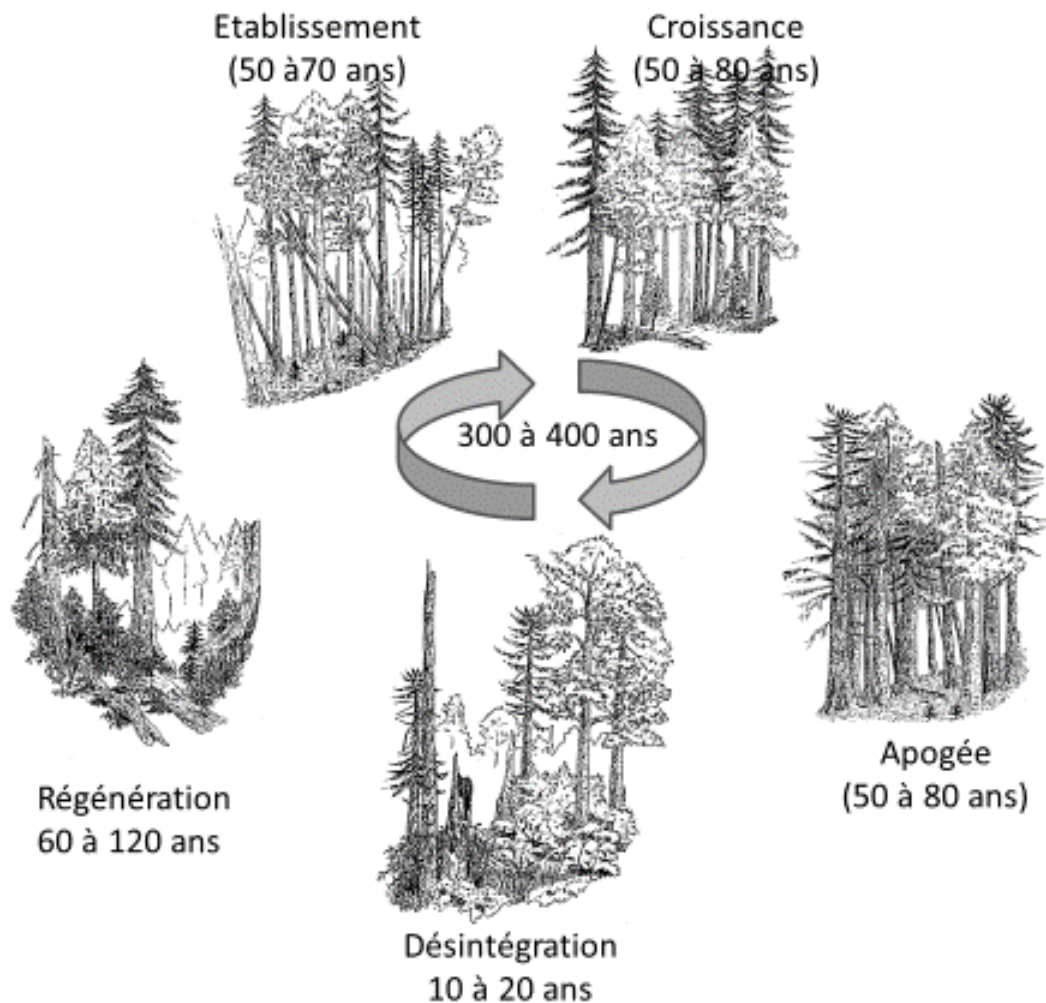
**a- La explotación regular de los árboles ha alcanzado una etapa "adulto":** esta eliminación de árboles adultos favorecerá el desarrollo de árboles nuevos y más jóvenes que los reemplazarán.

**b- La apertura de la cubierta forestal** causada por las claras y la explotación de los árboles: esta apertura promueve un reciclaje más rápido de la hojarasca formada por materia orgánica muerta y este reciclaje evita acumulaciones significativas de hojarasca y reciclaje lento que caracteriza los suelos forestales muy avanzados.

**c- "rejuvenecimiento" regular de la hojarasca:** en las montañas, la erosión debida al deslizamiento de la nieve en las laderas regularmente baja las hojas de haya y, por lo tanto, "rejuvenece" la hojarasca continuamente. Esto parece ser un factor importante para explicar la productividad en los *Boletus*. Volveremos más tarde.

comprender el concepto de "bosque joven", debe tenerse en cuenta que el "ciclo silvigenético natural" del bosque de hayas o del bosque

de abetos es de 300 a 400 años, cuando por lo tanto se deja " libre evolución. El bosque tiene una proporción de árboles muy viejos. La regeneración tiene lugar solo en los claros causados por la caída de árboles muy viejos. Al caer, crean claros en los que el ciclo puede comenzar de nuevo, a partir de plántulas jóvenes de haya y abeto.



**Figura: diagrama del ciclo silvícola del bosque de hayas y abetos cuando se deja en "evolución libre". (Después de Gonin - 1988)**

*En los bosques gestionados, el ciclo se limita a las tres fases de regeneración, establecimiento y crecimiento y dura 150 años.*

### **El efecto del rejuvenecimiento de los bosques**

El ejemplo de Borgotaro, analizado anteriormente, muestra bien este efecto en el caso de los Boletus que crecen en la Haya. El mismo efecto se observa en otras especies de árboles favorables para los Boletus. Esto muestra que este efecto está relacionado con la ecología de los Boletus, que por lo tanto se desarrollan bien debajo de los árboles jóvenes.

### **El efecto de rejuvenecimiento vinculado a una hojarasca que se recicla rápidamente**

Es muy posible que los Boletus tengan una función importante en la degradación de la hojarasca. Los Boletus son hongos micorrícicos, que se alimentan de azúcares (y otras moléculas carbonosas) producidos por la fotosíntesis y transportados por la savia producida desde las hojas a las raíces y desde allí a los micelios de los hongos que forman **micorrizas** con las raíces: pequeñas zonas de intercambio nutritivo entre árboles y hongos. Pero muchos investigadores ahora creen que al menos algunos de los hongos micorrícicos, como los cuatro Boletus del grupo edulis, pueden alimentarse en paralelo como lo hacen los hongos saprotróficos al degradar la hojarasca de hojas o agujas. Sin embargo, esta actividad de degradación se ve favorecida por un calentamiento del suelo y una humectación suficiente de la hojarasca, dos condiciones favorecidas por una apertura del medio que permite la penetración de agentes climáticos. La verificación de esta hipótesis de una función saprotrófica de los Boletus está actualmente prevista, gracias a las técnicas de biología molecular que facilitan la identificación de a qué especie pertenece el micelio presente en las hojarascas.

### **c- El efecto de rejuvenecimiento vinculado a la erosión de la hojarasca, por el viento y la nieve.**

Cada período de calentamiento, durante el invierno o la primavera, suaviza la nieve y tiende a descender en flujos que conducen a las hojas. En bosques abiertos a los efectos del viento, el viento también puede conducir a la erosión de la hojarasca desde la parte superior de las pendientes hacia las áreas de acumulación, en el fondo de las pendientes, en áreas planas o contra obstáculos como la madera muerta en el suelo. Las observaciones conducen a la hipótesis de que esta erosión promueve el desarrollo de los Boletus por dos razones. La primera es que el suelo privado regularmente de su hojarasca se agota constantemente. Este agotamiento de la fertilidad del suelo parece ser un factor muy favorable para el desarrollo de estos hongos que funcionan precisamente para ayudar a los árboles en situaciones de baja fertilidad. La segunda razón es quizás una afinidad nutricional del Boletus para hojarasca muy jóvenes ("jóvenes" porque se renuevan cada año), si se verifica la hipótesis de un funcionamiento saprotrófico de este tipo de hongo.

En los Altos Pirineos, la eliminación de la hojarasca de hojas de haya para servir como cama para el ganado parece haber tenido un efecto beneficioso en el pasado en la producción de Boletus, como ha sido el caso en otros contextos (ejemplo de Dordoña) con la eliminación de hojas de castaño.



**Foto:** ejemplo de acumulación de hojarasca en un bosque de hayas de Irati (Soule).

### **I.3 – La silvicultura promueve la acción de factores climáticos necesarios para las diferentes fases del desarrollo de los hongos comestibles, hasta su fructificación.**

Numerosas observaciones establecen el vínculo entre las claras en los bosques y el aumento de cuerpos fructíferos.

