

**Universidad Pública de Navarra**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR**  
**DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*  
*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN*  
*GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**INFLUENCIA DE LAS CLARAS FORESTALES EN  
LOS RESTOS LEÑOSOS DE PINO SILVESTRE EN  
UN BOSQUE MIXTO EN ASPURZ: UN ENFOQUE DE  
VOLUMEN, BIOMASA Y HÁBITAT DE  
INVERTEBRADOS**

Presentado por

XIMENA HERRERA ALVAREZ

**Aurkeztua**

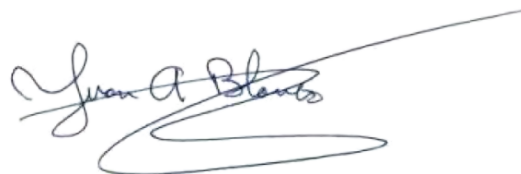
**Master Universitario en Agrobiología Ambiental**

Septiembre, 2015

Juan Antonio Blanca Vaca, profesor del Departamento de Ciencias del Medio Natural de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra.

INFORMA: que el Trabajo de Fin de Master titulado “Influencia de las claras forestales en los restos leñosos de pino silvestre en un bosque mixto en Aspurz: Un enfoque de volumen, biomasa y hábitat de invertebrados” que presenta la alumna Ximena Herrera Alvarez, ha sido realizado en el Departamento de Ciencias del Medio Natural bajo mi dirección, cumple con las condiciones exigidas y autorizo su presentación.

Y para que así conste, firmo el presente informe en Pamplona el 9 de septiembre de 2015.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Juan A. Blanca", with a large, sweeping flourish underneath.

Fdo. : Juan Antonio Blanco Vaca

## **AGRADECIMIENTOS**

A Fundación Carolina, Banco Santander y Universidad Pública de Navarra por la beca otorgada para la realización de este master. Un agradecimiento especial a Cesar Arrese PhD por su apoyo administrativo.

A todos los profesores del Master de Agrobiología Ambiental por los conocimientos impartidos.

Al Grupo de Ecología de la UPNA, especialmente a Juan Blanco PhD por su apoyo incondicional como tutor de este TFM. A Bosco Imbert PhD por su ayuda en la metodología de invertebrados. Muchas gracias a Esther y Leticia por su ayuda en la toma de datos en el campo y a Beatriz por su tiempo en la identificación de invertebrados.

A mis compañeros del master por hacer de mi estancia una bonita experiencia.

A mi familia por su apoyo y cariño.

A todas las personas que se involucraron en el desarrollo de este TFM, gracias por su tiempo y apoyo constante.

*“Nosotros somos como los granos de quinua si estamos solos, el viento lleva lejos.  
Pero si estamos unidos en un costal, nada hace el viento. Bamboleará, pero no nos hará caer.  
Somos como la paja de páramo que se arranca y vuelve a crecer... y de paja de páramo  
sembraremos el mundo” Dolores Cacuango.*

*A todas las personas que se esfuerzan cada día por un mundo mejor...*

## ÍNDICE

Índice de tablas.....	V
Índice de figuras.....	VI
Resumen.....	VIII
Abstract.....	IX
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Importancia de los bosques .....	1
1.2. Antecedentes de la Gestión Forestal en Navarra .....	2
1.3. Importancia ecológica de los restos leñosos .....	3
1.4. Colonización de invertebrados en restos leñosos.....	5
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
3.1 Superficie forestal en Navarra.....	9
3.2 Área de estudio.....	10
3.3 Especies dominantes a estudiar .....	11
3.4 Diseño experimental.....	13
3.4.1 Ensayo de claras en Aspurz.....	13
3.4.2 Inventario de restos leñosos.....	15
3.4.3 Estimación del volumen y biomasa de restos leñosos por hectárea.....	18
3.4.4 Invertebrados asociados a restos leñosos.....	20
3.5 Análisis estadísticos.....	21
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
4.1 Volumen .....	22
4.2 Biomasa .....	24
4.3 Clases de descomposición.....	27
4.4 Invertebrados asociados a restos leñosos .....	28
4.5 Contenido hídrico en los restos leñosos .....	35
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
5.1 Volumen .....	37
5.2 Biomasa.....	41
5.3 Clases de descomposición.....	44

5.4 Macro y microinvertebrados asociados a restos leñosos.....	46
5.4.1 Influencia de la Gestión forestal.....	48
5.4.2 Influencia del tipo de dosel arbóreo.....	51
5.4.3 Influencia de las clases de descomposición .....	53
5.4.4 Relación entre abundancia de invertebrados y biomasa de restos leñosos .....	54
6. <b>CONCLUSIONES</b> .....	55
7. <b>RECOMENDACIONES</b> .....	56
8. <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del área de estudio.....	11
Tabla 2. Criterios de clasificación del grado de descomposición de los restos leñosos.....	17
Tabla 3. Coeficientes de descomposición de madera para <i>Pinus sylvestris</i> .....	19
Tabla 4. Volumen de restos leñosos por transecto en cada parcela (m <sup>3</sup> /ha).....	22
Tabla 5. Biomasa de restos leñosos por transecto en cada parcela (kg/ha).....	24
Tabla 6. Grupos taxonómicos identificados, los taxones se clasifican por tamaño (microartrópodos y macroartrópodos).....	29
Tabla 7. Media del número de individuos/gr de muestra según la intensidad de clara, tipo de dosel y clase de descomposición.....	30
Tabla 8. Media de volumen de restos leñosos en algunos países europeos.....	38
Tabla 9. Clasificación de los taxones identificados según sus grupos funcionales.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de la superficie forestal en Navarra.....	9
Figura 2. Mapa de ubicación de las parcelas de Aspurz en Navarra – España.....	10
Figura 3. Localización de las parcelas de estudio en Aspurz (Prepirineo Navarro).....	11
Figura 4. Mapa del área de estudio con sus respectivos tratamientos.....	14
Figura 5. Fotografía de las parcelas control y con claras de 40%.....	15
Figura 6. Transecto en línea LIS utilizado para el inventario de los restos leñosos.....	16
Figura 7. Muestras de restos leñosos de clase de descomposición 3 y 4 para analizar los invertebrados asociados.....	20
Figura 8. Muestras de restos leñosos de clase 3 y 4 en el embudo Tullgren-Berlese para coleccionar invertebrados.....	21
Figura 9. Volumen total de restos leñosos (media ± error estándar por tratamiento).....	22
Figura 10. Volumen total de restos leñosos finos (media ± error estándar por tratamiento).....	23
Figura 11. Volumen total de restos leñosos gruesos (media ± error estándar por tratamiento).....	23
Figura 12. Biomasa total de restos leñosos (media + error estándar) por tratamiento.....	25
Figura 13. Biomasa total de restos leñosos finos (media + error estándar) por tratamiento.....	25
Figura 14. . Biomasa total de restos leñosos gruesos (media + error estándar) por tratamiento.....	26
Figura 15. Porcentaje de biomasa de restos leñosos por clase de descomposición.....	27
Figura 16. Abundancias totales por gramo de muestra de los microartrópodos más abundantes.....	31
Figura 17. Abundancias totales por gramo de muestra de los microartrópodos más abundantes según la intensidad de clara.....	31
Figura 18. Abundancias totales por gramo de muestra de los ácaros oribatidos según el tipo de dosel y clase de descomposición.....	32
Figura 19. Abundancias totales por gramo de muestra de los otros ácaros según el tipo de dosel y clase de descomposición.....	32
Figura 20. Abundancias totales por gramo de muestra de los ácaros inmaduros según el tipo de dosel y clase de descomposición.....	33



Figura 21. Abundancias totales por gramo de muestra de los colémbolos según el tipo de dosel y clase de descomposición.....	33
Figura 22. Contenido hídrico (%) en restos leñosos asociados a invertebrados según su tipo de dosel.....	36
Figura 23. Contenido hídrico (%) en restos leñosos asociados a invertebrados según la intensidad de clara.....	36
Figura 24. Contenido hídrico (%) en restos leñosos asociados a invertebrados según su clase de descomposición.....	37
Figura 25. Fotografía del dosel de las parcelas control y de las parcelas con claras de 40%.....	49

## RESUMEN

**Título del Trabajo de Fin de Master:** INFLUENCIA DE LAS CLARAS FORESTALES EN LOS RESTOS LEÑOSOS DE PINO SILVESTRE EN UN BOSQUE MIXTO EN ASPURZ: UN ENFOQUE DE VOLUMEN, BIOMASA Y HÁBITAT DE INVERTEBRADOS.

**Director:** Juan A. Blanco Vaca.

### **Resumen:**

En esta investigación se pretendió conocer si la gestión forestal con distintas intensidades de clara (0%, 20% y 40%) influyen en los restos leñosos de un pinar – hayedo de Aspuz (Navarra nor-oriental). Por esta razón se realizaron transectos en línea para conocer el volumen, biomasa y las clases de descomposición presentes de restos leñosos. Adicionalmente se tomaron muestras de restos leñosos de las clases de descomposición más avanzadas para conocer la comunidad de invertebrados presentes de acuerdo a la intensidad de clara, tipo de dosel (*Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica*) y el estadio de descomposición. Los resultados encontrados indicaron que el volumen y biomasa estuvieron influidos significativamente por las claras forestales, así como las clases de descomposición presentes de forma mayoritaria fueron las clases de descomposición intermedias. En los resultados de invertebrados se registraron 19 taxones, siendo los más abundantes los ácaros oribátidos, otros ácaros, ácaros inmaduros y colémbolos. La intensidad de clara no influyó significativamente en todos los taxones, pero el tipo de dosel y la clase de descomposición sí influyeron significativamente en los taxones más abundantes. Estos resultados tuvieron relación con la mayor radiación de luz directa en *Pinus sylvestris* en comparación a *Fagus sylvatica*, así como el contenido hídrico de las muestras de restos leñosos. Mis resultados de volumen de restos leñosos indicaron que en las parcelas de 40% de eliminación de área basal de árboles no alcanzan el valor mínimo necesario para la conservación de las especies saproxílicas, lo cual debería ser tomado en cuenta como una recomendación en la gestión forestal.

**Palabras clave:** restos leñosos, claras forestales, *Pinus sylvestris*, especies saproxílicas, Aspuz

## ABSTRACT

**Title of the Master's Thesis:** INFLUENCE OF THINNING ON SCOTS PINE DEAD WOOD IN A MIXED FOREST IN ASPURZ: VOLUME, BIOMASS AND INVERTEBRATE HABITAT APPROACH.

**Director:** Juan A. Blanco Vaca

### **Abstract:**

The aim of this study was to determine if forest management, with different intensities of thinning, (0%, 20%, and 40%) could influence the amount of coarse woody debris in a pine-beech forest in Aspuz ( north-eastern Navarra). Line transects were conducted to determine the volume, biomass, and decomposition classes of coarse woody debris. Additionally, samples of decaying classes of coarse woody debris were taken to determine the invertebrate community according to thinning intensity, type of canopy (*Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica*) and decomposition stage. The results indicate that the volume and biomass of the woody debris were significantly influenced by thinning. The majority of the decomposition classes present were in the mid-stage of decomposition. The invertebrate results showed 19 taxa present. The most abundant were Oribata mites, other mites, immature mites and springtails (Collembola). The thinning intensity was not significantly influencing on the total taxa, but the type of canopy and the decomposition class significantly influenced in the most abundant taxa. These results are related to the increased direct radiation under *Pinus sylvestris*, as compared to direct radiation under mixed *Pinus - Fagus sylvatica* canopy. Differences among canopy type on coarse woody debris did also likely influence microarthropod presence. The results indicate that volume of coarse woody debris in plots of 40% removal of basal area of trees doesn't reach the minimum value for the conservation of saproxylic species. This should be taken into account as a recommendation in forest management.

**Key words:** coarse woody debris, forest thinning, *Pinus sylvestris*, saproxylic species, Aspuz

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Importancia de los bosques

Los bosques cumplen un mosaico de funciones, entre ellos procesos y consideraciones ecológicas, económicas y socioculturales.

Entre los principales servicios ecológicos se incluye la regulación de los regímenes hídricos mediante la interceptación de la lluvia y la regulación de su flujo a través del sistema hidrológico, el mantenimiento de la calidad del suelo y la provisión de materiales orgánicos a través de las hojas y ramas caídas, la limitación de la erosión y la protección del suelo del impacto directo de las lluvias, la modulación del clima y finalmente siendo un componente clave en la biodiversidad, tanto en sí mismos como un hábitat para otras especies (Sousson *et al.*, 1995).

En cuanto a economía, los bosques también son la base de muchas industrias en las que se incluye la producción de madera, la madera procesada y papel así como caucho y frutas. (Sousson *et al.*, 1995). Los servicios culturales son los beneficios no tangibles de los bosques, generalmente incluyen los valores espirituales asociados al lugar, sentido artístico y estético, ocio, turismo de naturaleza, relajación, disfrute, educativos y científicos, sentido de pertenencia y hasta el conocimiento tradicional (Palacios, 2011).

Sin embargo en una investigación en la cual examinaron los valores económicos comercializados y no comercializados de los bosques de ocho países mediterráneos, se constató que la madera y la leña suponían, por lo general, menos de un tercio del valor económico total de los bosques. Los valores relacionados con productos forestales no maderables, las actividades recreativas, la protección de cuencas, la captura de carbono, etc., suponían entre un 25% y un 96% del valor económico total de los bosques (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).

Por esta razón para el año 2007 la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la definición de Manejo Forestal Sustentable (SFM), en el que se recalca que es un concepto dinámico y en evolución que apunta a mantener el valor económico, social y ambiental de todos los tipos de bosques en beneficio de las generaciones presentes y futuras. El SFM se caracteriza por siete elementos, incluyendo: extensión de los recursos forestales, diversidad biológica de los bosques, salud y vitalidad del bosque, funciones productivas de los recursos forestales, funciones productoras de los recursos forestales, funciones socioeconómicas de los bosques, además de un marco legal, político e institucional (United Nations, 2008).

Los bosques Mediterráneos cumplen un rol muy importante en la región y siempre han sido un factor crucial en la vida de sus habitantes. La estrecha relación que se ha desarrollado en el tiempo entre humanos y el bosque muchas veces ha sido estable, pero muchas veces ha estado fuera de equilibrio, lo cual se ha hecho muy notable por su fragilidad (Hirit, 1999).

Los bosques mediterráneos representan el 9.4% de la superficie total de la región con un total de 81 millones de hectáreas, una explotación insostenible de sus recursos a través de los siglos ha resultado en su degradación que ocurre a diferentes velocidades, dependiendo de las vicisitudes de la historia y las sucesivas civilizaciones que han habitado cerca de la cuenca del mediterráneo, reduciéndose así estos bosques en la zona, además de perder su biomasa y biodiversidad (Hirit, 1999).