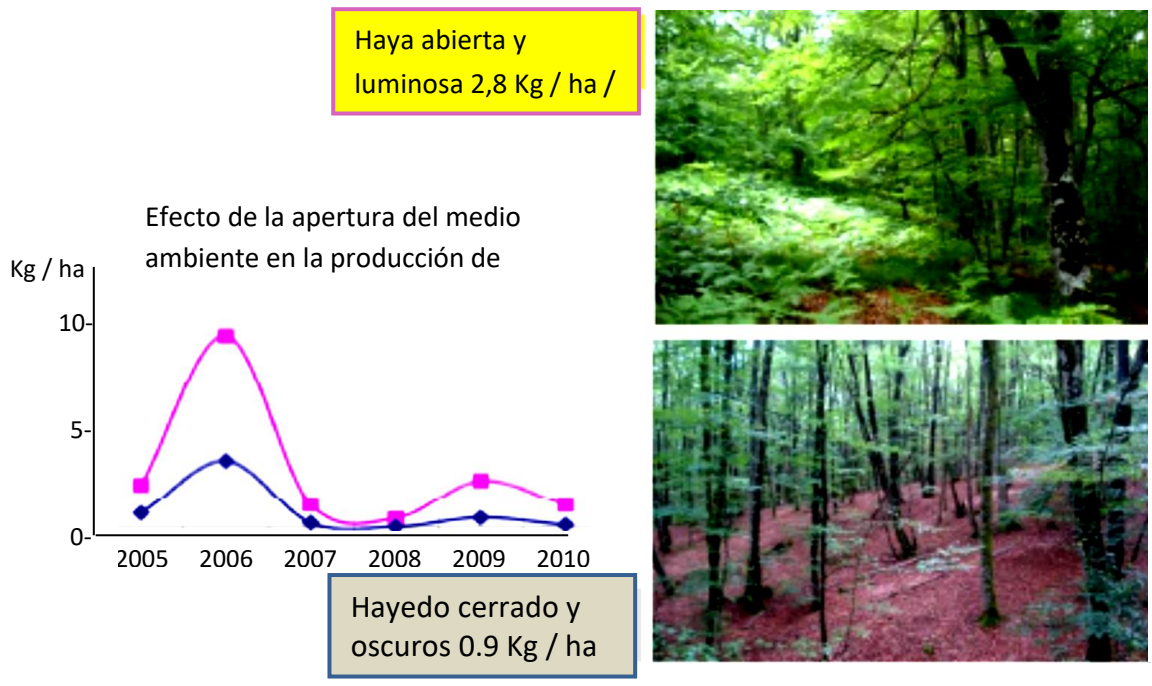
Los experimentos más científicos realizados sobre este tema de las relaciones entre claras y fructificación se han realizado en Cataluña y en Castilla y León en bosques de pino (pino silvestre, pino negro, pino Halep). Estos experimentos resaltan una relación entre la productividad de setas de un bosque y un criterio forestal llamado "área basal".

Este criterio designa la suma de todas las áreas de las secciones de los troncos de los árboles de una hectárea, considerada a 1,30 m de altura. Se puede realizar una medición precisa de este criterio midiendo todos los diámetros de todos los troncos a esta altura de 1,30 m sobre el suelo. También hay un método de estimación mucho más simple que el lector puede encontrar en trabajos especializados.

El valor del área basal refleja la densidad de la masa forestal y parece un indicador bastante bueno de la capacidad del bosque para producir setas. Las observaciones realizadas en Cataluña y Castilla y León en los bosques de pinos muestran que un área basal modesta (alrededor de 20 m<sup>2</sup> / ha) es favorable.

En los bosques de hayas de Navarra, estas son observaciones comparativas entre bosques "abiertos" y bosques más « cerrados" con respecto a las influencias climáticas. Se han hecho muchas observaciones en Navarra. Destacan la relación entre un factor, la **luminosidad**, que refleja el grado de apertura del bosque.



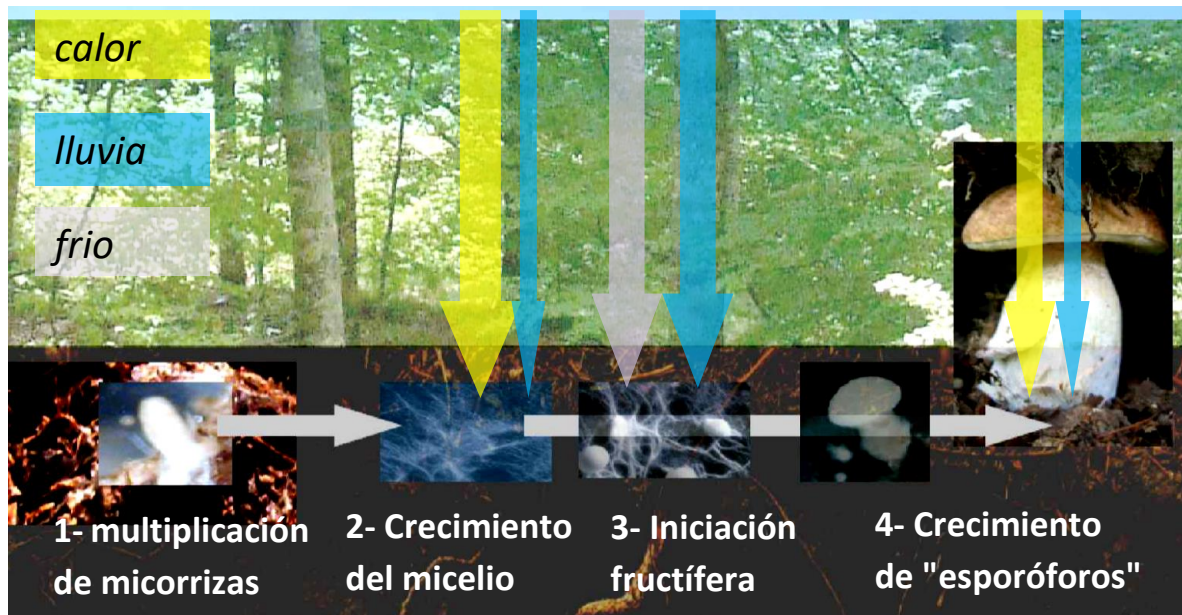


**Figura:** producciones de *Boletus gr. edulis* en dos bosques de hayas de Navarra, "luminoso" (curva rosa) y "oscuro" (curva azul), medido durante largos períodos.

Por ejemplo, estos dos bosques de hayas que cumplen con la misma exposición y condiciones del suelo, pero tienen dos grados diferentes de apertura muestran una productividad diferente. Es difícil medir técnicamente la luminosidad. Debería haber más sensores. Por otro lado, este criterio de luminosidad se traduce concretamente por el hecho de que la luz llega o no al suelo (o en la superficie de la capa herbácea y arbustiva que puede cubrir el suelo). La presencia de una capa herbácea o arbustiva refleja indirectamente las áreas abiertas de la cubierta forestal. Un criterio de apertura es también la presencia de áreas para sembrar y árboles jóvenes que pueden crecer en áreas que reciben suficiente luz.

## ¿Cómo entender los efectos de la apertura de la cubierta forestal en la productividad de los Boletus?

El manual de micosilvicultura desarrollado en el programa Micosylva + recuerda el ciclo de desarrollo de los Boletus:



**Figura:** el ciclo de vida del *Boletus edulis* y la influencia de factores climáticos. (Según Rondet et al, 2015 - Programa Micosylva + interreg)

**1- multiplicación de micorrizas:** La condición inicial es la presencia y multiplicación en los sistemas de raíces de micorrizas que asocian las raicillas de los árboles y el micelio porcino. En un antiguo bosque de hayas, la colonización de nuevas raicillas por el boletus se realiza principalmente a partir de un reservorio de micelio ya presente en los sistemas de raíces de los árboles en el lugar y en el suelo. En el caso de la reforestación, el micelio provendrá preferentemente de especies pioneras como el abedul y el pino silvestre. Las dríadas como el haya y el abeto se beneficiarán de una transferencia de micelio de Boletus de estas especies pioneras presentes en su vecindario.

**2- Crecimiento del micelio.** Entonces es necesario que el Boletus se propague de las micorrizas y se acumule en abundancia en el suelo. Este crecimiento del micelio supone suficiente calor en la superficie del suelo (en los primeros 10-15 cm del suelo, que es donde se alojan la mayoría de las micorrizas y el micelio). El calor "suficiente" significa 18 ° C, a menudo con un óptimo para el crecimiento de alrededor de 22 ° C (sabiendo, sin embargo, que este óptimo varía según las diferentes "tipos genéticos" de Boletus). Hasta tiempos recientes, este tipo de temperatura (20 a 22 ° C) se estabilizó durante un cierto tiempo en el suelo solo en verano y principalmente en un bosque beneficiándose de un sol que llegaba al suelo, es decir en un bosque bastante abierto. Hoy, con el cambio climático, podemos pensar que los bosques no necesitan estar tan abiertos como antes para permitir este calentamiento del suelo.

Esta fase de crecimiento del micelio también supone un suministro suficiente de **agua**, lo que también se verá favorecido por la apertura del medio. De hecho, una lluvia de 10 mm tendrá dificultades para ganar el suelo cuando caiga sobre una demasiado denso. El follaje retiene estos primeros mm, que luego se evaporan antes de que d han podido llegar al suelo.

**3- Iniciación fructífera.** Para las setas que crecen en el otoño, una ola de frío debe preceder al período de fructificación. Este enfriamiento debe ser de al menos alrededor de 5 ° C y mantenerse durante varios días. La apertura del medio ambiente tiene una acción contrastante sobre este factor: por un lado, la apertura puede favorecer levemente esta penetración del frío, pero al mismo tiempo puede favorecer un calentamiento durante el día. Por otro lado, esta apertura del medio favorecerá claramente la penetración de la lluvia, como ya hemos mencionado anteriormente con respecto al crecimiento del micelio. La lluvia que llega al suelo debe ser suficiente para "ahogar" por un momento la capa de tierra que alberga el micelio. Dependiendo del suelo, la cantidad de agua requerida será diferente, pero, en cualquier caso, la apertura de la cubierta forestal favorecerá la penetración de la lluvia. Esta fructífera iniciación da como resultado la formación, en la red de micelio, de pequeñas "bolas" de micelio llamadas "primordios", que tienen 1 o 2 mm de diámetro.

**4- Crecimiento de "esporóforos".** Finalmente, estos primordios evolucionarán durante 8 a 15-20 días (8 días si el suelo está cerca de 20 ° C, 15 días si la temperatura del suelo está cerca de 14 ° C ...) para alcanzar el tamaño y el peso ideal para la recolección. Este proceso supone un cierto calor (se interrumpe al acercarse el invierno cuando la temperatura promedio cae por debajo de los 7 ° C) y también cierta humedad del suelo. Esta humedad del suelo es provista por suficiente lluvia y, a veces, por flujos laterales de agua tan pronto como el suelo está inclinado: la lluvia que cae río arriba puede acumularse más abajo y, por lo tanto, promover la fructificación en un área de acumulación de agua. Esta humedad también se ve favorecida por los horizontes superficiales del suelo con buena capacidad de almacenamiento de agua.

Observaciones repetidas en Dordoña han demostrado una estrecha relación entre la humedad del suelo y el peso promedio de los *Boletus aestivalis* y *B.aereus*. Por lo tanto, el peso promedio ideal de estos Boletus es de 200 g por seta. Si la humedad es insuficiente, el peso promedio cae rápidamente a 50 g por seta. Para esta seta que tolera bastante bien la sequía, un exceso de agua en el suelo dificulta el funcionamiento del micelio. En este caso, el peso promedio también tenderá a 50 g. Por otro lado, es probable que la especie *Boletus edulis* admita un suelo más húmedo.

**Una observación muy importante** también obtenida en Dordoña es la siguiente: si la temperatura sube demasiado a la superficie del suelo (por encima de un **máximo de 27 ° C** durante el día) durante los días posteriores al inicio de la fructificación, el proceso de fructificación está bloqueado.

Hoy, esta temperatura se alcanza con mayor frecuencia que en el pasado y esto significa que los suelos forestales deberían estar menos expuestos a la radiación solar si el técnico forestal desea promover la producción de hongos.

**Conclusión sobre la importancia de la silvicultura para la producción de hongos comestibles en el bosque de hayas:**

La silvicultura permite el rejuvenecimiento de los ecosistemas y esto es favorable al desarrollo de hongos bastante pioneros como los boletus y las otras setas más recolectadas.

La silvicultura conduce a una apertura regular de los bosques que favorece la penetración de agentes climáticos: en particular, la lluvia que puede desencadenar la fructificación y mantener suficiente humedad del suelo durante la fase de crecimiento de la fructificación.

*2- Factores de biotopo que el técnico forestal debe tener en cuenta si desea desarrollar el potencial de hongos comestibles de un monte.*

*La identificación de áreas forestales con retos micológicos dentro de este monte.*

Estudios recientes anteriores sobre la ecología de las principales especies comestibles confirman las observaciones de los recolectores de setas que conocen bien sus respectivos territorios. Ciertos factores del biotopo condicionan fuertemente el desarrollo de setas comestibles, sabiendo que será necesario especificar si estos factores condicionan más bien la instalación de las micorrizas de las especies buscadas o más bien las fases posteriores de desarrollo que conducen a la fructificación (fases 2, 3 4).

Conocer los factores del biotopo que favorecen la fructificación le permite al gestor forestal identificar las parcelas forestales con "interés micológico", es decir, que tienen un potencial particular para la producción de setas comestibles y en las cuales las medidas de silvicultura adaptadas pueden ser tomado para este propósito.

También veremos que las parcelas correspondientes a las estaciones que son pobres en términos de fertilidad para los árboles tienen el mejor potencial para el desarrollo de hongos micorrícicos comestibles. Por lo tanto, en el caso de las parcelas que no son muy fértiles para los árboles, las setas comestibles representan un recurso interesante.

Los factores de biotopo que se reconoce que tienen una influencia significativa en la productividad de los hongos son los siguientes:

**1) La naturaleza de la roca madre.** Veremos que los suelos formados en sustratos de piedra caliza son menos favorables que los suelos formados en rocas menos ricas en bases.

**2) El nivel de fertilidad de la estación forestal.** Es un factor sintético que se evalúa mediante un análisis florístico de "plantas indicadoras", la dinámica de crecimiento de los árboles, observaciones de formas de humus y observaciones sobre el suelo y el clima. Veremos que la productividad en setas es mayor en bosques instalados en estaciones con bajos niveles de fertilidad.

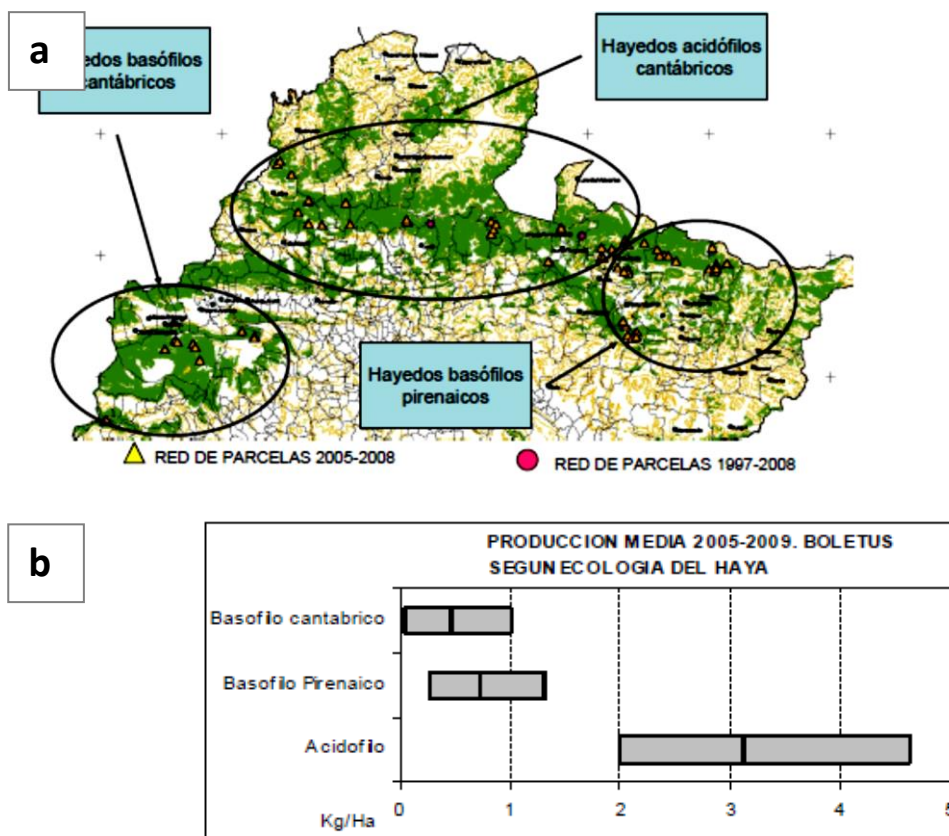
**(3) La exposición del bosque.**

**(4) La ubicación de la parcela en la pendiente.**

**(5) La estructura de los horizontes de la superficie del suelo.** Este factor depende tanto de la roca madre como del bosque que vive en ese suelo.

## 2.1- La influencia de la roca madre en la productividad de las setas comestibles en los hayedos

Se hace una distinción típica entre el hayedo acidifílico, que se desarrolla en las rocas que acidifican los suelos (granitos, areniscas, esquistos ...) y el hayedo calcáreo que se desarrolla en los suelos formados en rocas calizas. Estos suelos son menos ácidos porque son naturalmente más ricos en "bases". La relación entre sustrato geológico y productividad ha sido bien estudiada en Navarra. La productividad de los hongos se comparó en las diferentes parcelas forestales que pertenecen a estos dos tipos de bosques de hayas. El hayedo acidifílico es mucho más productivo.



**Figura:** (a) ubicación de los principales tipos de bosques de hayas según el sustrato geológico y la ubicación de las parcelas de observación de fructificación (pequeños triángulos naranjas); (b) producción promedio de boletus / ha en bosques de hayas acidifílicas y calcáreas. De acuerdo con J. Gómez. Fuentes: Servicio de gestión forestal del Gobierno de Navarra.



Entre estas parcelas forestales, algunas pertenecen al área micológica de Irati y se presentan en la guía de caminata micológica establecida junto con esta síntesis sobre la ecología de los Boletus.