Los montes de Navarra pertenecen a un gran conjunto de bosques en cuyo entorno ha permitido desarrollarse la cultura europea. Representan también algunos rasgos característicos más notables, ya que en el territorio foral convergen las influencias atlánticas, pirenaicas y mediterráneas. Estos montes contribuyen también al mantenimiento de la capacidad productiva de biodiversidad del patrimonio natural ya que actúan como un reservorio para el amparo de la variabilidad genética de la flora y fauna forestal, una buena fracción de este banco genético sirve de apoyo a la agricultura y ganadería debido a las especies cultivadas o domesticadas (Gobierno de Navarra, 2015).

## **1.2 Antecedentes de la Gestión Forestal en Navarra**

Respecto a los aprovechamientos forestales maderables (madera, leña y tronquillo) en Navarra, la cifra media entre 1998 y 2013 fue alrededor de 274.510 m<sup>3</sup>/año, siendo importante destacar que entre los años 2009 y 2013 se produjo un incremento de corta (III Plan Energético de Navarra horizonte 2020, 2015).

En la gestión forestal se utilizan muchos tipos de actuaciones sobre el bosque. En esta investigación, la práctica forestal que se ha realizado en las parcelas consistió en claras forestales, una práctica en la que básicamente se remueven los árboles competitivos para expandir el espacio de crecimiento de los árboles que serán cosechados posteriormente o que serán retenidos para cualquier otro objetivo. Usualmente las claras de los rodales jóvenes involucran la eliminación de árboles que tienen una forma pobre, pero en rodales viejos los árboles eliminados pueden ser suficientemente grandes como para cosechar un producto. Las claras forestales son un importante componente del control de la densidad de los rodales (Fujimori, 2001).

Entre los principales objetivos de las claras forestales se encuentran; mantener la resistencia a agentes destructivos, control de la calidad de madera, incrementar el porcentaje de rendimiento y mejorar las condiciones de luz en el sotobosque (Fujimori, 2001).

El tipo de claras que se realizan en Navarra es siempre por lo bajo, lo que no favorece la producción en calidad y genera así una excesiva homogeneización de las masas forestales. La introducción de técnicas de claras selectivas recién está empezando y es probable que se tope con resistencias inerciales (Gobierno de Navarra, 2015).

En investigaciones realizadas en el Pirineo navarro se conoce que las claras forestales reducen la biomasa, el contenido de los nutrientes, la hojarasca, así como también alteran la producción y descomposición de restos leñosos (Martínez, 2015). Sin embargo el efecto de las claras en el

bosque va a depender especialmente de las condiciones del suelo, clima, tipo de especies y edad de los árboles (Blanco *et al.*, 2006a).

### **1.3 Importancia ecológica de los restos leñosos**

Los bosques son un ecosistema que presenta también una estratificación vertical en una comunidad ecológica que puede ser subdividida en el dosel, sotobosque, estrato arbustivo, estrato herbáceo y el suelo que es principalmente el sitio de descomposición de la hojarasca, restos de animales, así como de restos leñosos (Carter, 2005).

Según Harmon *et al.*, (1986) se considera resto leñoso a cualquier material maderable caído con un tamaño  $> 2,5$  cm en diámetro, aunque en muchos estudios solamente consideran al material largo. El ingreso de estos restos leñosos al ecosistema está considerado en niveles de acuerdo a su jerarquía, aunque esto va a depender del nivel de jerarquía que se esté examinando. Cuando se considera solamente a los troncos, la fragmentación de los árboles muertos en pie son considerados como una entrada de restos leñosos en troncos. Por otra parte si se considera a los árboles muertos en pie y a los troncos, entonces la fragmentación de los árboles muertos en pie es una transformación de los restos leñosos de una forma a otra. Sin embargo existen muchos factores que controlan la descomposición de los restos leñosos, estos incluyen: la temperatura, humedad, oxígeno, CO<sub>2</sub>, calidad del sustrato y los organismos involucrados.

El valor funcional de los restos leñosos, depende no solo de su cantidad, sino también de su distribución en términos de tamaño, disposición espacial, grado de descomposición, especies y su posición (Harmon *et al.*, 1986).

En cuanto a su importancia, los restos leñosos representan hábitat para muchas especies, incluyendo organismos autótrofos y heterótrofos. Los troncos nodriza han sido ampliamente reconocidos como un ejemplo de que los troncos actúan como hábitat de especies autótrofas (Kirk, 1966).

Los árboles muertos en pie son utilizados también por muchos taxones de animales, particularmente aves y son considerados como una preocupación emergente en investigación y manejo de fauna (Davis *et al.*, 1983). Algunas de las especies de aves que anidan en las cavidades en ecosistemas forestales de Norteamérica se pueden encontrar en varias investigaciones realizadas por Peterson (1961), Raphael y White (1984) y Thomas (1979).

Muchos pequeños mamíferos usan también restos leñosos para reproducirse, alimentarse y protegerse, algunas de estas especies se mencionan por Golley *et al.* (1975), Thomas (1979), Truskowski (1974), Hanson (1971), Grodzinski (1971), Grodzinski *et al.* (1970) y Corbet y Southern (1977).

De la misma manera los anfibios usan los restos leñosos caídos para su termoregulación, protección de la desecación, reproducción y los sustratos como alimento. De igual forma, los anfibios pueden indicar la sostenibilidad de la biomasa leñosa cosechada porque su fisiología hace que sean más

susceptibles a disturbios y manipulaciones que alteran la temperatura y la humedad del suelo del bosque (Fritts *et al.*, 2015).

Los restos leñosos también son considerados como un sumidero de nutrientes a corto y a largo plazo y como una entrada de estos nutrientes al ecosistema. De esta manera se conoce también que el contenido de los nutrientes influye en la tasa de descomposición, en su ciclo y la idoneidad de estos restos leñosos como un medio de enraizamiento (Harmon *et al.*, 1986).

Para entender mejor la función de los restos leñosos como una entrada de nutrientes es importante mencionar su subdivisión en cuatro componentes: corteza exterior, corteza interior que incluye el cambium y el floema; albura y el duramen. Esta clasificación ha permitido tener una mejor comprensión sobre los árboles que son resistentes a la descomposición, así como qué restos leñosos varían internamente como hábitats de invertebrados (Harmon *et al.*, 1986). También se debe considerar que la estructura anatómica de los árboles está a menudo correlacionada con las diferencias químicas que parecen ser ideales para la colonización de la madera por parte de microbios (Wilcox, 1973), debido a que las paredes celulares generalmente están compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina que constituyen la mayor parte de la biomasa de los restos leñosos. Algunos elementos como calcio (Ca) también pueden ser parte de estas paredes celulares (Harmon *et al.*, 1986).

Los elementos requeridos por microbios, invertebrados, vertebrados y plantas difieren entre sí, aunque hay alrededor de 17 elementos esenciales para plantas altas, estos son: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), fósforo (P), potasio (K), nitrógeno (N), sulfuro (S), calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg), boro (B), manganeso (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn), cloro (Cl) y molibdeno (Mo). (Harmon *et al.*, 1986).

Los hongos necesitan todos estos elementos con excepción de calcio y boro, sin embargo el galio, escandio, vanadio son esenciales para algunos hongos (Lilly, 1965) . A su vez para la fijación del nitrógeno por procariontas se necesita cobalto, los animales también requieren yodo (I), sodio (Na), selenio (Se), cromo (Cr), estaño (Sn), vanadio (V), fluor (F), silicio (Si) y níquel (Ni) (Harmon *et al.*, 1986).

Según Swift (1977) la concentración de los nutrientes de los restos leñosos es relativamente baja si se compara con hojas, flores y frutos y al parecer los organismos que se alimentan de restos leñosos parecen estar adaptados a crecer en condiciones bajas de nutrientes.

Sin embargo en investigaciones realizadas en el Pirineo Navarro (Aspurz y Garde) midiendo el efecto de las claras forestales en el ciclo de nutrientes, se encontraron tres patrones importantes en estos dos sitios: en N y P (ramas>tallos>acículas), Ca y Mg (tallos>ramas>acículas) y K (ramas=tallos). Las claras solamente alteraron el patrón de N y P en Garde incrementando la relativa importancia de todo el conjunto de acículas (ramas > acículas > tallos). Se concluyó que las claras disminuyen significativamente la reserva de nutrientes en las parcelas con mayor intensidad de clara (P20 y P30) en comparación a los sitios control aunque no se encontraron

diferencias significativas para las reservas de nutrientes en las parcelas aclaradas al 20% y 30% del área basal (Blanco *et al.*, 2006b).

#### **1.4 Colonización de invertebrados en restos leñosos**

Esta fuente de carbono y nutrientes en restos leñosos hace posible que con su fragmentación y descomposición se facilite la colonización y aprovechamiento por invertebrados saproxílicos que parte de su ciclo vital dependen de la madera muerta (restos leñosos en pie o caídos), así como de hongos de esta madera (Speight, 1989). Algunos de estos organismos pueden ser clasificados como especies autóctonas de la madera o como invasores (Swift, 1977). Las especies autóctonas o nativas son organismos que dependen de la madera para completar su ciclo de vida y pueden atacar a los árboles vivos convirtiéndolos en restos leñosos (Hanula, 1996). Por otro lado se considera organismos invasores a aquellos que pueden existir en otros hábitats y no dependen de la madera exclusivamente para completar su ciclo de vida (Harmon *et al.*, 1986; Hanula, 1996).

La comunidad de insectos que se alimenta de la madera puede verse afectada por muchos factores como son: la distribución geográfica, las condiciones microclimáticas, los gradientes de elevación y latitudinales, las especies de árboles, la posición y tamaño del resto leñoso, la humedad, temperatura (Hanula, 1996), hasta el tipo de sustrato y los niveles de oxígeno disuelto (Braccia y Batzer, 1999).

Sin embargo en este contexto es importante mencionar que los hongos aportan de gran manera y de varias formas a la ecología nutricional de los insectos que se alimentan de la madera. En primer lugar los hongos contribuyen con nutrientes para el desarrollo de los insectos que no encuentran suficientes cantidades de nutrientes en la madera por sí sola (Swift, 1977). En segundo lugar los hongos rompen la madera dejándole más suave y masticable para que pueda ser asimilada por los insectos (Swift *et Boddy*, 1982). En tercer lugar los hongos también aumentan el contenido de humedad de la madera en descomposición que puede alterar esa aceptabilidad como hábitat y fuente de alimento para algunos insectos (Hanula, 1996). Finalmente las enzimas provocadas por los hongos que son ingeridas por los insectos con la madera que comen, proveen otro beneficio ya que pueden ser responsables de la digestión de la celulosa de muchas especies de xilófagos (Martin, 1987). Finalmente los hongos también pueden actuar como un desintoxicante de la madera que contiene compuestos tóxicos o repelentes alelo químicos. En algunas investigaciones se ha demostrado que las termitas utilizan la madera cuando los hongos reducen la cantidad de alelo químicos presentes (Swift y Boddy, 1982).

Adicionalmente, en arroyos se conoce también que los primeros colonizadores de los restos leñosos son organismos de Trichoptera y como perforadores los Dípteros. Las larvas de los Trichoptera pueden fragmentar la madera, algunos escarabajos Elmidae crean espacios intersticiales para facilitar la colonización y la explotación de la madera por otros invertebrados. Después que la madera llega a estar suave y podrida, los Oligoquetos y otros tipos de dípteros llegan a ser más abundantes (Braccia y Batzer, 1999).



El proceso de reciclaje de los restos leñosos en el suelo puede tomar muchas veces cientos de años para completar las siguientes fases principales:

1. La primera fase de colonización es corta en la cual la madera es invadida primeramente por organismos saproxílicos, en su mayoría escarabajos longicornios asociados a los hongos que atacan la madera cuando todavía está dura.
2. Posteriormente se produce la fase de descomposición en los cuales los primeros organismos saproxílicos se unen o son reemplazados por organismos saproxílicos secundarios que se alimentan de materia que ya ha sido parcialmente convertida por los colonizadores, estos organismos secundarios también pueden ser depredadores de los organismos saproxílicos primarios.
3. Finalmente ocurre la fase de humificación (formación del humus), en la cual los organismos saproxílicos son progresivamente reemplazados por organismos barrenadores como colémbolos o milípedos que incorporan los residuos de la madera al suelo cuando éste ha sido suficientemente transformado durante la fase de descomposición (Dudley y Vallauri, 2004).

Adicionalmente de una manera cronológica por diversos ciclos según varios autores se conoce que durante el primer ciclo de entrada de los restos leñosos los insectos xilófagos dispersan los hongos así como también a los primeros ácaros colonizadores y nemátodos presentes (Hanula, 1996). La corteza empieza a perderse y la comunidad subcortical de las larvas de díptera, ácaros siguientes, centípedos y los depredadores coleópteros se desarrollan (Savely, 1939). En el segundo ciclo los hongos en la madera podrida se hacen más comunes y suavizan la albura. Los insectos sociales como las hormigas carpinteras y termitas excavan la madera para la formación de sus nidos (Harmon *et al.*, 1986). Los invertebrados presentes en este punto primeramente se alimentan de hongos y de albura podrida. Las especies barrenadoras de madera podrida, excavadores y una diversidad de larvas de díptera llegan a establecerse en la capa subcortical. La corteza se mantiene intacta pero existen numerosos orificios de los organismos barrenadores adultos (Savely, 1939; Fager, 1968; Harmon *et al.*, 1986). Durante el tercer ciclo, la corteza continúa perdiéndose y la albura desaparece aunque el duramen sigue estando en gran parte intacto. Los hongos, los organismos que se alimentan de madera podrida y los depredadores llegan a ser los dominantes. Una fauna similar persiste en el duramen podrido y posteriormente la madera descompuesta es incorporada al suelo forestal (Savely, 1939; Fager, 1968; Harmon *et al.*, 1986).

Los invertebrados pueden ser considerados como indicadores directos o indirectos de su gestión forestal. En investigaciones realizadas en Aspuz por Unzu Jabat (2006) sobre la colonización de hojarasca por mesofauna de invertebrados se concluyó que los arácnidos del Sub orden Mesostigmata y Criptostigmata, así como los ácaros oribátidos son los que tienen densidades mayores. De la misma manera el tipo de dosel de pino influyó significativamente en la abundancia del orden Parasitiforme, los cuatro órdenes de colémbolos y algunos órdenes de oribátidos lo que podría sugerir una mayor necesidad de humedad.

En ecosistemas forestales de Navarra existen pocas investigaciones de descomposición de restos leñosos, entre los cuales cabe destacar a Martínez (2015) que estudió la biomasa de los restos leñosos de Garde, así como su tasa de producción y descomposición. Sus principales resultados mencionan que las parcelas aclaradas con 30% presentaron una mayor producción anual de restos leñosos en comparación a las parcelas aclaradas con 20% aunque no se encontraron diferencias significativas que afirmen que las claras influyen en la tasa de producción. En cuanto a la tasa de descomposición de restos leñosos, se conoció que serían necesarios 16 años para descomponer la mitad de los restos leñosos ( $T_{50\%}$ ) y 69 años para descomponer el 95% de los mismos ( $T_{95\%}$ ), así también el tiempo de residencia de 1 kilogramo de resto leñoso en el suelo sería de 23 años. En esta investigación no se encontraron diferencias significativas en el volumen y biomasa de los restos leñosos, pero existió una tendencia mayor en las parcelas sin aclarar. De la misma manera no existieron diferencias significativas en la tasa de producción de restos leñosos para las parcelas con claras de 20 y 30%. Finalmente las clases de descomposición de restos leñosos más comunes fueron las clases de descomposición intermedias.