De este modo, el visitante podrá explorar un primer pequeño circuito de 3 parcelas del valle de Aezkoa que le permitirá descubrir el bosque de hayas acidófilas de la masa forestal de Aezkoa-Arazola. Las producciones se midieron en estas 3 parcelas de 1000 m<sup>2</sup> durante 6 años. Los promedios de 6 años se presentan en la tabla a continuación.

Especies comestibles comúnmente recolectadas		3 parcelles de la Hêtraie acidophile		
		01-5	02-5	09-5
<i>Boletus gr. edulis</i>	Hongo blanco, Hongo de verano, Hongo rojo	10,0	8,4	6,8
<i>Russula gr. cyanoxantha</i>	Gibelurdin / Carbonera	5,8	3,6	11,2
<i>Clitocybe nebularis</i>	Ilaraka / Pardilla Edibilidad controvertida	1,0	4,6	2,8
<i>Amanita rubescens</i>		3,8	3,0	2,4
<i>Hydnum gr. repandum</i>	Langua de vaca Gamuzza/Tipaki	0,5	4,1	2,3
<i>Cantharellus cibarius</i>	Robezuelo / Ziza hori	0,2	0,0	0,1
<i>Boletus erythropus</i>	Boleto de pie rojo	0,0	2,1	0,0
<i>Craterellus cornucopioides</i>	trompeta de los muertos	0,0	0,0	1,1
<i>Clitocybe geotropa</i>		0,0	0,0	0,0
<b>Total de las especies</b>		<b>21,4</b>	<b>25,7</b>	<b>26,7</b>

**Tabla: producción promedio por hectárea por año de Boletus y otras setas comestibles en 3 parcelas de bosques de hayas acidifílicas en el valle de Aezkoa. De acuerdo con J. Gómez. Fuentes: Servicio de gestión forestal del Gobierno de Navarra.**

El visitante también podrá caminar en el valle de Salazar un circuito que permite descubrir el bosque de hayas calcáreas (Hayedo basófilo pirenaico). Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

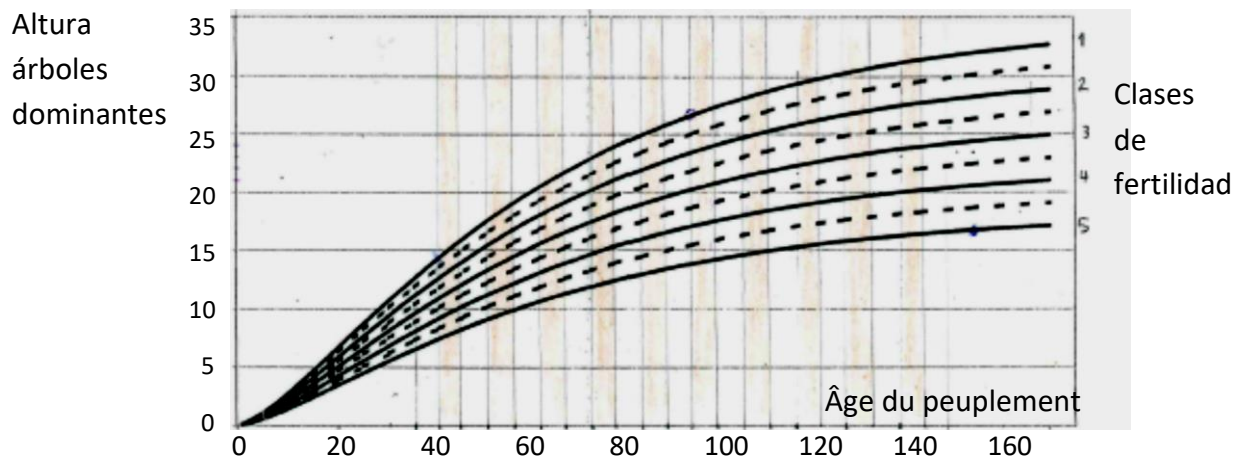
Especies comestibles comúnmente recolectadas		Hêtraie calcicole				Promedio
		Bosque abierto y luminoso			Bosque cerrado y oscuro	
		Nombre de parcelas de observación				
		05-3	05-4	05-5	06-1	
<i>Boletus gr. edulis</i>	Hongo blanco, Hongo de verano, Hongo rojo	3,1	0,0	0,6	0,0	0,9
<i>Russula cyanoxantha</i>	Gibelurdin / Carbonera	1,6	1,9	1,9	3,8	2,3
<i>Clitocybe nebularis</i>	Ilaraka / Pardilla Edibilidad controvertida	1,6	0,0	3,2	2,9	1,9
<i>Amanita rubescens</i>		0,1	0,4	0,1	0,3	0,2
<i>Hydnum repandum</i>	Gamuza/Tipaki	0,2	0,0	0,0	1,4	0,4
<i>Cantharellus cibarius</i>	Robezuelo / Ziza hori	0,1	5,4	0,2	0,7	1,6
<i>Boletus erythropus</i>	Boleto de pie rojo	0,5	0,0	0,3	0,3	0,3
<i>Crat. cornucopioides</i>	trompeta de los muertos	0,1	0,1	0,0	0,7	0,2
<i>Clitocybe geotropa</i>		0,0	0,2	0,0	0,2	0,1
<i>Total especies</i>		<b>7,3</b>	<b>7,9</b>	<b>6,3</b>	<b>10,4</b>	<b>8,0</b>

**Tabla: producción promedio de boletus y otros hongos / ha / año en 3 parcelas de bosques de hayas calcáreas en el valle de Salazar. De acuerdo con J. Gómez. Fuentes: Servicio de gestión forestal del Gobierno de Navarra.**

**Conclusión:** Estos resultados, por lo tanto, confirman la importancia de este factor de "sustrato rocoso", que solo permite diferenciar claramente dos tipos de áreas forestales: áreas con bosques de hayas acidifílicas, con buen potencial micológico en las especies comúnmente buscadas y áreas con hayedo calcáreo de bajo potencial.

## 2.2- Relación entre la productividad en Boletus y el nivel de fertilidad o "calidad de la estación forestal"

Dependiendo de los niveles de fertilidad de los tipos de estaciones forestales, podemos definir clases de fertilidad para estas estaciones. Este nivel de fertilidad está relacionado con el biotopo, pero también es relativo a una especie dada, sabiendo que cada especie tiene sus requisitos. Así, en Navarra, los forestales han definido 5 clases de estaciones de calidad para el crecimiento de la haya.



**Figura: Curvas de crecimiento de los árboles de bosques regular de haya en función de la edad del bosque y en relación con los 5 tipos de calidad de estación.** De acuerdo con J. Gómez. Fuente: Servicio de Gestión Forestal del Gobierno de Navarra.

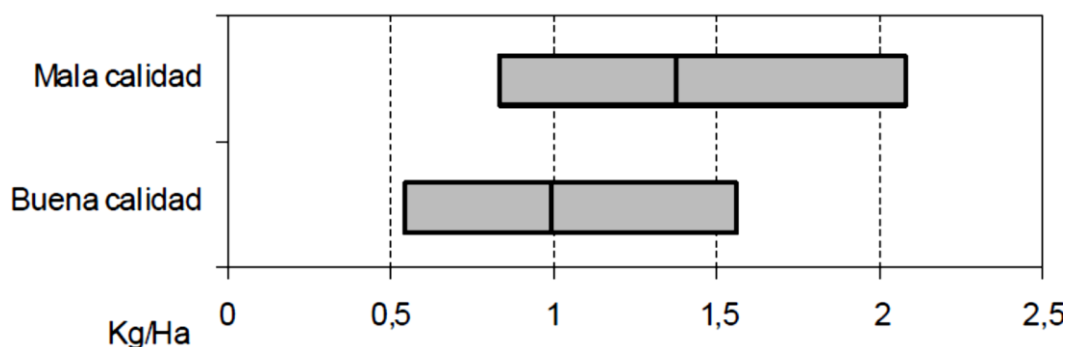
Numerosas observaciones han demostrado que la productividad de los Boletus era aún más importante ya que las estaciones eran de "mala calidad" desde el punto de vista del crecimiento de los árboles. Esto parece muy lógico porque en estas estaciones, los hongos deben ser muy activos para movilizar los elementos minerales y el nitrógeno que están presentes esencialmente en formas poco disponibles directamente para las plantas. Los hongos están equipados con precisión para disolver rocas y también para movilizar minerales y nitrógeno inmovilizados en la hojarasca y en el humus.

Estudios ya antiguos han demostrado en particular la relación entre el tipo de humus y la tasa de micorrización de los sistemas de raíces. El humus ácido y muy ácido (Moder, Mor), vinculado a la hojarasca difícil de degradar (hojas de haya, abeto, agujas de pino) y a climas a menudo fríos y húmedos (montaña) están asociados con las tasas de micorrización alto. Por el contrario, los suelos con humus menos ácido (hojarasca que se degrada más fácilmente, en climas más suaves) muestran tasas más bajas de micorrización.