Sin embargo en Navarra no se ha estudiado la colonización de invertebrados en restos leñosos, ya que en muchos casos solamente se investiga a los insectos que son considerados como una plaga para los árboles vivos. A su vez, la entrada de volumen de restos leñosos así como sus pérdidas por descomposición asociadas a invertebrados ha sido poco estudiada, lo cual hace importante que en esta investigación se busque cumplir con los siguientes objetivos.

## 2 OBJETIVOS

- Cuantificar la biomasa y el volumen de restos leñosos por hectárea en 9 parcelas con distinta intensidad de clara (0, 20% y 40% de área basal retirada) en un bosque mixto de pino y haya en Aspurz (Pirineos occidentales).
- Determinar si existen diferencias significativas entre los diferentes tipos de tratamientos de clara en biomasa y el volumen de los restos leñosos por hectárea.
- Estimar la abundancia y riqueza por ordenes de invertebrados asociados a los restos leñosos en Aspurz.
- Determinar si el tipo de dosel arbóreo (dosel de pino o dosel mixto de pino y haya) se relaciona con diferencias significativas en la abundancia y riqueza de estos invertebrados asociados a restos leñosos.
- Determinar si el uso de distintas intensidades de clara (0, 20% y 40% del área basal) se relaciona con diferencias significativas en la abundancia y riqueza de invertebrados asociados a restos leñosos.
- Determinar si el estado de descomposición de los restos leñosos se relaciona con diferencias significativas en la abundancia y riqueza de invertebrados asociados a restos leñosos.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Superficie forestal en Navarra

Para los años noventa la superficie forestal alcanzó el 64% de la superficie total de Navarra, con 1.039.072 has, predominando las frondosas (237.000 has) sobre las coníferas (125.000 has). Para los hayedos la superficie fue de 132.348 has presentando un 36% del total, mientras que para los pinares de pino silvestre su superficie fue menor con 59.181 has con un 16% del total. (Gobierno de Navarra, 2015).

De acuerdo al III inventario Forestal Nacional, en los últimos 25 años la superficie forestal se ha incrementado en un 24%, siendo el crecimiento anual de los bosques aproximadamente a 1,3 millones de m<sup>3</sup>/ año. A su vez el IV Inventario Forestal Nacional para Navarra aún no publicado ha estimado una existencia total de 60,2 millones de m<sup>3</sup> lo que implica un incremento de 5,5 millones de m<sup>3</sup> en relación con el anterior (III Plan Energético de Navarra horizonte 2020, 2015).

Para el haya o *Fagus sylvatica* la superficie actual es de 131,957 has, mientras que para *Pinus sylvestris* esta superficie es de 67,162 has (III Plan Energético de Navarra horizonte 2020, 2015).

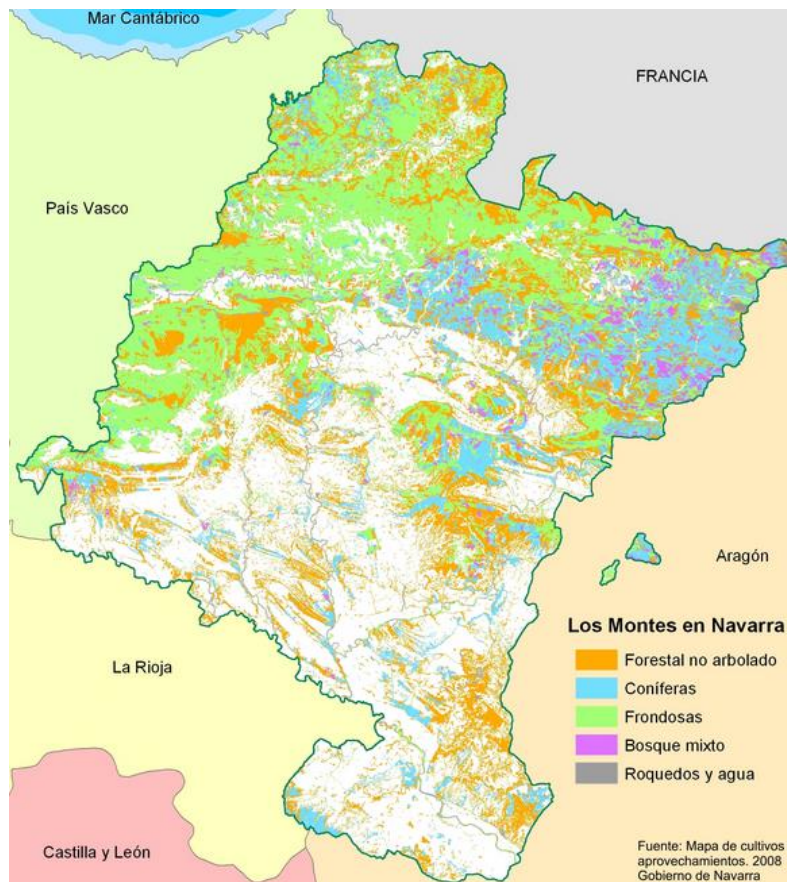
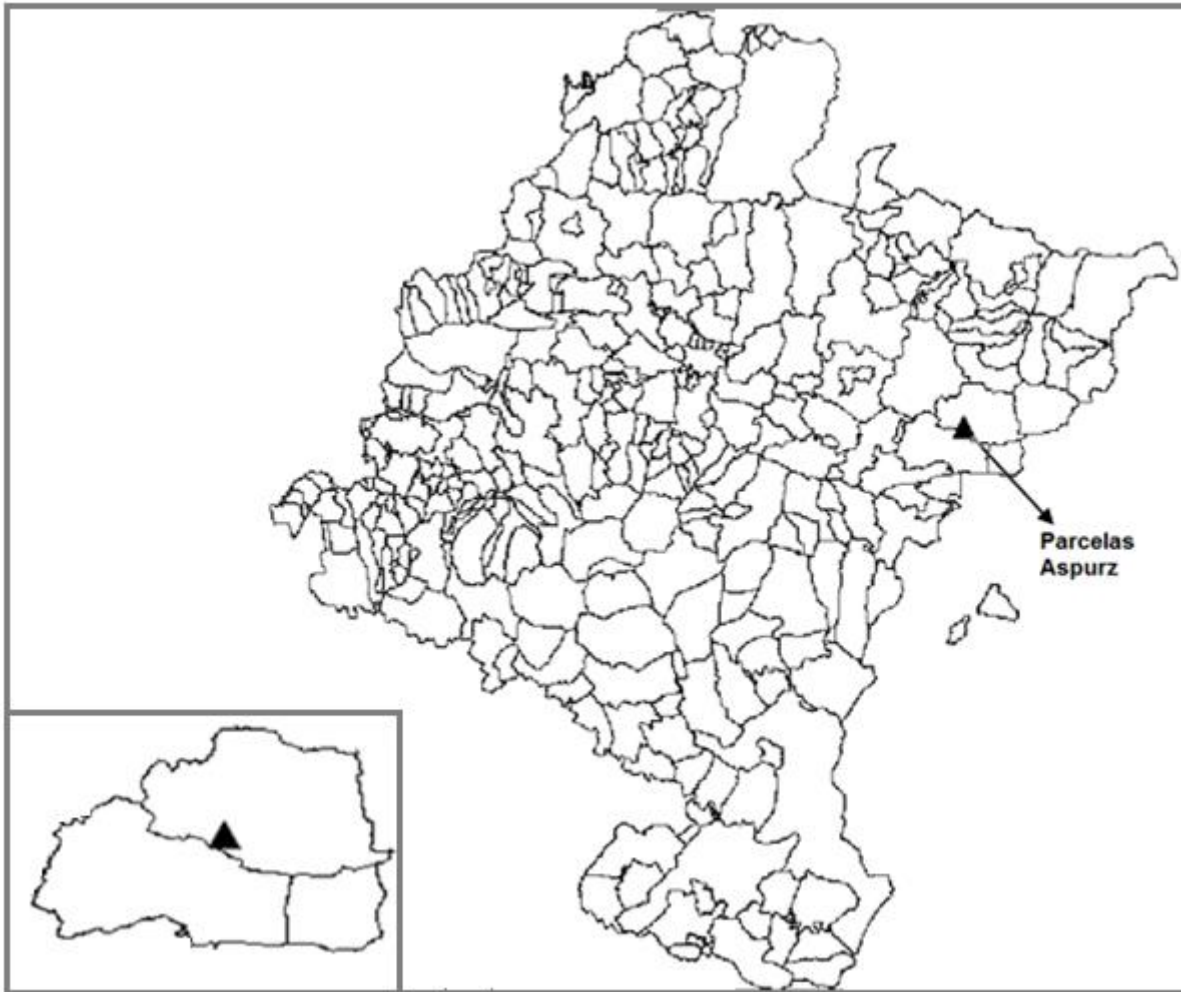


Figura 1. Mapa de distribución de la superficie forestal en Navarra.

### 3.2 ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio se localiza en Aspuz, municipio ubicado en el norte de Navarra en España, al oeste de los Pirineos. Este bosque, es uno de los bosques más productivos de *Pinus sylvestris* en el país. Según la clasificación de Iriarte y Puertas (2003) tiene un índice de calidad I, equivalente a 29 metros de altura dominante a la edad de 80 años (Blanco *et al.*, 2006b) (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de ubicación de las parcelas de Aspuz en Navarra – España (Elaboración propia)



**Figura 3.** Localización de las parcelas de estudio en Aspurz (Prepirineo Navarro).

Las características del área de estudio se describen en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características del área de estudio (Blanco *et al.*, 2006a; Blanco *et al.*, 2011).

<b>Bosque Mediterráneo de Aspurz</b>	
Latitud	42°48'50" N
Longitud	52'30' W
Altitud (metros)	625
Pendiente (%)	7
Suelo	Alisol háplico
Temperatura media (°C)	12.0
Precipitación media (mm)	912
Tipo de clima (Papadakis, 1970)	Clima mediterráneo frío
Otras especies de árboles de dosel	<i>Fagus sylvatica</i> L. en su mayoría se encuentran en el sotobosque, con 134 árboles (3.3% de la densidad de los árboles de pino)
Especies dominantes del sotobosque	<i>Quercus humilis</i> L. <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn <i>Rubus ulmifolius</i> Schott

### 3.3 ESPECIES DOMINANTES A ESTUDIAR

Como ya mencionamos previamente estas parcelas se encuentran dominadas por las especies de árboles *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica*, a continuación explicaremos brevemente estas especies.

## *Pinus sylvestris*

### **Descripción**

También se le conoce como pino royo, pino albar/ pino gorria y pertenece a la familia Pináceae. Es un árbol de 40 metros con su copa piramidal, corteza anaranjada en la parte superior del tronco, donde se desescama y parda en el resto. Sus hojas tienen forma de acículas que están agrupadas por parejas, rígidas pero pequeñas (3-7 cm) aunque también son relativamente anchas (2mm). Son de color verde glauco; perenne. Las flores son masculinas en amentos erguidos y agrupados en la base de las ramas jóvenes. Las piñas son pequeñas de hasta 6cm, sentadas pero con escamas en su apófisis, también son planas y algo piramidales (Peralta de Andrés, 1995a).

### **Ecología**

Se le encuentra en zonas con cierta continentalidad, ya que es indiferente al sustrato, piso montano con ombrotipo de subhúmedo a hiperhúmedo (Peralta de Andrés, 1995a).

### **Distribución**

En Navarra se encuentra distribuido en los valles de Roncal y Salazar, Sierras de Illón y Leire, Urraúl alto y de Arce, además de varios puntos de Sierra de Alaitz. Es importante mencionar que esta especie de árbol se ha utilizado en repoblaciones forestales en otras zonas de Navarra (Peralta de Andrés, 1995a).

El pinar acidófilo se encuentra en la zona del Monte de Calveira limitado con Huesca en una altitud de 1.100 – 1200 metros. Generalmente en su sotobosque musgoso es posible encontrar enebros (*Juniperus communis*), *Galium rotundifolium*, *Deschampsia flexuosa* y *Veronica officinalis*. En el caso del pinar calcícola suele estar acompañado de especies como el erizón, gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*), *Hepatica nobilis*, *Teucrium pyrenaicum* y *Rhamnus alpina*, este pinar es el más ampliamente extendido por la naturaleza predominante básica del sustrato (Gobierno de Navarra, 2015).

El pino silvestre tiene una naturaleza colonizadora que se refleja en su eficaz estrategia de regeneración y en su carácter heliófilo y frugal, ya que de esta manera permite invadir sin dificultad pastos poco frecuentados y cultivos abandonados. Se conoce que en los pinares salancecos y en toda la extensa superficie entre este valle y el Olaibar han crecido con frecuencia en el estrato arbustivo hayas, robles pubescentes e incluso en algunos casos marojos y abetos. El pino silvestre permite crear un ambiente forestal para que especies más exigentes y menos tolerantes a la luz puedan sobrevivir y desarrollarse (Gobierno de Navarra, 2015).

## *Fagus sylvatica*

### **Descripción**

También se le conoce como haya o pagoa y pertenece a la familia de las Fagáceas. Es un árbol grande, que llega a medir hasta 40 metros, caducifolio. Su tronco es de corteza blanca grisácea y sus hojas son simples, alternas, ovales y con el margen un poco ondulado y ciliado cuando son jóvenes. Las flores masculinas se encuentran agrupadas a lo largo de sus pedúnculos en forma colgante. Las flores femeninas están erguidas formadas por cuatro piezas que dan origen a la cúpula del fruto, que está cubierta por picos blancos y en su interior contiene a 1 o 2 hayucos (Peralta de Andrés, 1995b).

### **Ecología**

Desde suelos neutros a muy ácidos, sobre materiales calcáreos o silíceos y especialmente en el piso montano. Sin embargo en los valles cantábricos desciende hasta el colino. Un ombrotipo húmedo pero en las sierras meridionales la menor precipitación se compensa con nieblas (Peralta de Andrés, 1995b).

### **Distribución**

Se encuentra distribuida al norte de Navarra, por lo general sobre los 650 m.s.n.m. con localidades meridionales en las Sierras de Codés, Lokiz, Alaitz, Izaga, Leire y Petilla (Peralta de Andrés, 1995b).

## **3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL**

El objetivo de esta investigación fue analizar si la intensidad de claras tiene un efecto sobre varios aspectos ecológicos de bosques dominados por *Pinus sylvestris*. En este caso el presente trabajo analizó de forma específica los restos leñosos y sus invertebrados asociados.

La toma de datos para estimar los restos leñosos fue realizada el 16 y 17 de marzo del año 2015 y la recolección de restos leñosos para cuantificar los invertebrados fue realizada el 23 de abril del mismo año.

### **3.4.1 Ensayo de claras en Aspurz**

Al momento de realizar las primeras claras en 1999 la edad media de los árboles fue de 32 años con una densidad de 4040 árboles por hectárea y una altura media de 12,8 metros, así también como la media del diámetro a la altura del pecho (DAP) fue de 11,7 cm y el área media basal fue de 41,2 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Blanco *et al.*, 2006b).

El diseño experimental consistió en 9 parcelas establecidas en el bosque de Aspurz, con tres tratamientos de clara repetidos tres veces cada uno y aplicados a cada parcela. Las parcelas tuvieron un área de 40mx 30m con un total de 1200 m<sup>2</sup>. El proceso de claras en Aspurz se dio por medio de dos intervenciones distintas en los años 1999 y 2009. Los árboles talados en la primera clara



principalmente fueron dominados, enfermos, malformados o muertos, y en la segunda clara se asume que la tala se realizó en árboles dominantes y alguno codominante con tallos malformados (Blanco *et al.*, 2011). Para evitar el efecto de borde se realizó el mismo tratamiento a una franja de 5 – 10 metros adyacente a la parcela aclarada. En 1999 y 2009, los tocones fueron dejados en el suelo y la mayor parte de los troncos y ramas taladas fueron retirados del sitio de estudio (Blanco *et al.*, 2005). En 2009, los troncos y grandes ramas fueron retirados para su uso comercial, dejando el resto del material vegetal en las parcelas.

Los tratamientos fueron divididos por parcelas de la siguiente manera:

### Tratamiento de 0%

También llamada parcela control o sin claras realizadas (Blanco *et al.*, 2011). Las parcelas que se utilizaron en esta clara fueron numeradas como 3, 4 y 9 (Figura 4).

### Tratamiento de 20%

Clara moderada a baja, en donde se removió el 20% del área basal en 1999 y de nuevo en 2009 (Blanco *et al.*, 2011). Las parcelas sometidas a este tratamiento fueron las parcelas numeradas como 1, 6 y 8 (Figura 4).

### Tratamiento de 40%

Clara media – intensa, en donde se removió el 30% del área basal en el año de 1999 y el 40% en el año 2009 utilizando los mismos criterios que en el tratamiento del 20% (Blanco *et al.*, 2011). Las parcelas sometidas a este tratamiento fueron numeradas como 2, 5 y 7 (Figura 4).

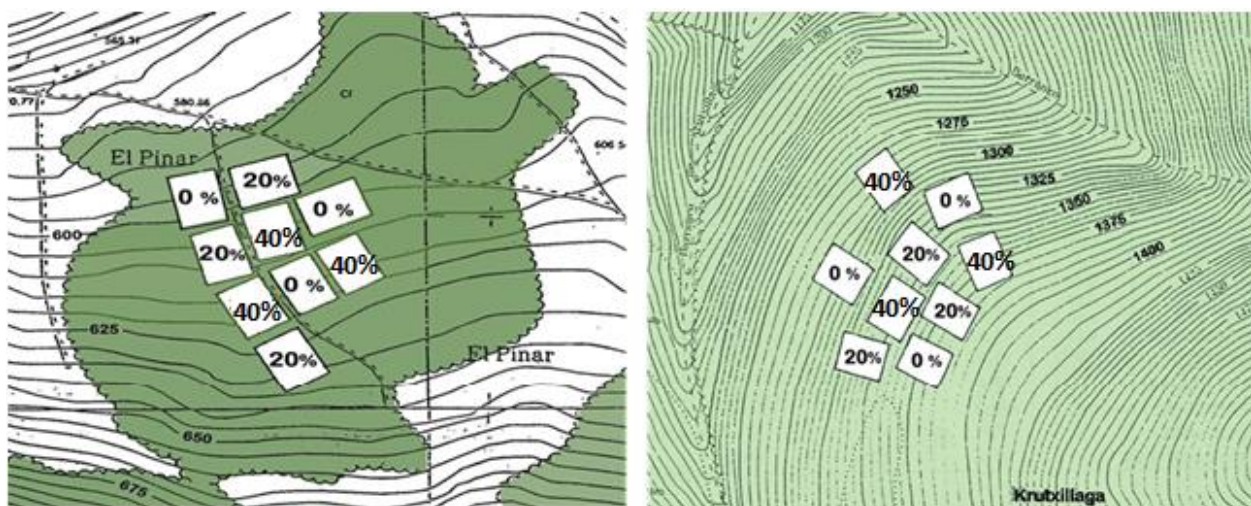


Figura 4. Mapa del área de estudio con sus respectivos tratamientos.



**Figura 5.** Fotografía superior de las parcelas control y fotografía inferior de las parcelas con claras de 40% (Derechos de Bosco Imbert).

### **3.4.2 Inventario de restos leñosos**

Se utilizó el método más común para inventariar restos leñosos y consistió en el muestreo de transecto en línea (LIS). El diseño de LIS varía ampliamente en algunos aspectos clave dependiendo de los objetivos de estudio.

En esta investigación, previo a realizar los transectos se identificaron los límites de las parcelas por medio de mojones. Posteriormente se realizaron dos transectos simultáneamente en cada parcela, uno en cada diagonal mayor de las parcelas rectangulares. Estos transectos se establecieron en un patrón de  $120^\circ$  de separación, más información de este método se puede encontrar en Morfin – Ríos *et al.* (2012) y en Marshall *et al.* (2000).

Posteriormente se registró la longitud de cada transecto y se realizó el inventario de material leñoso caído mayor a 2,5 cm de diámetro que interceptó con el transecto (Figura 6).



**Figura 6.** Transecto en línea LIS utilizado para el inventario de los restos leñosos.

Se registraron los siguientes datos:

Para los troncos y ramas:

1. Circunferencia o diámetro del resto leñoso en el sitio donde intercepta con el transecto.
2. Circunferencia o diámetro de cada extremo del resto leñoso.
3. Longitud del resto leñoso.

Para los tocones:

1. Diámetro del tocón.
2. Altura del tocón.

A su vez se registró la ubicación del resto leñoso en la longitud del transecto y su clase de descomposición. De acuerdo a Waddell (2002), estas clases de descomposición se han definido de la siguiente manera:

**Tabla 2.** Criterios de clasificación del grado de descomposición de los restos leñosos.

<b>Nivel de putrefacción</b>	<b>Integridad estructural</b>	<b>Textura de la madera</b>	<b>Color</b>	<b>Presencia de raíces invasoras</b>	<b>Condición de ramas gruesas y finas</b>
<b>1</b>	Dura	Intacta no putrefacta.	Color original	Ausente	Si las ramas están presentes, tienen ramas finas y el tronco presenta corteza.
<b>2</b>	Duramen duro, albura en algún grado de Putrefacción.	La mayor parte intacta, albura parcialmente.	Color original	Ausente	Ramas presentes, aunque ya no tiene muchas ramas finas y la corteza se empieza a caer.
<b>3</b>	Duramen duro, el tronco soporta su peso.	Secciones grandes de la albura pueden separarse con la mano.	Café rojiza a color original	Presentes solamente en la albura.	La base de ramas grandes no pueden ser separadas.
<b>4</b>	Duramen podrido, el tronco no soporta su peso pero mantiene su forma.	Suave, pequeñas piezas en bloque, con un clavo de metal puede separarse el duramen.	Café rojizo a café claro	Presentes en todo el tronco	La base de ramas grandes puede separarse fácilmente. Las estructuras de ramas están completamente putrefactas.
<b>5</b>	No tiene integridad estructural, no mantiene forma.	Suave, la madera se hace polvo cuando está seca.	De café rojizo a café oscuro, mantiene su forma.	Presentes en todo el tronco, mantiene su forma.	Las estructuras de ramas están completamente putrefactas.

Es importante tomar en cuenta ciertas reglas de Brown (1974) para el conteo de las piezas interceptadas:

- Los restos leñosos incluidos en este muestreo provienen de árboles y arbustos que se encuentran sobre el suelo del bosque y que fueron separados de la fuente original de crecimiento. De esta manera, las ramas muertas que están unidas a un tronco muerto en pie, así como los conos, la corteza, hojas, pastos y hierbas no son contadas.

- Son contadas todas las ramas y ramillas que se encuentran dentro o sobre la hojarasca superficial, aunque no son contadas cuando el eje central de la partícula interceptada se encuentra enterrado en el mantillo.
- Si un trozo es interceptado en la parte final de la línea de muestreo, solo se mide si su eje central es cruzado por la línea de muestreo.
- Ninguna pieza es medida en la cual su eje central coincida perfectamente con la línea de muestreo.
- Si la línea de muestreo cruza en dos ocasiones una pieza que está curvada, se mide cada intercepción.
- No se deben medir tocones que estén enraizados y raíces que estén cubiertas por tierra. Para medirlos se debe considerar como troncos individuales o raíces individuales.
- Para los trozos muy podridos que estén despedazados y ya perdieron la estructura original, se debe construir visualmente una forma cilíndrica que contenga el material podrido y estimar el diámetro.
- Es importante verificar lo que se observa arriba del suelo cuando se está realizando el muestreo, ya que el material solamente puede ser medido hasta 2 metros de altura.

### 3.4.3 Estimación del volumen y biomasa de restos leñosos por hectárea

En esta sección nos basamos en las ecuaciones del trabajo de fin de máster que pertenece a Martínez (2015) y Marshall *et al.*, (2000).

Para obtener las estimaciones por hectárea se debe obtener primero las estimaciones por pieza.

De esta manera se procedió con los siguientes cálculos:

#### Volumen por pieza

1. Se convirtieron los datos de circunferencia (cm) a diámetro (m)

$$\text{Diámetro (m)} = \frac{\text{Circunferencia (cm)}}{100/\pi}$$

2. Se calculó el diámetro cuadrático medio de cada pieza

$$\text{Diámetro cuadrático medio (m}^2\text{)} = \frac{(\text{Diámetro inicial}^2) + (\text{Diámetro final}^2)}{2}$$

3. Volumen de troncos y ramas de clase de descomposición 1 a 4

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\pi \times \text{Diámetro cuadrático medio} \times \text{Longitud (m)}}{4}$$

4. Volumen de troncos y ramas de clase de descomposición 5

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\pi \times \text{Diámetro intercepción}^2 \times \text{Longitud (m)}}{4}$$

5. Volumen de tocones

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\pi \times \text{Diámetro tocón}^2 \times \text{altura (m)}}{4}$$

### **Biomasa por pieza**

$$\text{Biomasa(kg)} = \text{Volumen (m}^3\text{)} \times \text{Densidad específica} \times \text{coeficiente de descomposición}$$

Donde la densidad específica para *Pinus sylvestris* es de 527 kg/m<sup>3</sup> (Blanco *et al.*, 2006a).

Los coeficientes de descomposición de acuerdo Harmon *et al.*, (2008) utilizados están detallados en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Coeficientes de descomposición de madera para *Pinus sylvestris*.

Clase de descomposición	Coeficiente de descomposición
1	0.916
2	0.826
3	0.697
4	0.421
5	0.407

Sin embargo, adicional a estas clases de descomposición en algunos restos leñosos que suponían un intermedio entre una clase y la otra se las clasificó de la siguiente manera. Entre la clase 2 y 3, el intermedio fue 2,5, para 3 y 4, el intermedio fue de 3,5, y para 4 y 5, el intermedio fue de 4,5. Para obtener los valores de biomasa de estas clases de restos leñosos utilizamos una media de sus coeficientes de descomposición mayor y menor.

### **Volumen por hectárea de un transecto**

$$\text{Volumen} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \right) = \frac{\pi^2}{8 \times \text{Longitud transecto (m)}} \times \sum_{i=1}^{i=n} \text{Diámetro intersección}^2 \text{ (cm)}_i$$

Diámetro de intersección<sub>i</sub>: diámetro de cada pieza en la intersección con el transecto.

### **Biomasa por hectárea de un transecto**

$$\text{Biomasa} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{\pi \times 10000}{2 \times \text{Longitud transecto (m)}} \times \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\text{Biomasa (kg)}_i}{\text{Longitud (m)}_i}$$

Biomasa<sub>i</sub> y Longitud<sub>i</sub> son la biomasa y la longitud de cada pieza



Finalmente el volumen y biomasa por hectárea fue dividido en tamaño grueso y fino, en donde se consideró como resto leñoso grueso al material que tenía una circunferencia de intersección mayor a 7 cm.

#### 3.4.4 Invertebrados asociados a restos leñosos

Siguiendo el mismo sitio de estudio en Aspurz, se tomó una muestra al azar de restos leñosos por cada parcela bajo dosel arbóreo compuesto sólo de *Pinus sylvestris* y otra muestra bajo dosel arbóreo mixto de *Fagus sylvatica* y *Pinus sylvestris*.

Las muestras se colectaron en base a los restos leñosos de clase 3 y 4 de un tamaño aproximado de 10 cm de largo y 5 de diámetro. Estas muestras fueron guardadas en bolsas y etiquetadas para ser procesadas en el laboratorio de Ecología de la Universidad Pública de Navarra (Figura 7). Se tomaron 36 muestras en total, 18 para dosel solo de pino y 18 para dosel mixto de pino y haya.



**Figura 7.** Muestras de restos leñosos de clase de descomposición 3 y 4 para analizar los invertebrados asociados.

En el laboratorio estas muestras fueron pesadas (en gramos) en peso fresco. Después fueron colocadas en un embudo Tullgren-Berlese de extracción de microfauna durante 6 días. El calor y la luz de las bombillas provoca que los invertebrados que se encuentran en los restos leñosos caigan hacia los botes con etanol al 70% (Figura 8). Tras la extracción de la microfauna, las muestras fueron posteriormente secadas por 72 horas en una estufa a 70°C y pesadas. Posteriormente el contenido de los botes fue analizado con una lupa binocular y el apoyo de claves de identificación de Barrientos (1988) y la lista de taxones de invertebrados encontrados en hojarasca en Aspurz según la investigación de Unzu Jabat (2006). De esta manera se clasificaron a los invertebrados encontrados según su orden y algunos hasta suborden. En el caso de los ácaros que fueron los más abundantes se subdividieron en ácaros oribátidos, otros ácaros (aquellos que no presentaban las características morfológicas de los oribátidos) y ácaros inmaduros (considerando morfológicamente 3 pares de patas o menos).



**Figura 8.** Muestras de restos leñosos de clase 3 y 4 en el embudo Tullgren-Berlese para coleccionar invertebrados.

Todos los invertebrados identificados fueron guardados en tubos pequeños para futuras investigaciones, se les registró con sus respectivas etiquetas según sus tratamientos de las parcelas con la intensidad de clara, tipo de dosel y clase de descomposición del resto leñoso.