Tenemos una ilustración de la relación que puede existir entre la pobreza de las estaciones forestales de montaña en los Pirineos y el alto nivel de productividad en boletus considerando las producciones muy fuertes de estas setas en los bosques boreales del norte de Europa o América del Norte: encontramos en estas latitudes condiciones de clima y humus que evocan las de nuestras zonas de gran altitud en las montañas.

### **Observaciones realizadas en Navarra y que confirman esta relación mediante datos cuantificados**

Los estudios realizados en las 60 parcelas ya mencionadas permitieron comparar la productividad en boletus en estaciones de baja calidad y en estaciones de buena calidad. Los resultados se muestran en la figura a continuación. La producción de Boletus es significativamente mayor en los soportes de haya que se instalan en estaciones de baja calidad.



**Figura:** Producción media 2005-2009 de boletus según calidad de estacione del haya

### 2.3- La relación entre la productividad en boletus y la orientación de la parcela

En general, las observaciones de los recolectores de Boletus tienden a confirmar que las orientaciones "Sur" son más favorables para la producción de esta seta. El mejor potencial de productividad de las laderas del sur puede explicarse por los buenos niveles de irradiación solar que permiten, por un lado, un buen crecimiento del micelio durante la temporada de crecimiento y, por otro lado, una mejor posibilidad de fructificación al final de temporada, cuando las temperaturas se vuelven limitantes (finales de octubre a principios de diciembre). La evolución de la duración de la temporada de setas comestibles de otoño se ha analizado en los últimos 30 años. Hoy es 15 días más corto que hace 30 años. Esto puede explicarse por temperaturas más altas a principios de otoño que en el pasado. La disminución de la temperatura promedio ("**choque de frío**"), que por lo tanto es necesaria para la inducción de la fructificación, ocurre más tarde en otoño, acortando la duración de la temporada de setas en la misma duración. Anteriormente informamos que el final de la temporada correspondía a una caída en la temperatura promedio por debajo de 7 ° Celsius. La exposición adecuada de una parcela permite que su suelo permanezca por encima de esta temperatura límite más adelante en noviembre y, a menudo, hasta principios de diciembre. En Navarra, las observaciones y comparaciones realizadas en las 60 parcelas de bosque de hayas confirman este hecho, traduciendo el nivel de irradiación por la noción de "luminosidad". Por supuesto, veremos a continuación que esta noción también debe vincularse con el nivel de apertura del bosque, en relación con las prácticas de claras y corte operativo.

### Orientación sur



### Orientación norte



**Fotos:** dos ejemplos comparados de parcelas de hayedos de Navarra, de exposiciones sur y norte. Si bien las parcelas expuestas en el sur tienen niveles consistentemente altos de productividad, la productividad es variable en el norte. Otros factores afectan la productividad. De acuerdo con J. Gómez. Fuente: Servicio de Gestión Forestal del Gobierno de Navarra.

El efecto positivo de las orientaciones del Sur es general en las diferentes especies de Boletus. Sin embargo, está aún más marcado para especies más **xerófilas** ("amantes de la sequía") como Hongo rojo (*Boletus pinophilus*). Por lo tanto, a partir de los datos de campo sobre la recolección en un valle de los Altos Pirineos, fue posible establecer un mapa de potencialidad para la especie *Boletus pinophilus* (Figura a continuación).



**Figura:** Mapa de potencialidad para la especie Hongo rojo (*Boletus pinophilus*) en un valle en los Altos Pirineos. Este mapa se estableció a través de un proceso de caracterización y modelado de los parámetros topográficos, del suelo y climáticos de los sitios de recolección, luego su extrapolación a todo el territorio. Las áreas en rojo son las áreas con alto potencial. Sin embargo, no tienen en cuenta los árboles, pero solo los suelos. Esta tarjeta es una herramienta de planificación y no una tarjeta de producción real ...

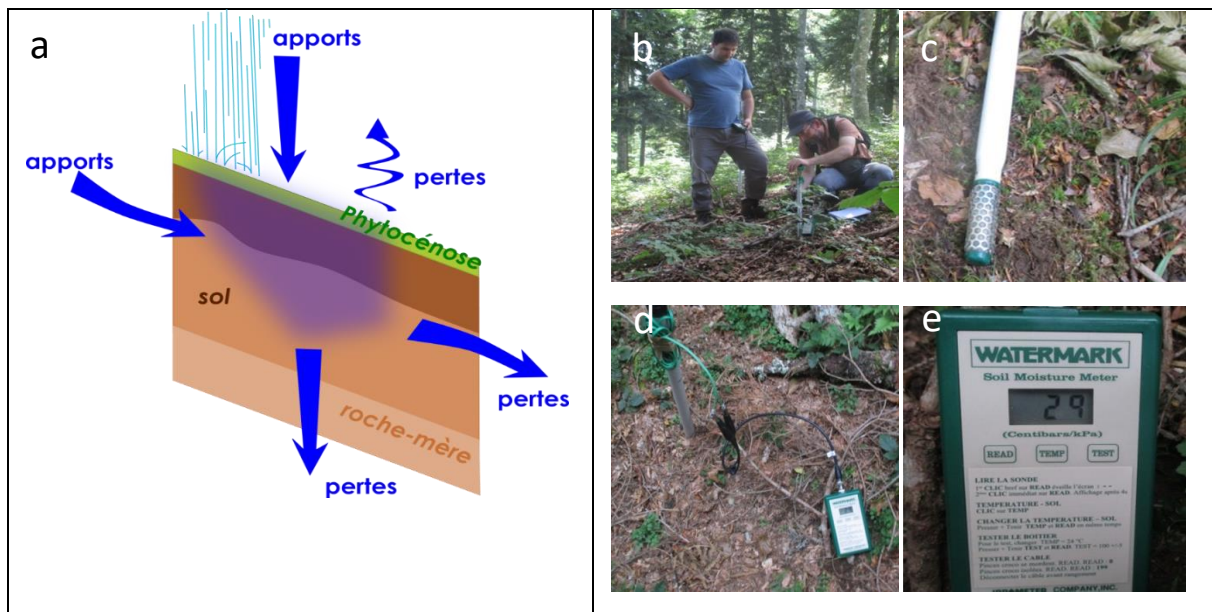
## **Límites de estas observaciones, en el contexto del cambio climático.**

La buena productividad de ciertas parcelas orientadas hacia la norte muestra que la influencia desfavorable del criterio de "orientación norte" debe ponerse en perspectiva. El cambio climático puede conducir a una modificación de los parámetros estacionarios y a una mejora en el potencial de productividad de las parcelas ubicadas en el norte. Es interesante evocar el caso de las producciones de *Lactarius* de los últimos 20 años en el norte de Cataluña. Estas producciones son más abundantes en las laderas del norte, en relación con un clima más cálido y seco que en Irati.

(Fuentes: estudios del Centro Técnico Forestal de Cataluña)

### **2.4- La relación entre la productividad en *Boletus* y la ubicación de la parcela en la pendiente**

Típicamente, los suelos de montaña ubicados en la parte superior de las pendientes son, en promedio, menos ricos en agua que los suelos ubicados en el fondo de las pendientes. De hecho, a igual precipitación, el agua tiende a fluir hacia abajo, en la superficie del suelo (escorrentía) y en la interfaz entre una capa porosa del suelo (a través de la cual la lluvia penetra fácilmente) y una capa menos permeable ubicado a una profundidad variable dependiendo del suelo ("flujo lateral"). Por lo tanto, a media pendiente, el "balance de agua" que podemos estimar con tensiómetros, es el resultado de los cinco movimientos del agua que se muestran esquemáticamente en el diagrama presentado en la página siguiente.



**Figura:** (a) diagrama de los movimientos del agua, cuyo resultado es el balance hídrico; (b) instalación de una sonda tensiométrica en el suelo del bosque de haya y abeto; (c) sonda; (d) sonda conectada a la unidad de medida; (e) el caso de un valor de 29 centibares, en una escala de 0 (suelo saturado con agua) a 200 (suelo desecado). Los valores de 10 a 30 corresponden a suelos húmedos a bastante húmedos, los valores de 30 a 40 a suelos "frescos". De 60 a 70, los suelos son "secos" y muy secos desde alrededor de 90. Diagrama: Laurent Rigou – Atelier Urbanisme, Sols et Paysages. Fotos: J Rondet.

La capacidad de los hongos para dar cuerpos fructíferos a cierto nivel de una pendiente estará condicionada por los valores promedio del balance hídrico durante los períodos clave del desarrollo de los hongos (período de crecimiento del micelio, momento de inicio de la fructificación y finalmente período de fructificación). Por lo tanto, Hongo rojo (*Boletus pinophilus*) crece preferentemente en la parte superior de la pendiente y hasta la pendiente media con mayor frecuencia, mientras que Hongo blanca (*Boletus edulis*), más higrófilo, se encontrará más bien en áreas que revelan un equilibrio claramente positivo entre "ganancias y pérdidas" durante el período de fructificación. El bosque de pinos montañosos del bosque de Soria ("Pinar grande") muestra muy claramente esta distribución de las dos especies que caracterizan los boletus de este bosque.



## 2.5- La relación entre la productividad en *Boletus* y la estructura de los horizontes de la superficie del suelo

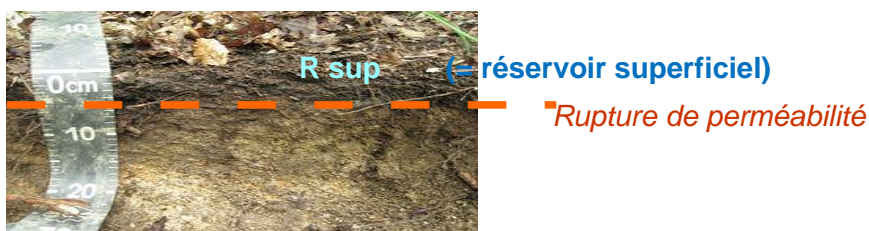
**El estudio comparativo de diferentes suelos de parcelas productoras de *Boletus* en diferentes bosques muestra que el inicio de la fructificación (fase 3 del ciclo de desarrollo) está fuertemente condicionado por la estructura del suelo.**

Esta fase es una fase clave del ciclo porque no es del todo obvio tener una o más lluvias cada año que traigan suficiente agua en el momento adecuado de la temporada para desencadenar la fructificación. Sin embargo, algunos suelos "reaccionan" favorablemente bajo la acción de lluvias ligeras (10 a 20 mm que llegan al suelo, por ejemplo), mientras que otros necesitan 80 o 100 mm para inducir la fructificación.

En el primer caso, el horizonte superficial (0 a -5 cm o 0 a -10 cm) que contiene la mayoría de las raíces micorrizadas finas y el micelio se satura muy fácilmente con agua porque este horizonte descansa sobre una capa de suelo impermeable. El agua de lluvia que se infiltra está "bloqueada" por este horizonte impermeable ubicado a poca profundidad (-10 cm, por ejemplo). Esta agua acumulada en la superficie "ahogará" el micelio y es este factor el que desencadena la fructificación.

Por el contrario, en el caso de que la fructificación no aparezca hasta después de una lluvia significativa (por ejemplo, una acumulación de 80 mm), esto significa que el suelo es muy poroso hasta una profundidad significativa. Entonces es necesaria una fuerte lluvia para "llenar" este suelo y finalmente saturar los horizontes superficiales que contienen las micorrizas y el micelio con agua.

Por lo tanto, un examen del perfil del suelo es una forma sencilla de caracterizar la profundidad del nivel de "ruptura de la porosidad" y la cantidad de lluvia necesaria para desencadenar la fructificación en un suelo determinado. En ciertas situaciones del suelo, los mapas del suelo pueden proporcionar información, sin la necesidad de un estudio de campo. Por ejemplo, un suelo superficial de 20 cm sobre un sustrato rocoso no permeable es, de hecho, un suelo que "reaccionará" positivamente a una lluvia de aproximadamente 20 mm (hay aproximadamente 1 mm de agua / cm de suelo para saturar suelo que con mayor frecuencia tiene un cierto nivel de humedad residual antes de que ocurra una nueva lluvia). En otros casos, se sabe que el suelo tiene un horizonte muy arcilloso a cierta profundidad. Los estudios de campo también tendrán en cuenta las formas de humus y la hojarasca. En los suelos de los bosques de montaña, las capas orgánicas (hojarasca y humus) constituyen horizontes cuantitativamente importantes que albergan una buena parte de las raíces micorrizadas y el micelio. Estos horizontes constituyen entonces la capa superficial porosa, generalmente basada en un horizonte mineral menos poroso. Por lo tanto, los perfiles de suelo son muy útiles para evaluar este factor e identificar los suelos más adecuados para provocar la fructificación bajo el efecto de la lluvia ligera.



**Figura:** ejemplo de un suelo que tiene una alta sensibilidad al desencadenamiento de la fructificación: las raíces finas y los micelios se ubican en un horizonte superficial muy fácilmente saturado con agua a la menor lluvia porque se "instala" en un horizonte subyacente significativamente menos poroso que ralentiza fuertemente la percolación de agua. Fuente: Manual de micosilvicultura. Programa Micosylva +

**Además, la fase 4 (fructificación) es muy sensible a la capacidad de reserva de agua del suelo.**

Esta capacidad generalmente se caracteriza por un nivel de "Reserva útil" que se aplica a toda la profundidad del suelo (o al menos a los primeros 60 cm, por ejemplo).

Pero desde el punto de vista de la producción de Boletus, es especialmente el agua contenida en los horizontes superficiales del suelo que alimentará el micelio y asegurará el crecimiento de los cuerpos fructíferos. Por lo tanto, los horizontes superficiales muy orgánicos y la basura juegan un papel clave para permitir que los hongos crezcan hasta la etapa óptima de 200 g / cuerpo fructífero de Boletus. En la "hojarasca", la madera muerta puede desempeñar un papel importante en el almacenamiento de agua en las inmediaciones de las setas (de ahí la frecuencia de cuerpos fructíferos en contacto con la madera muerta). La presencia de musgo en el suelo del bosque también parece tener un papel muy interesante en el almacenamiento de agua.

**Conclusión sobre los factores del biotopo que el gerente forestal debe tener en cuenta para definir las áreas en juego para la producción de hongos comestibles**

**El sustrato geológico** parece ser el factor del biotopo más discriminatorio para evaluar el potencial de un área forestal para producir boletus y otras setas comestibles.

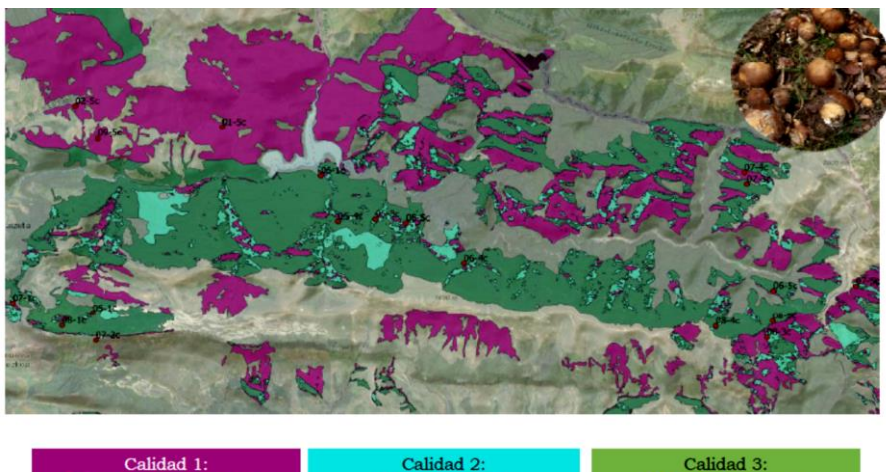
**La "calidad de las estaciones" para el crecimiento del haya** es entonces un criterio esencial.

Estos dos criterios pueden identificarse en mapas ya existentes.

**La orientación** es un factor que parece menos discriminatorio en el contexto del cambio climático: las parcelas expuestas al sur, hasta ahora las más favorables, pueden resultar demasiado calientes y secas hoy en día.

**La circulación de agua en pendientes y la acumulación preferencial de esta agua en ciertas áreas** pueden convertirse en criterios importantes para estimar el potencial futuro de las parcelas si la falta de agua en el otoño se convierte en un factor limitante. Es posible modelar este factor.

Teniendo en cuenta solo los dos factores "sustrato geológico" y "calidad de las estaciones" que ya han sido mapeados por los servicios forestales, se puede producir un mapa de la potencialidad de la producción de boletus en Irati (figura a continuación). Sin embargo, este mapa no tiene en cuenta los rodales de los árboles y, sobre todo, debe considerarse como una herramienta de gestión y no como un mapa de distribución efectiva de la fructificación.



**Figura:** mapa potencial de Irati elaborado teniendo en cuenta, por un lado, el mapeo de sustratos geológicos y, por otro lado, el mapeo de tipos de estaciones. Este mapa distingue así tres niveles de calidad del suelo desde el punto de vista de la productividad en boletus: cualidades 1, 2 y 3. Según J. Gómez.

*3- La silvicultura puede orientarse para garantizar una mejor productividad y la sostenibilidad de la producción de setas comestibles en el contexto del cambio climático.*

Si bien ciertos factores del biotopo son muy importantes para determinar la productividad en setas de una parcela, las características del bosque y la vegetación asociada también están directamente relacionadas con esto.

Los manuales de micosilvicultura producidos durante los programas de Micosylva (manual de Navarra, manuales de Dordoña y Altos Pirineos, manual de Cataluña y manual de Castilla y León) describen estos factores en detalle. Se especificaron en el manual de micosilvicultura del programa Micosylva +.

El objetivo aquí es "adaptar" esta información al caso de los bosques de hayas específicos del territorio de Irati.