Se analizó la abundancia (número total de individuos) y riqueza específica (número de taxones) de invertebrados por gramo de peso seco, además de los índices de biodiversidad de Shannon y de Simpson.

### **3.5 Análisis estadísticos**

Para comparar el volumen y biomasa por hectárea total, restos leñosos gruesos y finos en cada uno de los diferentes tipos de claras se utilizó la prueba estadística Análisis de Varianza de un factor (ANOVA) y el programa estadístico SPSS.

Sin embargo, previo a realizar los ANOVAs se verificó que para cada set de datos se cumplieren las condiciones de normalidad y homogeneidad de la varianza. Ningún set de datos fue transformado en vista que todos cumplían con estas condiciones.

De la misma manera se realizó un test de Bonferroni con el objetivo de determinar en qué tipo de claras hay más diferencias significativas para cada variable.

Para los análisis de invertebrados asociados a los restos leñosos se realizó un ANOVA multifactorial de una variante tomando en cuenta la intensidad de clara (0%, 20% y 40%), el tipo de dosel (sólo pino y mixto de pino y haya) y su clase de descomposición (intermedia 3 o avanzada 4). Así también en esta investigación nos enfocamos en los resultados estadísticos de los taxones más abundantes tales como ácaros oribátidos, otros ácaros, ácaros inmaduros y colémbolos. Los datos fueron transformados a log10 para que se ajusten a una distribución normal y homogeneidad de las varianzas. Para este caso se utilizaron los programas estadístico SPSS y Minitab 14.



## 4 RESULTADOS

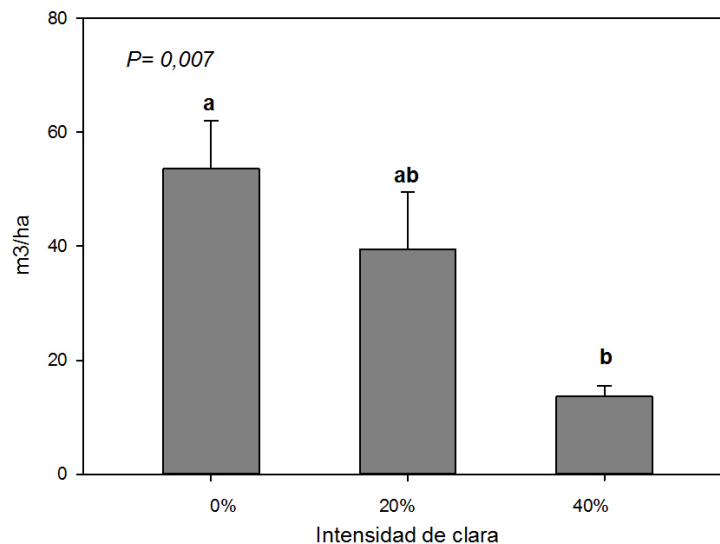
En este apartado se presentaran los resultados de esta investigación, tanto como en volumen, biomasa, invertebrados y análisis estadísticos.

### 4.1 VOLUMEN

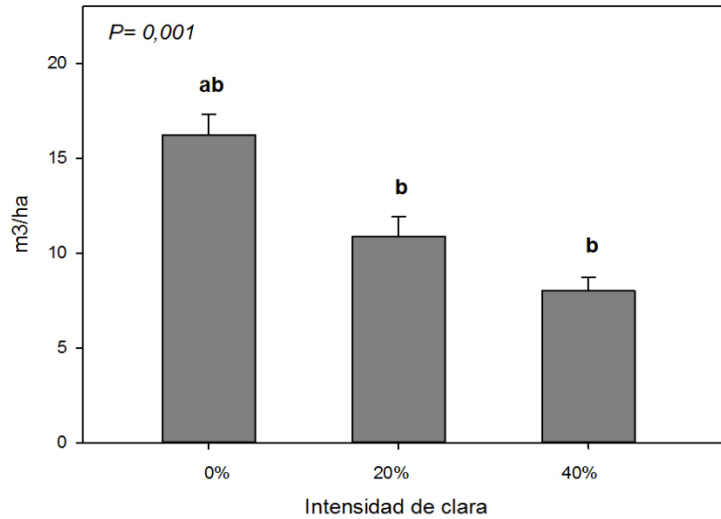
En la tabla 4 se encuentran los valores de volumen de restos leñosos ( $m^3/ha$ ) que pertenecen a cada una de las parcelas según su intensidad de clara.

**Tabla 4.** Volumen de restos leñosos por transecto en cada parcela ( $m^3/ha$ ).

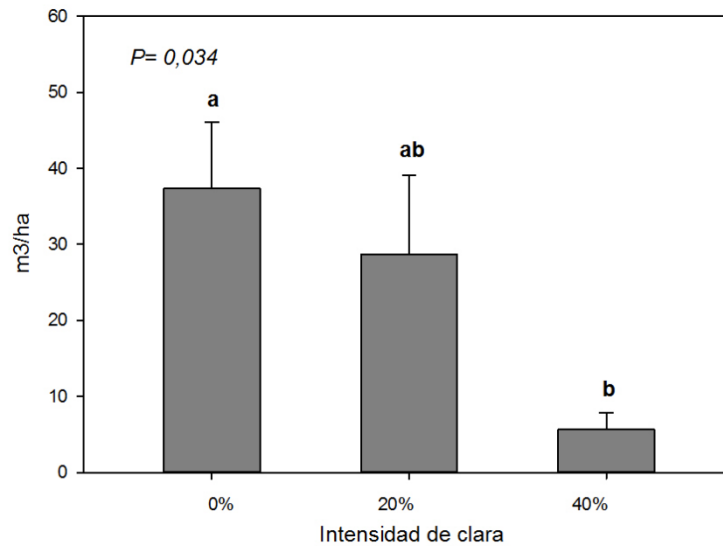
Intensidad de Clara	Parcela	Volumen ( $m^3/ha$ )		Volumen ( $m^3/ha$ )		Volumen ( $m^3/ha$ )	
				Madera fina		Madera gruesa	
0%	3	43,56	55,55	20,15	17,89	23,42	37,66
	4	88,43	59,23	14,40	13,39	74,03	45,84
	9	26,54	48,22	14,09	17,42	12,45	30,80
20%	1	12,07	29,12	8,64	9,16	3,43	19,96
	6	85,85	31,56	8,56	11,69	77,89	19,88
	8	41,94	36,00	12,47	12,81	29,47	23,19
40%	2	14,62	7,89	5,94	7,89	8,64	0
	5	14,42	16,09	9,28	10,19	5,15	5,90
	7	8,8	20,19	8,80	5,96	0	14,23



**Figura 9.** Volumen total de restos leñosos (media  $\pm$  error estándar por tratamiento). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



**Figura 10.** Volumen total de restos leñosos finos (media  $\pm$  error estándar por tratamiento). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



**Figura 11.** Volumen total de restos leñosos gruesos (media  $\pm$  error estándar por tratamiento). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .

En las Figura 9 se observa cómo el volumen total de los restos leñosos es mayor para las parcelas control, pero disminuye levemente para las parcelas con claras de 20%, aunque para las parcelas con claras de 40% se evidencia una disminución mucho más marcada.

Lo mismo ocurre para los resultados del volumen de los restos leñosos finos (Fig 10). Se observa que existe una diferencia muy marcada de restos leñosos en las parcelas control en comparación a las parcelas con claras de 40%. Sin embargo en este caso no se observa una disminución muy evidente entre los resultados de las parcelas del 20% en comparación a las parcelas del 40%.

Para el caso de los restos leñosos gruesos (Fig 11), se observa que existe una leve disminución en volumen de las parcelas aclaradas con 20% en comparación a los restos leñosos de la parcelas

control. Sin embargo aquí sí se observa una disminución muy marcada para las parcelas con claras de 40% en comparación a las parcelas con claras de 0% y 20%.

Si comparamos los resultados de restos leñosos de la fracción fina y gruesa, se observa cómo el volumen de los restos leñosos gruesos es mayor a los restos leñosos finos para las parcelas de 0% y 20%, pero para las parcelas aclaradas en 40% se observa que la fracción de restos leñosos finos en comparación a restos leñosos gruesos es casi similar.

### Análisis Estadísticos

Se comprobó que los datos se ajusten a una distribución normal y homogeneidad de las varianzas, siendo así nuestros resultados  $> 0,05$ .

En cuanto al análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y se observó que las claras sí influyen significativamente el volumen total de restos leñosos ( $F= 6,946$ ;  $gl= 2$ ;  $p< 0,007$ ). Lo mismo ocurre con los restos leñosos finos ( $F= 22,517$ ;  $gl= 2$ ;  $p< 0,001$ ) y los restos leñosos gruesos ( $F= 4,290$ ;  $gl= 2$ ;  $p< 0,034$ ).

De la misma manera se realizó un test de Bonferroni para hacer comparaciones múltiples y se encontró que para el volumen total existieron diferencias significativas entre las parcelas con claras de 0% y 40% ( $p< 0,007$ ), lo mismo ocurrió para el volumen de restos leñosos gruesos ( $p< 0,038$ ).

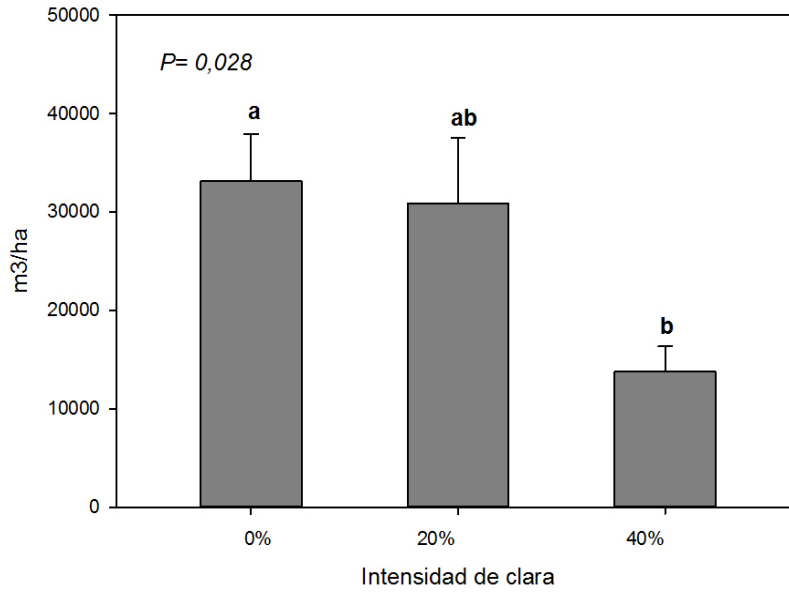
Para el caso del volumen de restos leñosos finos se encontró diferencias significativas en las parcelas con claras de 0% y 20% ( $p< 0,001$ ) así como en las parcelas de 0% y 40% ( $p< 0,001$ ).

## 4.2 BIOMASA

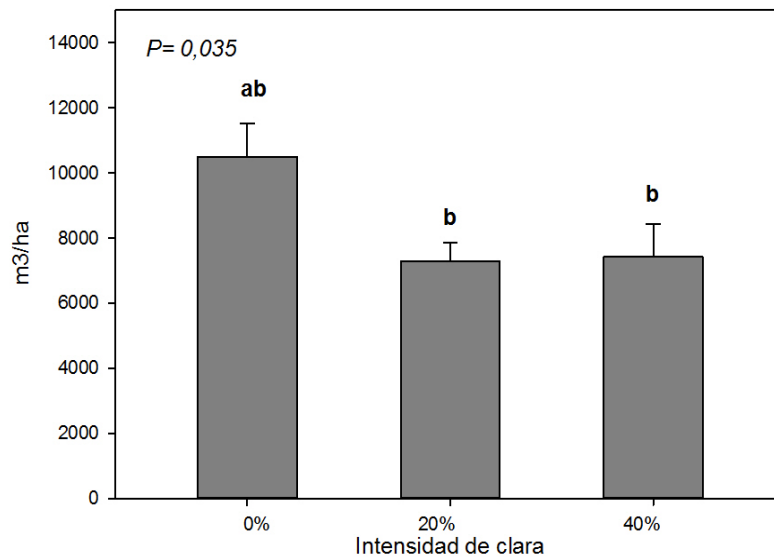
En la tabla 5 se observan los resultados de biomasa en restos leñosos ( $m^3/ha$ ) que pertenecen a cada una de las parcelas según su intensidad de clara.

**Tabla 5.** Biomasa de restos leñosos por transecto en cada parcela (kg/ha).

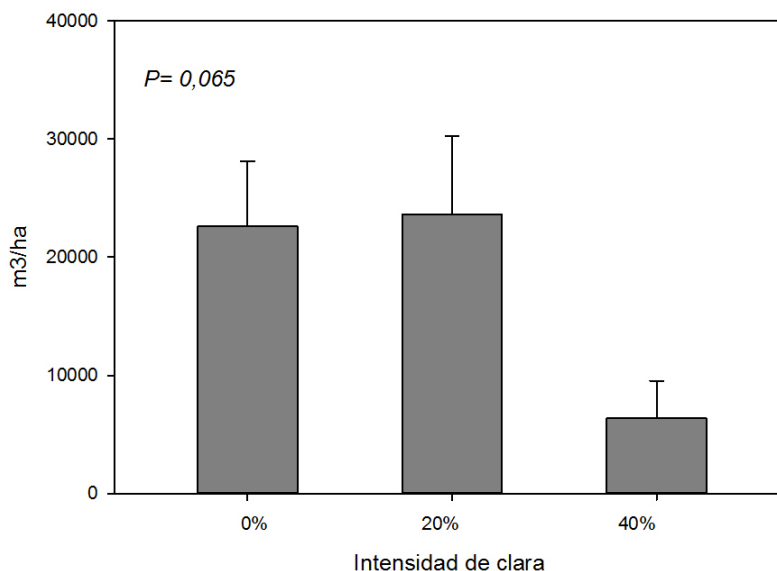
Intensidad de clara	Parcela	Biomasa (kg/ha)		Biomasa (kg/ha) Madera fina		Biomasa (kg/ha) Madera gruesa	
0%	3	23624,09	30382,15	14839,51	10668	8784,58	19714,51
	4	45708,95	37854,27	7677,38	10695	38031,58	27159,51
	9	16438,04	44631,85	10616,25	8515,4	5821,79	36116,45
20%	1	7219,32	39414,42	6305,4	9644,7	913,92	29769,73
	6	43742,74	15236,51	5949,56	8285,1	37793,18	6951,37
	8	31994,55	47635,82	6674,91	6802,4	25319,64	40833,46
40%	2	14009,13	6757,39	7572,92	6757,4	6436,21	0
	5	14443,64	10808,27	6530,9	7681,8	7912,74	3126,51
	7	11759,09	25034,62	11759,09	4260	0	20774,62



**Figura 12.** Biomasa total de restos leñosos (media + error estándar) por tratamiento. Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



**Figura 13.** Biomasa total de restos leñosos finos (media + error estándar) por tratamiento. Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



**Figura 14.** Biomasa total de restos leñosos gruesos (media + error estándar) por tratamiento.

Para la biomasa total de los restos leñosos se observa en la Figura 12 que los valores de las parcelas con claras de 20% no presentan una gran disminución en relación a las parcelas sin aclarar del 0%. Sin embargo se observa que sí existe una disminución de biomasa muy marcada en las parcelas aclaradas con 40% en comparación a las parcelas con claras de 0% y 20%.