### 3.1- La elección de las especies forestales

#### **Una silva dominada en gran parte por la haya.**

La silva actual de Irati está representada principalmente por haya. El abeto pectinado está muy poco representado, mientras que naturalmente tendría su lugar en el área del bosque de abeto y haya en las altas altitudes que caracterizan el territorio. El documento de planificación para el Valle de Soule indica por ejemplo claramente esta débil representación del abeto.

#### **La ventaja del abeto pectinato para los Boletus.**

En muchos territorios de Francia y de los Pirineos españoles, el abeto pectinato muestra un gran potencial para la producción de *Boletus gr. edulis*. Esta productividad fue particularmente importante en dos casos bien conocidos: bajo las plantaciones de abetos jóvenes que correspondían al modelo de reforestación del Macizo Central de Francia en la década de 1960 a los 90 y bosques mixtos basados en pino silvestre (piso dominante) y abeto pectinado (sotobosque) de Margeride (Auvernia). Esta productividad puede estar relacionada con el hecho de que es un árbol huésped principal para el *Boletus* (*Boletus edulis* y *Boletus pinophilus*), a su capacidad fotosintética que permite la producción tardía en la temporada, a la hojarasca de agujas (efecto protector en los cuerpos fructíferos en formación y tal vez un efecto nutricional en el micelio) y, finalmente, al hecho de que los grupos de pequeños abetos en el sotobosque parecen ser hábitats muy favorables, en relación con los grandes árboles con los que están vecinos. Se supone que estos hábitats son favorables debido a la gran micorrización de árboles muy jóvenes en estas condiciones de "competencia" nutricional con árboles grandes (en realidad es una de las condiciones de "solidaridad" con árboles grandes vecinos como explicaremos más adelante) y el hecho de que estos colectivos de

árboles pequeños generan microclimas protegidos muy favorables bajo las ramas bajas.

**El interés de la mezcla de haya y abeto, por la producción de Boletus y por la biodiversidad fúngica que garantiza una mejor resiliencia.**

El bosque de hayas y abetos es interesante para la producción de Boletus en relación con el hecho de que las dos especies son muy buenas huéspedes para estas especies. Los Boletus son muy **ubicuos**, lo que significa que se asocian indistintamente con una especie u otra y pueden vincular los dos con sus micelios. Un sotobosque de alta densidad de abetos corresponde a las condiciones de las plantaciones jóvenes del Macizo Central mencionadas anteriormente. Nuevas observaciones científicas sobre estas relaciones entre las especies de árboles a través de los micelios revelan mecanismos reguladores que corresponden a los intercambios de flujo de moléculas entre árboles de la misma especie, pero también entre árboles de diferentes especies: moléculas orgánicas con función nutricional pero también señales moleculares para adaptarse colectivamente a accidentes climáticos o parasitarios entre árboles.

De hecho, es concebible que un bosque compuesto por dos especies tenga una mejor capacidad para adaptarse a los riesgos climáticos. Por otro lado, según la mayoría de los científicos especializados en el análisis de la **diversidad funcional** dentro de las comunidades de hongos, **la diversidad de especies forestales es una condición esencial para la diversidad de hongos**. Esta diversidad de especies conduce a una diversidad de funciones en la comunidad de hongos y esta diversidad funcional es una condición para la resistencia de los rodales frente a problemas climáticos, nutricionales o parasitarios.

## **Posibilidades de reintroducción parcial del abeto pectinado en el hayedo de Irati.**

Tal reintroducción significaría gestionar la competencia entre la regeneración de la haya y la regeneración del abeto. También implicaría un mejor control de la presión de los cérvidos que fácilmente causan daños en los abetos jóvenes. Esto implicaría protecciones para colectivos de abetos jóvenes, protecciones costosas y más o menos efectivas.

A continuación, los modelos de predicción climática predicen un cambio gradual en el área de distribución del abeto a altitudes más altas que las encontradas en Irati. Sin embargo, es posible considerar el abeto no como una especie del futuro sino como una especie que debería garantizar un sotobosque interesante desde el punto de vista de las funciones micológicas (producción de boletus, biodiversidad fúngica y resiliencia), a escala poco tiempo (¿20-50 años?)

## **Presencia e interés del pino silvestre (*Pinus sylvestris*).**

pino silvestre se encuentra en algunos lugares en el área micológica de Irati. (Ver la guía de senderismo micológico - Parcela N ° 5). Es una especie mucho menos exigente de agua que el haya y el abeto pectinato. Esto explica su presencia en Irati en suelos con menores reservas de agua, en estaciones más cálidas y secas y en condiciones de ambientes abiertos que han sido reforestados. El pino silvestre es una especie pionera, que coloniza ambientes abiertos.

Su interés en la productividad de setas de los bosques está demostrado para los hongos muy pioneros que son el *Lactarius deliciosus* y el Boletus amarillo (*Suillus luteus*, *Suillus granulatus*) pero también para dos especies de Boletus: *Boletus edulis* y *Boletus pinophilus*. En Soria, en el bosque de pinos de Pinar grande, que tiene 15,000 ha, el pino silvestre es un huésped muy productivo para estas



dos especies de *Boletus* (40 kg / ha / año en promedio durante 20 años).

En Francia, el pino silvestre produce principalmente *Boletus pinophilus*, pero probablemente alberga el micelio de *Boletus edulis* en el sistema de raíces. Por lo tanto, puede transmitir este micelio a especies menos pioneras que se asentarán en sus proximidades: haya, abeto (macizo central), encina (Cataluña) ...

En Margeride, la mezcla de pino silvestre y abeto pectina ha demostrado ser muy productiva en estas dos especies de *Boletus*. En Vallespir (Pirineos Orientales) los bosques mixtos de haya y pino silvestre también muestran una buena productividad.

En general, la combinación de una especie pionera y una dríada (haya, abeto pectinato, picea) parece muy productiva. Esto es cierto para las dos especies pioneras de pino silvestre y abedul.

Por lo tanto, la introducción del pino silvestre en bosques abiertos puede representar una vía interesante, especialmente en el caso de una evolución de los bosques frente al cambio climático.

### **Interés del abedul (*Betula verucosa*)**

En el caso de la reforestación, el abedul también es una especie interesante en mezcla porque es una especie que parece efectiva para transmitir el micelio de los *Boletus* a los árboles ubicados en sus proximidades. Numerosas observaciones muestran que su presencia en una mezcla de especies de árboles promueve los *Boletus*. En los países nórdicos, el abedul también es un árbol que demuestra ser un buen productor de *Boletus edulis*, tanto en bosques puros como en mezclas hechas de abedul y Picea (*Picea abies*).

<p><b>Hêtraie pure régularisée dans les gros bois et très gros bois</b>  <b>Haya = 96%; Abeto = 1%; % Otras = 3%</b>  - Ø moyen = 48 cm (de 40 à 75 cm)  - Surface terrière moyenne = <b>21,4 m<sup>2</sup>/ha</b> (de 3 à 51 m<sup>2</sup>/ha)  - Hauteur moyenne = 28 m (de 13 à 55 m)  - Densité moyenne = 117 tiges/ha (de 9 à 311 tiges/ha)  - 36% de bois d'œuvre</p>	7%
<p><b>Hêtraie pure régularisée dans les bois moyens.</b>  <b>Haya = 98%; Abeto = 1%; % Otras = 1%</b>  - Ø moyen = 39 cm (de 30 à 50 cm)  - Surface terrière moyenne = <b>22,1 m<sup>2</sup>/ha</b> (de 3 à 53 m<sup>2</sup>/ha)  - Hauteur moyenne = 25 m (de 12 à 42 m)  - Densité moyenne = 168 tiges/ha (de 20 à 431 tiges/ha)  - 30% de bois d'œuvre</p>	19 %
<p><b>Hêtraie pure régularisée dans les petits bois.</b>  <b>Haya = 96%; Abeto = 2%; Otras especies= 2%</b>  - Ø moyen = 29 cm (de 20 à 40 cm)  - Surface terrière moyenne = <b>20,8 m<sup>2</sup>/ha</b> (de 3 à 50 m<sup>2</sup>/ha)  - Hauteur moyenne = 21,9 m (de 10 à 39 m)</p>	18 %
<p><b>Hêtraie pure irrégulière</b>  <b>Haya = 95%; Abeto pectinado = 1%; Otras especies = 4%</b>  - Ø moyen = 42 cm (de 20 à 60 cm)  - Surface terrière moyenne = <b>22 m<sup>2</sup>/ha</b> (de 1 à 53 m<sup>2</sup>/ha)  - Hauteur moyenne = 27 m (de 12 à 41 m)  - Densité moyenne = 211 tiges/ha (de 10 à 511 tiges/ha)  - 33% de bois d'œuvre</p>	24 %

**Tabla: los tipos de bosques en la parte de la silva de Irati correspondiente al valle de Soule.** Notamos que la haya domina ampliamente, en relación con factores ecológicos que explican su presencia, pero también en relación con factores históricos que llevaron a preferirlo al abeto pectinado.