En la Figura 13 se observa la biomasa de los restos leñosos finos, en este caso es evidente que existió mayor biomasa en las parcelas sin aclarar de 0%, así también existió una disminución marcada de las parcelas con claras de 20% en relación a las parcelas del 0%. Sin embargo las parcelas con claras de 40% al contrario presentan una media similar a las parcelas con claras de 20%.

En cuanto a los restos leñosos gruesos, en la Figura 14 se observa que la mayor biomasa se encuentra en las parcelas con claras de 20% pero con valores casi similares a la parcela sin aclarar de 0%. Sin embargo es evidente que para las parcelas con claras de 40% se observa una diferencia muy marcada de biomasa en comparación a las parcelas de 0% y 20% con un valor menor.

Cuando comparamos los resultados de biomasa en la fracción fina y gruesa, se observa que tanto para las parcelas con intensidad de clara de 0% y 20%, la biomasa de restos leñosos gruesos es mayor en relación a la biomasa de los restos leñosos finos. Sin embargo para las parcelas con claras de 40%, la proporción de biomasa de restos leñosos finos y gruesos es casi similar.

### **Análisis Estadísticos**

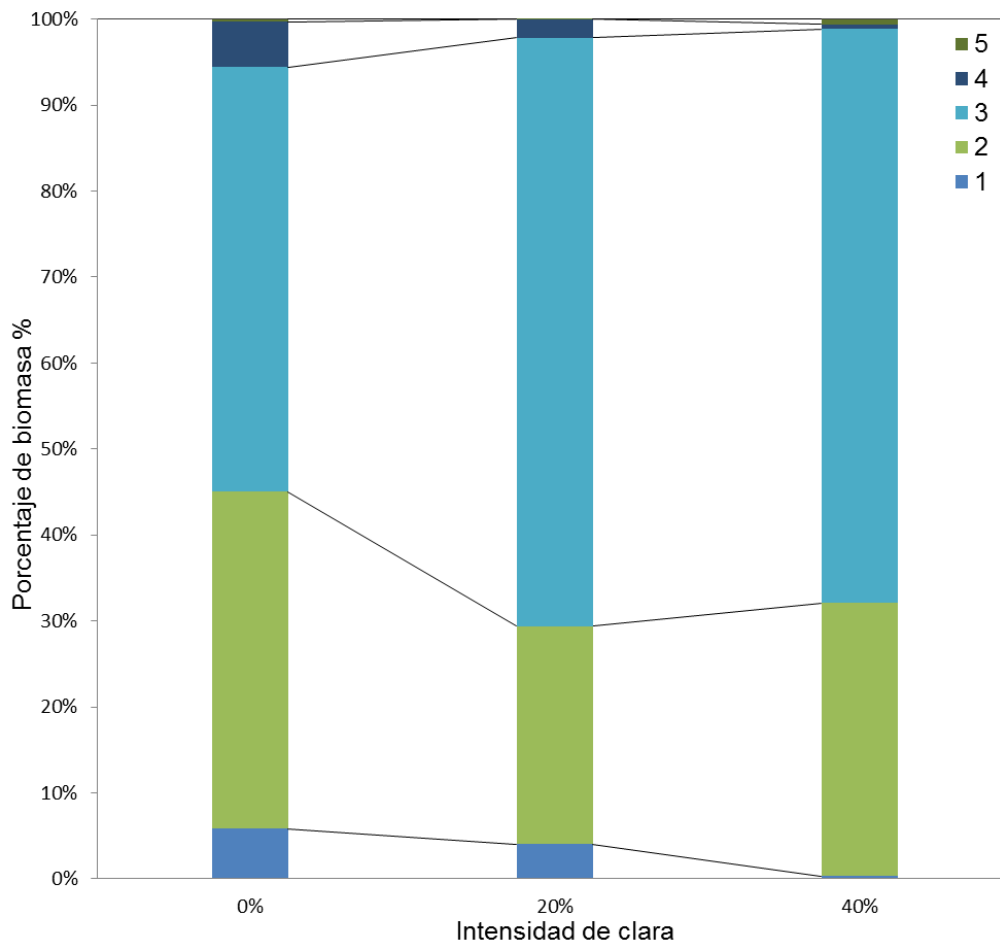
En nuestros análisis se comprobó que nuestros datos se ajustaron a una distribución normal y homogeneidad de las varianzas, siendo así nuestros resultados  $> 0.05$ .

De esta manera se encontró diferencias significativas entre tratamientos y se observó que las claras si afectan la biomasa de los restos leñosos totales ( $F= 4,55$ ;  $gl=2$ ;  $p< 0,028$ ) y restos leñosos finos

( $F= 4,207$ ;  $gl=2$ ;  $p< 0,035$ ). También se encontró que las claras afectan de forma marginalmente significativa a la biomasa de los restos leñosos gruesos ( $F= 3,293$ ;  $gl=2$ ;  $p< 0,065$ ).

De igual forma se realizó para biomasa un test de Bonferroni para hacer comparaciones múltiples y encontramos diferencias significativas para la biomasa total entre las parcelas de las claras de 0% y 40% ( $p< 0,044$ ). Sin embargo aunque no se encontró diferencias significativas entre las parcelas para los restos leñosos gruesos, si se encontraron diferencias marginalmente significativas para los restos leñosos finos entre las parcelas de 0% y 20 ( $p<0,064$ ) y 0% y 40% ( $p< 0,081$ ).

### 4.3 CLASES DE DESCOMPOSICIÓN



**Figura 15.** Porcentaje de biomasa de restos leñosos por clase de descomposición.

Los resultados de biomasa de restos leñosos en este gráfico fueron clasificados de la siguiente manera:

- En la clase de descomposición 2, se agregaron los resultados de la clase de descomposición 2.5.
- En la clase de descomposición 3, se agregaron los resultados de la clase de descomposición 3.5.

- En la clase de descomposición 4, se agregaron los resultados de la clase de descomposición 4.5.

Los resultados según la intensidad de clara y las diferentes clases de descomposición presentan porcentajes similares entre sí. Sin embargo en las parcelas control se registró un mayor porcentaje de restos leñosos de clase de descomposición 3, seguido de clase de descomposición 2. En las parcelas con una intensidad de clara de 20 % y 40% se registró una tendencia similar en los porcentajes, aunque en estas parcelas la clase de descomposición 3 fue mayor en comparación a las parcelas control. Para los tres tratamientos de intensidad de clara, las clases de descomposición 1, 4 y 5 fueron las menores representadas en los inventarios.

#### **4.4 INVERTEBRADOS ASOCIADOS A RESTOS LEÑOSOS**

En la tabla 6 se presentan los resultados totales de los grupos taxonómicos identificados, así como su número de individuos contabilizados por grupo taxonómico según la taxonomía actual.

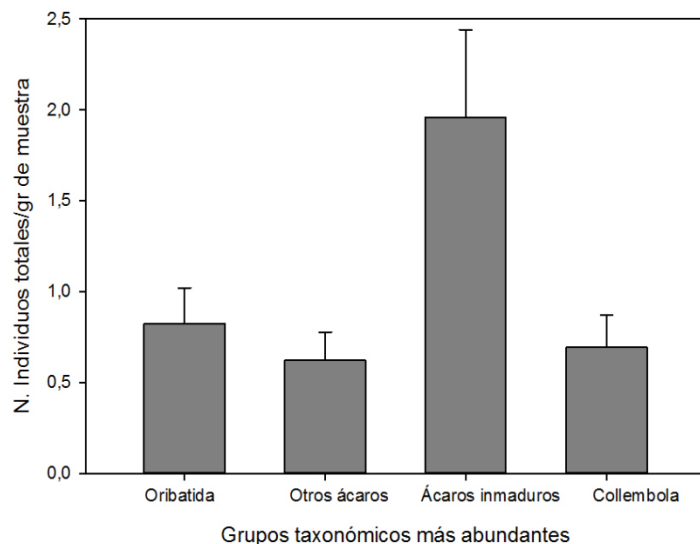
**Tabla 6.** Grupos taxonómicos identificados, los taxones se clasifican por tamaño (microartrópodos y macroartrópodos).

<b>GRUPO TAXONÓMICO</b>	<b>N° DE INDIVIDUOS</b>	<b>TOTAL %</b>
<b>Microartrópodos</b>	<b>8076</b>	<b>96,75</b>
Cl. Arachnida	<b>6684</b>	<b>80,07</b>
Sb. cl. Acari		
O. Acariforme		
Oribatida	1595	19,11
Otros ácaros	1212	14,52
Ácaros inmaduros	3877	46,44
Cl. Hexapoda	<b>1392</b>	<b>16,67</b>
Sb. cl. Apterygota		
O. Collembola	1392	16,67
Nematoda	1	0,01
<b>Macroartrópodos</b>	<b>272</b>	<b>3,25</b>
Cl. Hexapoda	<b>91</b>	<b>1,09</b>
Sb. cl. Pterygota		
O. Diptera	17	0,20
O. Thysanoptera	4	0,05
O. Coleoptera	44	0,53
O. Hymenoptera	25	0,30
O. Hemiptera	1	0,01
Cl. Arachnida	<b>16</b>	<b>0,19</b>
O. Pseudoscorpión	1	0,01
O. Araneae	15	0,18
Cl. Chilopoda	<b>13</b>	<b>0,16</b>
O. Geophilomorpha	9	0,11
O. Lithobiomorpha	4	0,05
Chilopoda juveniles	3	0,04
Cl. Paupoda	<b>6</b>	<b>0,07</b>
Cl. Oligochaeta	<b>3</b>	<b>0,04</b>
Cl. Symphyla	<b>20</b>	<b>0,24</b>
Larvas	119	1,43

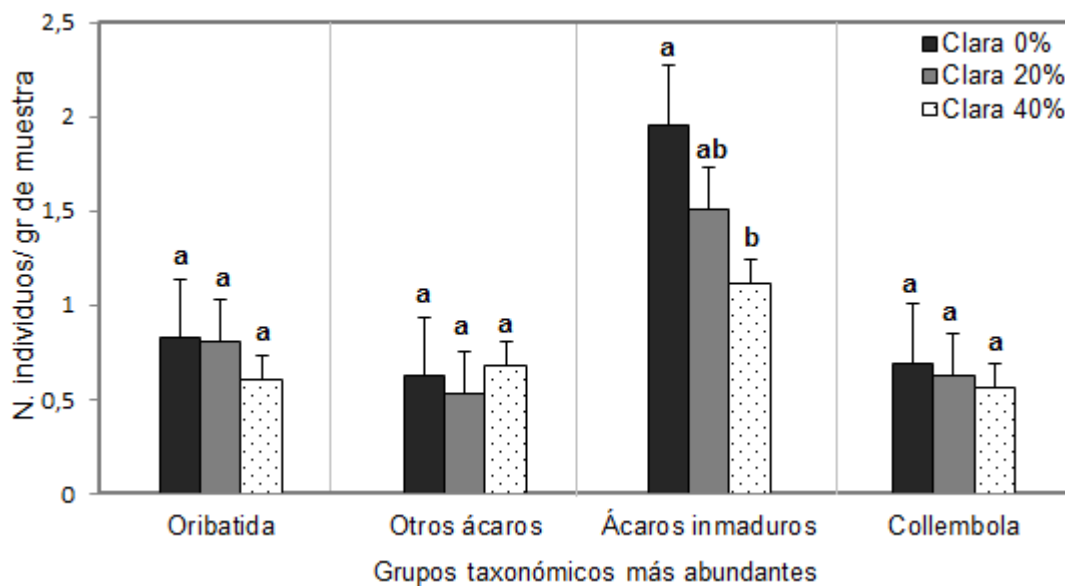


**Tabla 7.** Media del número de individuos/gr de muestra según la intensidad de clara, tipo de dosel y clase de descomposición.

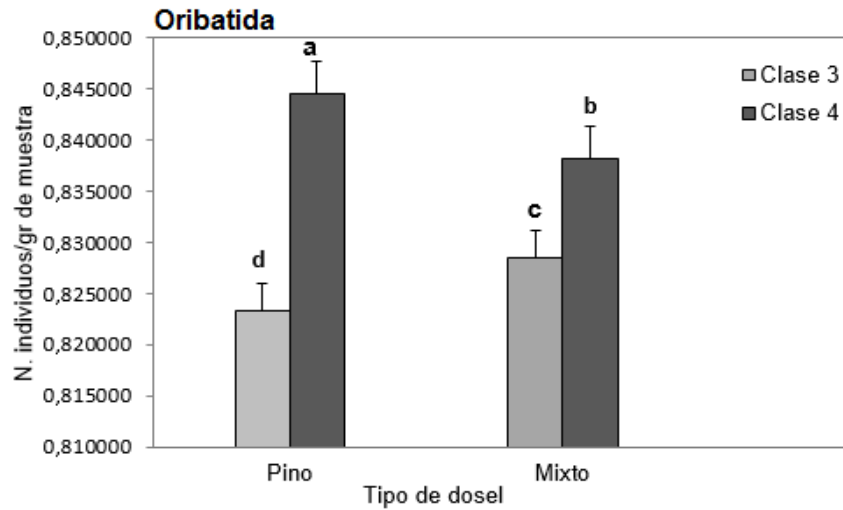
Taxones	Según intensidad de clara			Según tipo de dosel		Según clase de descomposición	
	Clara 0%	Clara 20%	Clara 40%	Dosel Mixto	Dosel Pino	Clase 3	Clase 4
<b>Microartrópodos</b>							
Oribatida	0,8232	0,8120	0,6007	0,8285	0,8232	0,8232	0,8450
Otros ácaros	0,6222	0,5349	0,6760	0,5893	0,6222	0,6222	0,6379
Ácaros inmaduros	1,9581	1,5072	1,1174	1,9540	1,9581	1,9581	2,0120
Collembola	0,6924	0,6246	0,5629	0,7179	0,6924	0,6924	0,7117
Nematoda	0,0004	0,0003	0,0006	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
<b>Macroartrópodos</b>							
Larvas	0,0473	0,0520	0,0395	0,0484	0,0473	0,0473	0,0484
Díptera	0,0072	0,0066	0,0067	0,0067	0,0072	0,0072	0,0074
Geophilomorpha	0,0051	0,0037	0,0016	0,0045	0,0051	0,0051	0,0053
Hymenoptera	0,0100	0,0058	0,0094	0,0102	0,0100	0,0100	0,0103
Oligochaeta	0,0013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	0,0014
Symphyla	0,0089	0,0076	0,0071	0,0094	0,0089	0,0089	0,0091
Thysanoptera	0,0019	0,0000	0,0000	0,0017	0,0019	0,0019	0,0017
Araneae	0,0063	0,0065	0,0104	0,0067	0,0063	0,0063	0,0065
Pseudoescorpión	0,0003	0,0005	0,0000	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Lithobiomorpha	0,0025	0,0008	0,0000	0,0027	0,0025	0,0025	0,0026
Paupoda	0,0039	0,0000	0,0000	0,0041	0,0039	0,0039	0,0040
Chilopoda juvenil	0,0020	0,0011	0,0000	0,0022	0,0020	0,0020	0,0021
Coleoptera	0,0171	0,0234	0,0075	0,0181	0,0171	0,0171	0,0175
Hemiptera	0,0002	0,0003	0,0006	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002



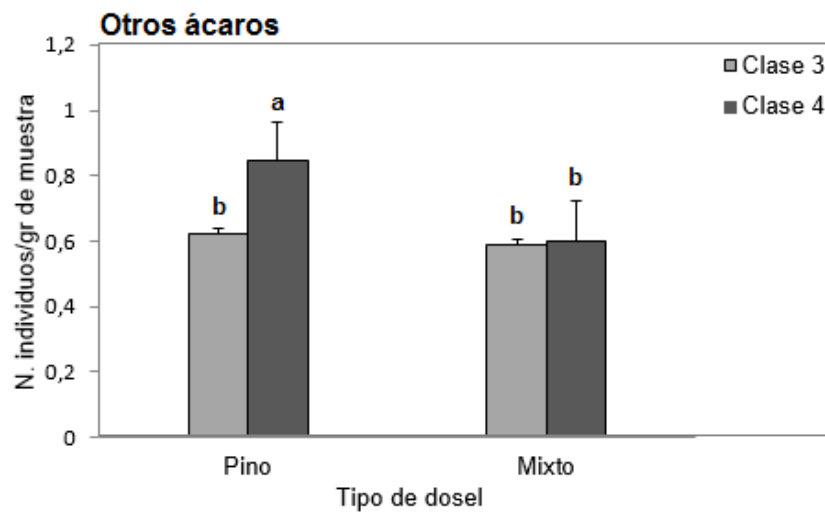
**Figura 16.** Abundancias totales por gramo de muestra de los microartrópodos más abundantes (media ± error estándar).



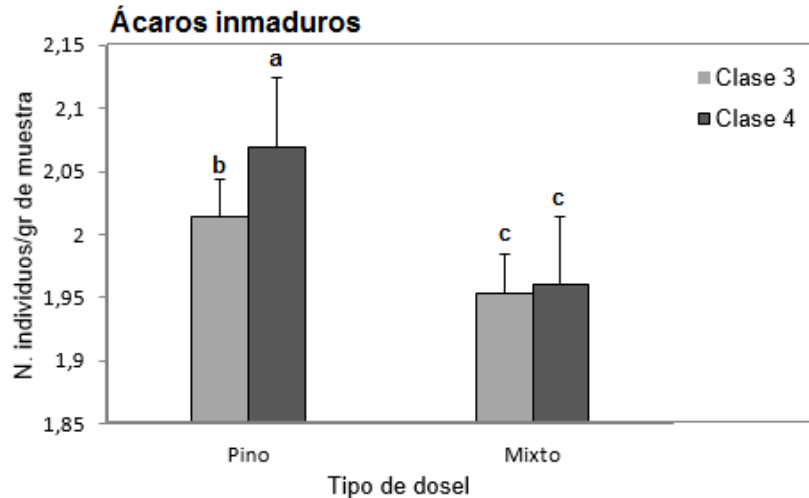
**Figura 17.** Abundancias totales por gramo de muestra de los microartrópodos más abundantes según la intensidad de clara (media ± error estándar). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



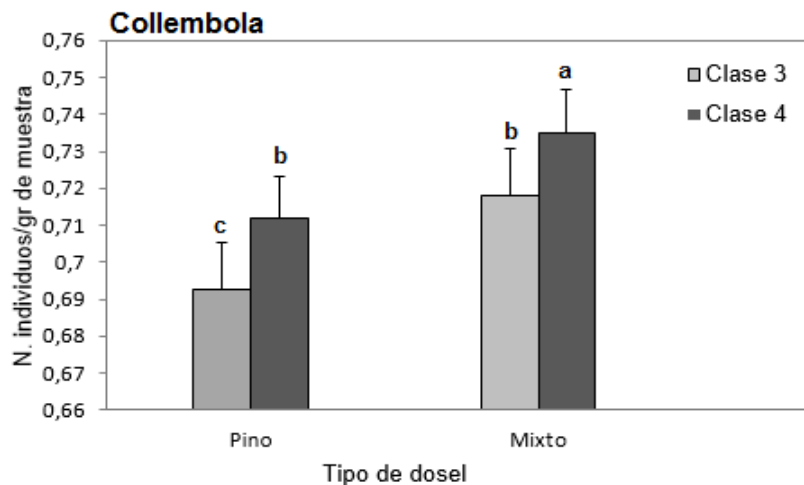
**Figura 18.** Abundancias totales por gramo de muestra de los ácaros oribatidos según el tipo de dosel y clase de descomposición (media  $\pm$  error estándar). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



**Figura 19.** Abundancias totales por gramo de muestra de los otros ácaros según el tipo de dosel y clase de descomposición (media  $\pm$  error estándar). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



**Figura 20.** Abundancias totales por gramo de muestra de los ácaros inmaduros según el tipo de dosel y clase de descomposición (media ± error estándar). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .



**Figura 21.** Abundancias totales por gramo de muestra de los colémbolos según el tipo de dosel y clase de descomposición (media ± error estándar). Letras similares no tienen diferencias significativas, letras diferentes  $p < 0,05$ .

### Porcentaje de invertebrados totales encontrados en los restos leñosos

Los resultados de la Tabla 6 permitieron conocer que la mayor cantidad de individuos contabilizados con 96,75% pertenecieron al grupo taxonómico de los Microartrópodos, específicamente al orden Acariforme con 80,07%. Subdivididos en oribatidos con 19,11% y otros ácaros con 14,52%. En mayor porcentaje se encontraron los ácaros inmaduros con 46,44%. El orden Collembola también fue uno de los grupos taxonómicos más abundantes con un porcentaje de 16,67%. Sin embargo en menor porcentaje se encontraron los nemátodos con 0,01%.

El porcentaje del grupo taxonómico de los Macroartrópodos solamente representó el 3,25% subdividido en las clases Hexápoda con 1,09%, Arachnida con 0,19%, Chilopoda con 0,16%, Pauropoda con 0,07%, Oligochaeta con 0,04% y larvas con 1,43%.

## **Macroartrópodos**

Se observa una tendencia de mayor abundancia en las parcelas control en comparación a las parcelas aclaradas con 40% para los taxones Geophilomorpha, Symphyla, Lithobiomorpha y Chilópodos juveniles. No obstante esta tendencia no se observó en los taxones Diptera, Hymenoptera, Aranae, Pseudoescorpión, Coleóptera, Hemiptera y larvas. En los taxones Oligochaeta, Thysanoptera y Pauropoda se observaron individuos solamente en las parcelas control (Tabla 7).

Se pudo observar también una tendencia de mayor abundancia bajo el dosel mixto por los taxones Hymenoptera, Symphyla, Aranae, Lithobiomorpha, Pauropoda, Chilopoda juvenil, Coleoptera y larvas. Bajo el dosel de pino solamente se registró una mayor abundancia por los taxones Diptera, Geophilomorpha, Oligochaeta y Thysanoptera. Los taxones Pseudoscorpión y Hemiptera se registraron por igual bajo el dosel mixto y solo de pino (Tabla 7).

En cuanto a la clase de descomposición se observó una tendencia muy evidente que la mayoría de los taxones se encontraron en la clase de descomposición 4, con excepción del taxón Thysanoptera que su mayor abundancia se registró en la clase de descomposición 3. Los taxones Pseudoscorpión y Hemiptera se encontraron abundancias similares en las dos clases de descomposición (Tabla 7).

## **Microartrópodos**

En el caso de los nemátodos se observó que aunque no siguen la tendencia esperada de mayor a menor abundancia en las parcelas control en comparación a las parcelas con claras, si se registró una abundancia similar tanto para las clases de descomposición, así como para los tipos de dosel.

En base a los resultados de la Tabla 6 he clasificado a los grupos taxonómicos más abundantes en la Figura 16, entre ellos a los ácaros oribátidos, otros ácaros, ácaros inmaduros y los colémbolos. En base a esta clasificación se pudo conocer que los ácaros inmaduros son los que mayor abundancia presentan, seguidos de los ácaros oribátidos, colémbolos y finalmente en menor proporción los otros ácaros.

En la Figura 17 de los microinvertebrados más abundantes se observa que en general hubo una tendencia de mayor abundancia en las parcelas control, seguido de las parcelas con clara de 20% y con menor abundancia en las parcelas con clara de 40%. Sin embargo los otros ácaros no presentaron este patrón.

En la Figura 18, 19, 20 y 21 se evidencia que hubo una tendencia a obtener mayores densidades de población en las muestras que procedían de zonas bajo dosel de pino. Así también estos resultados me permitieron conocer que todos los grupos taxonómicos más abundantes presentaron una ligera tendencia a mayores densidades de población en los restos leñosos más descompuestos (clase de descomposición 4). Estos resultados también se pueden observar en mayor detalle en la Tabla 7.

## **Análisis Estadísticos**

Se conoció que el tipo de dosel ( $F= 9,910$ ;  $gl= 1$ ;  $p< 0,004$ ), clase de descomposición ( $F= 45,296$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,000$ ), y la interacción del tipo de dosel\*clase de descomposición ( $F=2,833$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,001$ ) influyeron significativamente en todos los taxones según su abundancia de número de individuos/ gr.

El número de taxones totales solamente se vio influido significativamente por la clase de descomposición ( $F= 15,160$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,001$ ). Los índices de diversidad de Shannon y de Simpson no se vieron influidos significativamente por el dosel, intensidad de clara, ni la clase de descomposición.

Los resultados estadísticos para los ácaros oribátidos permitieron conocer que su abundancia se vio influida significativamente por la clase de descomposición ( $F=42,994$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,001$ ) y el tipo de dosel ( $F= 9,901$ ;  $gl=$ ;  $p<0,005$ ). Además de la interacción del tipo de dosel\*clase de descomposición ( $F= 7,713$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,011$ ). Estos ácaros presentaron una mayor abundancia en la clase de descomposición 4 y bajo el dosel mixto (Fig 18 y Tabla 7)

En el caso de los Otros ácaros, la clase de descomposición ( $F=26,064$ ;  $gl=$ ;  $p< 0,001$ ) y la interacción del dosel\*clase de descomposición ( $F=7,960$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,010$ ) influyeron significativamente en su abundancia, presentando así una mayor abundancia en la clase de descomposición 4 y bajo el dosel de pino (Fig 19 y Tabla 7).

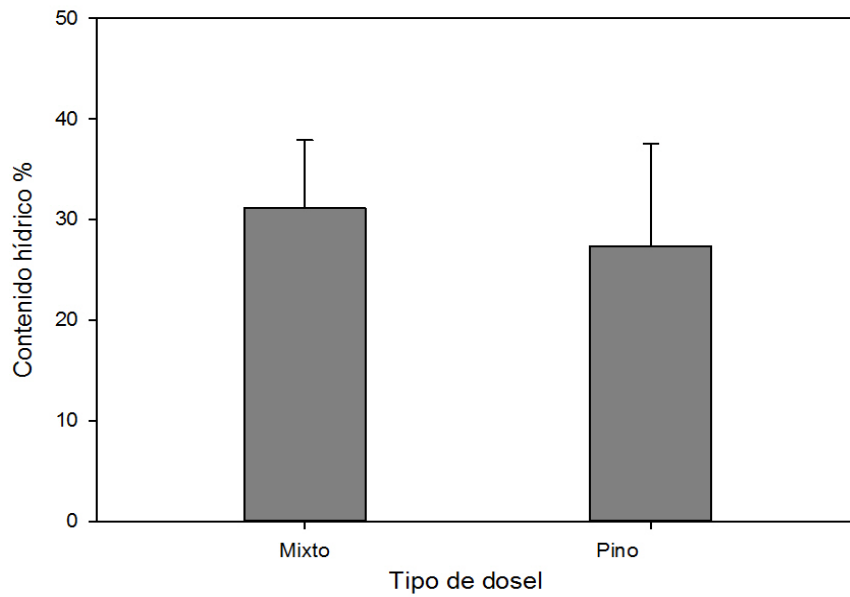
Los resultados para los colémbolos indicaron que la clase de descomposición ( $F= 27,404$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,001$ ) y la interacción del tipo de dosel\*clase de descomposición ( $F= 9,932$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,006$ ) influyeron significativamente en su abundancia, encontrándose así en su mayoría en la clase de descomposición 4 y bajo el dosel de mixto (Fig 20 y Tabla 7).

Los resultados de los Ácaros inmaduros indicaron que la clase de descomposición ( $F=35,694$ ;  $gl=1$ ;  $p< 0,001$ ), el tipo de dosel ( $F=8,019$ ;  $gl=1$ ;  $p<0, 011$ ) además de la interacción del tipo de dosel\*clase de descomposición ( $F= 30,537$ ;  $gl= 1$ ;  $p<0,001$ ) influyeron significativamente en su abundancia. Sin embargo en este caso se encontró que la interacción del tipo de dosel \*clase de descomposición\*intensidad de clara influyeron de forma marginalmente significativa ( $F= 3,188$ ;  $gl=1$ ;  $p<0,064$ ) en la abundancia de ácaros inmaduros existiendo así diferencias significativas en su abundancia entre las parcelas control y con claras de 40% ( $p<0,006$ ). Su mayor abundancia se registró en la clase de descomposición 4, bajo el dosel de pino y en las parcelas con clara de 0% (Fig 21 y Tabla 7).