Fuente: Plan de gestión forestal de la sección de Soule d'Irati.

### 3.2- La cuestión de abrir el bosque a las influencias climáticas

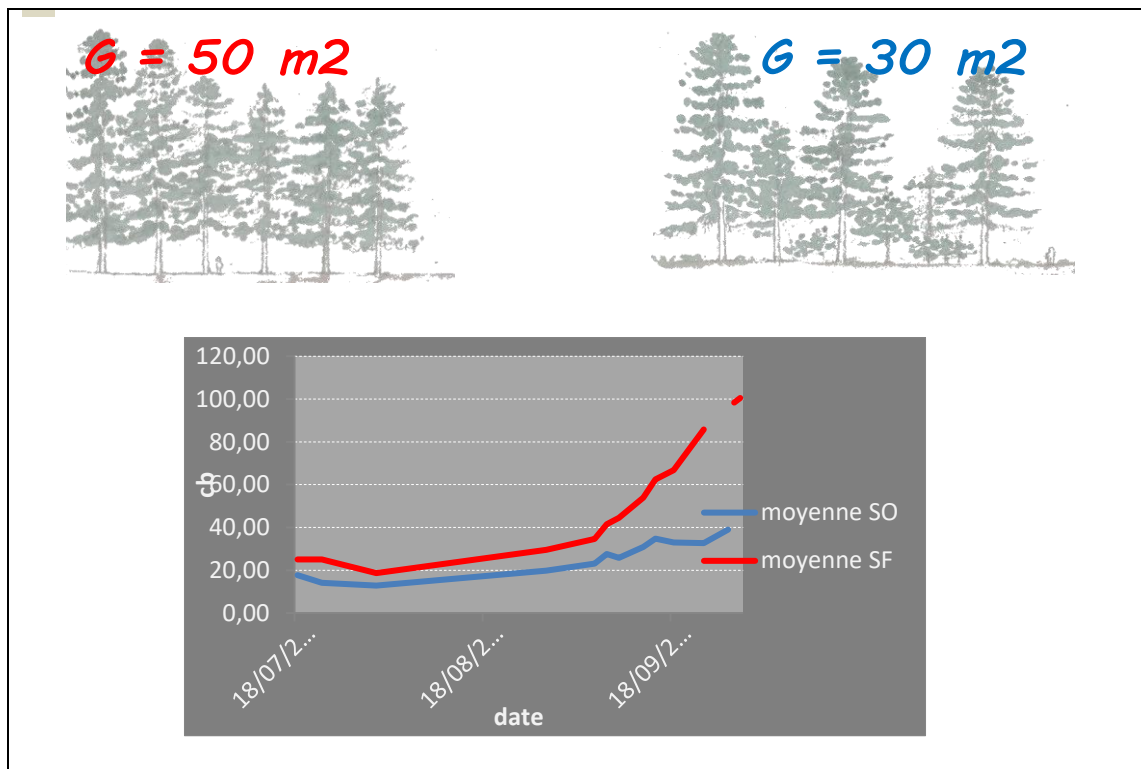
El trabajo de INRA Nancy en la adaptación de los bosques de hayas de Lorena muestra el valor de reducir la densidad de los árboles en el nivel dominante para mejorar el equilibrio hídrico del suelo. De hecho, son los árboles del nivel dominante que consumen la mayor cantidad de agua. Sin embargo, la disminución de esta densidad debe ser gradual para permitir la regeneración de un sotobosque que protegerá el suelo de la luz solar directa.

Como parte del programa Micosylva +, fue posible comparar los cambios en los equilibrios hídricos del suelo ubicados debajo de un grupo de abetos densos (área basal = 50 m<sup>2</sup> / ha) y en un grupo menos denso (área basal = 30 m<sup>2</sup> / ha). Los datos tensiométricos se recogieron en este experimento con una estación automatizada (foto a continuación).



*Foto: seis tensiómetros instalados debajo de un bosque denso (área basal de 50 m<sup>2</sup> / ha). Estos tensiómetros están vinculados aquí a una estación meteorológica que lee automáticamente los datos.*

En condiciones de sequedad otoñal, el segundo suelo mantiene una cierta humedad mientras que el primero rápidamente se vuelve muy seco (**figura en la página siguiente**). Esto penaliza a los árboles que no pueden alimentarse adecuadamente con agua (mientras que las temperaturas permiten la actividad fotosintética de estos árboles). También previene la fructificación de hongos, tanto porque la lluvia penetra menos bien a través de rodales densos como al mismo tiempo porque la humedad del suelo no es suficiente para alimentar el crecimiento de los cuerpos fructíferos.



**Figura:** ( $G$ = área basal). Este gráfico muestra las curvas de evolución de los valores tensiométricos medios calculados a partir de seis tensiómetros para cada una de las modalidades. Se instalaron seis monitores de pre debajo de un bosque denso (curva roja) y seis tensiómetros instalados debajo de un bosque irregular y más abierto. A medida que los otoños tienden a volverse más secos en las montañas de los Altos Pirineos, vemos que debajo el bosque denso, los suelos de este año (2014) se vuelven muy secos (valor de 100 centibares en el momento de la última medición). Bajo el bosque, que tiene aproximadamente el mismo número de árboles, pero árboles de diferentes tamaños, el valor tensiométrico de 40 centibares traduce un suelo todavía "fresco", capaz de garantizar el suministro de agua de los árboles y los cuerpos fructíferos de los hongos. La hipótesis es que, por un lado, el bosque consume menos agua y, por otro lado, las lluvias penetran mejor para llegar al suelo y humedecerlo.

## **Propuesta de acción**

Si el trabajo del INRA de Nancy muestra el interés general de una reducción en la densidad de los Bosques del piso dominante, también muestran que no es fácil transponer en otro contexto los resultados obtenidos en un determinado contexto pedo-climático y forestal.

Tal enfoque para adaptar los bosques de Irati a episodios más frecuentes de sequías de caída podría basarse en un análisis previo de los cambios en los balances de agua en los bosques representativos de la situación actual en términos de densidad y debajo de los bosques menos densos que pueden representar una situación futura.

Para esta comparación, podemos inspirarnos en la metodología probada en el proyecto Micosylva +.

En este proyecto, se utilizó una estación automatizada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que también es posible y bastante restrictivo usar un dispositivo no automatizado, tomando datos en fechas regulares pero espaciadas en el tiempo (15 días o un mes, por ejemplo). Esto reduce el costo del material, permite multiplicar el número de sondas y dispersarlas más ampliamente sobre la superficie de la parcela. Los valores tomados una vez cada quince días en períodos de sequía también permiten buenas comparaciones.

### 3.3- Las edades de los árboles

Numerosas observaciones resaltan el vínculo entre los altos niveles de producción de Boletus y otras setas y las etapas jóvenes de los bosques.

Esto se ha demostrado bien en el caso de bosques regulares (árboles de la misma edad), con cifras precisas, en Italia sobre hayedo, en España sobre pino silvestre, en Francia sobre abeto y Picea.

En el caso de bosques irregulares, tenemos numerosas observaciones de expertos. Según estas observaciones, la proximidad de árboles grandes y muy jóvenes es un factor muy favorable en la producción de setas, como ya hemos señalado anteriormente.

En silvicultura, esta diversidad de edades puede promoverse a través de la gestión irregular.

En el marco de la gestión regular, la proximidad entre árboles de diferentes edades se puede buscar a través de varios factores. Por ejemplo, es posible conservar al final de la revolución y durante las operaciones de regeneración más árboles adultos por hectárea de lo que generalmente se recomienda para la cuestión de la biodiversidad. Luego, los grupos de regeneración pueden ser más pequeños y estrechos, para multiplicar las zonas de interfaz entre árboles adultos y árboles jóvenes.



En la misma colección, pequeñas guías de descubrimiento de hongos:

1- Descubre los hongos de Irati, del bosque al plato

2- Los árboles y los hongos

3- Las setas y el ser humano: I- el arte de la recolección

4- Las setas y el ser humano: II- cocina natural

5- Cuentos y leyendas de los hongos de Irati

**6- La ecología de los hongos en el haya**

7- Hongos y árboles de Irati. Guía de descubrimiento: parcelas 1 y 2

8- Hongos y árboles de Irati. Guía de descubrimiento: parcelas 3,4,5,6

Estas dos últimas guías van acompañadas de hojas descriptivas de cinco caminatas micológicas, a pie, en bicicleta de montaña o en automóvil. Estos circuitos de senderismo conducen a las seis parcelas descritas en estas guías)

**Texto:** Jean Rondet, Javier Gomez

**Gráficos:** Javier Gomez. **Acuarela:** Jean Rondet

**Traducción del Francés:** Jean Rondet

Nota: este documento de 48 páginas (4 páginas X12) está diseñado para fotocopiar con una fotocopidora que tiene la opción de hacer folletos pequeños en formato A5 (las páginas se fotocopian en hojas 2 / A4, dobladas y engrapadas)