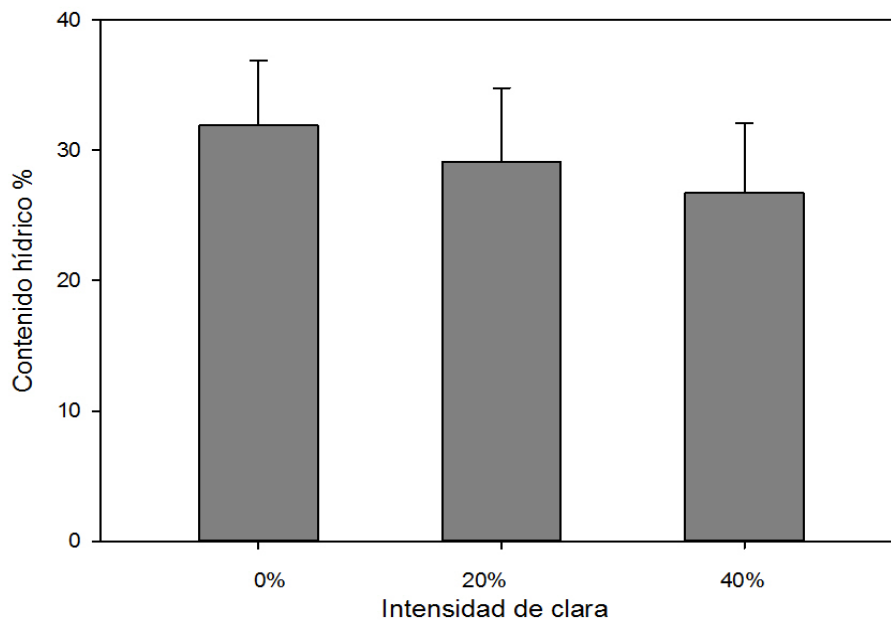
## **4.5 CONTENIDO HÍDRICO EN LOS RESTOS LEÑOSOS**

En cuanto a la exploración de las variables ambientales relacionadas con la densidad de población de invertebrados, se consideró que la variable más influyente era la humedad del sustrato (restos leñosos). Por ello se realizó un ANOVA para conocer si el tipo de dosel (Fig 22), intensidad de clara (Fig 23) y la clase de descomposición (Fig 24) influyeron en el contenido hídrico de las

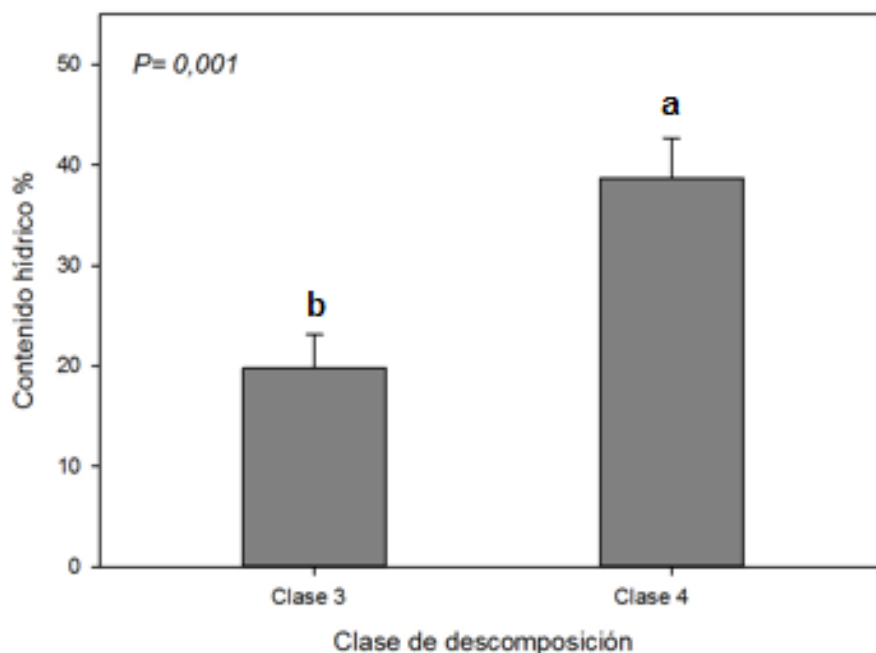
muestras de restos leñosos asociadas a los invertebrados. Los resultados indicaron que la clase de descomposición influyó significativamente en el contenido hídrico ( $F= 11,850$ ;  $gl= 1$ ;  $p< 0,001$ ), pero esta influencia significativa no se encontró en la intensidad de clara ni en el tipo de dosel.



**Figura 22.** Contenido hídrico (%) en restos leñosos asociados a invertebrados según su tipo de dosel (media  $\pm$  error estandar).



**Figura 23.** Contenido hídrico (%) en restos leñosos asociados a invertebrados según la intensidad de clara (media  $\pm$  error estandar).



**Figura 24.** Contenido hídrico (%) en restos leñosos asociados a invertebrados según su clase de descomposición (media  $\pm$  error estándar).

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 VOLUMEN

En países nórdicos el volumen de restos leñosos en bosques no manejados varía de 60 a 120 m<sup>3</sup>/ha (Siitonen, 2001). Sin embargo según Fridman y Walheim (2000) estos datos descienden considerablemente en bosques manejados en aproximadamente entre 2% y 30%. Esto ocurre debido a que históricamente las prácticas de silvicultura pretendían no solo remover los árboles vivos, sino también cualquier pieza de estos árboles que se encontraban en buenas condiciones en el suelo, ya sea para usos comerciales menores como el carboneo o como una manera de prevenir incendios debido a que los restos leñosos también son considerados como combustibles forestales (Ward, 2003). Esto explicaría porqué algunos datos de volumen de restos leñosos en países europeos no superan los 20 m<sup>3</sup>/ha (Dudley y Vallauri, 2004) (Tabla 8).



**Tabla 8.** Media de volumen de restos leñosos en algunos países europeos

<b>País</b>	<b>Volumen de restos leñosos (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Naturaleza de los datos</b>
Austria	0,6	Bosque productivo (88% del total) > 35 cm de diámetro
Bélgica	9,1	Media regional (Wallonia) restos leños en pie y caídos
Finlandia	2 a 10	Media de producción del bosque
Francia	2,2	Media nacional
	6,7	Departamento de Savoie
Alemania	1 a 3	Media nacional (Bavaria)
Luxemburgo	11,6	Media nacional
Suecia	6,1	Media nacional
	12,8	Máxima regional (Norte)
	12	Media Nacional
	4,9	Media de la región de la meceta Suiza
Suiza	11,6	Media del sur de los Alpes
	12,2	Media en los pre Alpes
	19,5	Media en los Alpes

La cantidad de restos leñosos en un ecosistema representa el balance entre la entrada de la suma de la mortalidad de los árboles y sus troncos (enteros o fracciones) frente a las pérdidas causadas por respiración, fragmentación, transporte y otros factores. De la misma manera, esta cantidad varía considerablemente ya sea espacial o temporalmente, lo que da lugar a fluctuaciones en el volumen y biomasa de estos restos leñosos (Harmon *et al.*, 1986).

En esta investigación se pretendió conocer cómo las claras forestales influyen en el volumen y biomasa de los restos leñosos de *Pinus sylvestris* en el bosque mediterráneo de Aspurz, además de los invertebrados asociados a los restos leñosos.

Los resultados indican que la mayor cantidad de restos leñosos se encontraban en las parcelas sin aclarar, lo cual tiene mucho sentido ya que en las parcelas aclaradas cuando se realizó la primera clara forestal se extrajeron la mayoría de los restos de corta de las parcelas, y durante la segunda clara (la primera con valor comercial) los troncos cortados se llevaron a la papelera de Sangüesa (Navarra), y las ramas gruesas y puntas de los árboles se dejaron fuera de las parcelas. A su vez es importante mencionar que para las parcelas control y las parcelas con claras del 20% los restos leñosos que más se encontraron fueron gruesos. Sin embargo en las parcelas aclaradas con 40% la proporción de restos leñosos finos y restos leñosos gruesos no varió considerablemente. Por esta razón también se pueden explicar nuestros resultados estadísticos, en los cuales se demuestra que las claras forestales sí influyen significativamente en el volumen de restos leñosos totales, finos y gruesos.

Estos resultados del volumen de los restos leñosos pueden ser explicados debido a que este muestreo fue realizado posteriormente a un invierno fuerte ya que según la estación meteorológica Navascués durante los meses de diciembre a febrero de 2015 se presentaron vientos de hasta 195 km/h en Navarra, así como también las precipitaciones de enero y febrero de 2015 estuvieron sobre la media siendo enero con 17 días y febrero con 18 días de precipitación continua (Meteorología y climatología de Navarra, 2015). Disturbios tales como las fuertes tormentas, el viento y la nieve pudieron influir en que los árboles que se encontraban muertos en pie caigan al suelo. Este fenómeno se observó en las parcelas sin aclarar y con claras del 20%, donde observamos en mayor proporción árboles recién caídos (restos leñosos gruesos) y en poca proporción restos leñosos finos. Esto puede deberse a que cuando un árbol muerto en pie cae, se lleva consigo también ramas de árboles vecinos, lo cual origina también la fragmentación de los restos leñosos a más finos. Esto se ha demostrado también en investigaciones que analizaron la proporción de cambio de árboles muertos en pie a restos leñosos en el suelo, y se concluyó que los árboles muertos en pie constituyen el 58% de los restos leñosos inmediatamente después de que el dosel muere (Lambert *et al.*, 1980). Sin embargo en las parcelas con 40% de clara se encontró en mayor proporción restos leñosos finos lo cual puede deberse a que al estar tan aclarado, los árboles muertos en pie no tenían problemas de competencia por espacio aunque las condiciones climáticas no fueron favorables y de esta manera no existió ningún disturbio lo suficientemente intenso para que caigan al suelo, cayendo principalmente ramas individuales en vez de árboles muertos.

Para esta investigación se definieron como restos leñosos gruesos a aquellos que tenían un diámetro de intersección mayor a 7cm. Los resultados obtenidos fueron similares a resultados obtenidos por investigaciones en seis tipos de bosques examinados en Montana e Idaho que también han encontrado en su mayoría piezas de restos leñosos superiores a 7.5 cm que representan alrededor del 78% y 89% de la biomasa de los restos leñosos caídos (Brown y See, 1981). Lo mismo ocurrió en los árboles de *Quercus* en New Jersey en donde los restos leñosos superiores a 10cm representaron el 79% del total de los restos leñosos caídos (Lang y Forman, 1978). De igual forma en varios tipos de bosques de Tennessee en Carolina del Norte se encontró que alrededor del 70% y 98% de los restos leñosos correspondían a piezas mayores a 7.5 cm (Harmon, 1980).

En esta investigación la media para los resultados del volumen total de restos leñosos fue de 53,59 m<sup>3</sup>/ha. En las parcelas con claras del 20% la media de los resultados disminuyeron a 39,42 m<sup>3</sup>/ha y finalmente en las parcelas con claras de 40% se registró una disminución más evidente con una media de 13,67 m<sup>3</sup>/ha. Los rangos de estos resultados se pueden observar en la Tabla 4, que aunque son mayores a los resultados de la Tabla 8 esto puede ocurrir porque nuestros resultados son a nivel de parcela en un área pequeña en Aspurz, mientras que los resultados de la Tabla 8 son a nivel regional y nacional de varios países, incluyendo sitios con muy baja presencia de restos leñosos, posiblemente por extracción de los mismos para uso como leñas.

En una investigación realizada por Siitonen *et al.*, (2000) en el sur de Finlandia se observó que la tendencia de nuestros resultados coinciden con los suyos, donde la media del volumen de restos leñosos para *Pinus sylvestris* en sitios no intervenidos fue de 33,2 m<sup>3</sup>/ha, así como en sitios

parcialmente manejados su volumen disminuyó a 4,0 m<sup>3</sup>/ha y en sitios manejados de una forma más intensiva este volumen descendió aun más a 3,2 m<sup>3</sup>/ha, siendo evidente que la intensidad de cortas previas influye en la cantidad de restos leñosos así como también se reduce la mortalidad por autopoda y el reclutamiento de árboles muertos. Esto también podría explicar nuestros resultados además de los disturbios climáticos, especialmente para las parcelas con 40% de intensidad de clara, ya que al tener menos árboles y estar mejor distribuidos, éstos se encuentran en buenas condiciones y el factor limitante no es la luz, por lo cual no necesitarían autopodarse y por ende coinciden con menos restos leñosos encontrados en estas parcelas con claras de 40%.

Fridman y Walheim (2000) también han encontrado resultados similares en Suecia en bosques de *Pinus sylvestris*, *Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm, *Populus tremula* L. y *Picea abies* L. Karst. donde las últimas claras fueron realizadas cinco años antes del inventario de restos leñosos. Se conoció que en promedio el volumen total de todas las especies para estos restos leñosos fue de 56% más en las parcelas que no han sido aclaradas en comparación a las parcelas aclaradas.

Banás *et al.*, (2014) también han visto una tendencia similar en bosques de Polonia donde las especies dominantes han sido *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior* y *Picea abies*. Sus resultados son consistentes y tienen una tendencia similar con los resultados de esta investigación, en donde el volumen total de restos leñosos en bosques de 20 años que han sido manejados con cortas fue de 5,02 m<sup>3</sup>/ha. Sin embargo este valor es muy bajo si se compara al volumen de restos leñosos en parcelas de reservas naturales cuya edad de estos árboles es de 100 años y asciende a 26,56 m<sup>3</sup>/ha. Los árboles muertos en pie representaron el 38% de los restos leñosos, mientras que los restos leñosos caídos representaron el 62%.

En este contexto es importante mencionar también que la forma y el tamaño de los árboles puede estar relacionada a las distintas formas de mortalidad, por ejemplo: los árboles pequeños mueren en pie o siendo aplastados, los árboles de tamaño mediano tienen una alta posibilidad de sobrevivir y los árboles muy grandes tienen una alta tasa de mortalidad principalmente por el desarraigo o porque se rompen (Holzwarth *et al.*, 2013).

En la Sierra de Guadarrama de España en pinares de *Pinus sylvestris*, Montes y Cañellas (2005) registraron un volumen máximo total de 43,25 m<sup>3</sup>/ha para troncos y ramas mayores a 5cm de diámetro en un pinar en regeneración. Sin embargo en pinares de 60 años donde se realizaron claras, alcanzaron solamente un volumen de 16,30 m<sup>3</sup>/ha, lo cual coincide con la tendencia de los valores de volumen de esta investigación para las claras con 40%.

Los resultados de nuestra investigación también entran en el rango de los resultados realizados en otra investigación en Navarra, en la localidad cercana de Garde que tiene un diseño experimental similar con varios porcentajes de claras, siendo así para las parcelas control la media con un volumen de 43,73 m<sup>3</sup>/ha, en el caso de las parcelas con claras del 20% se observó también una disminución con una media de 31,25 m<sup>3</sup>/ha, aunque para las parcelas con claras de 30% la media

de estos resultados ascendió levemente a 36,62 m<sup>3</sup>/ha, los rangos de estos resultados se pueden encontrar en Martínez (2015).

## 5.2 BIOMASA

Se conoce que las claras forestales influyen en la biomasa de las plantas y por ende en los sumideros de carbono. Así también la forma en cómo fueron cosechados los árboles puede alterar la biomasa viva y los restos leñosos (Jandl *et al.*, 2007).

Los restos leñosos en pie y caídos, cuentan el 10% y 20% de la biomasa total de los bosques maduros (Brown, 2002). Los valores que hemos obtenido de biomasa provienen de los valores de volumen de restos leñosos con el valor de densidad para *Pinus sylvestris* y un factor de corrección de acuerdo a su clase de descomposición. Usualmente la biomasa en bosques coníferos es mayor que otros tipos de bosques si se compara especialmente con bosques deciduos, lo cual también explicaría nuestros resultados. Esto también tiene relación con la tasa de descomposición en los bosques de coníferas que es más lenta en comparación a otros bosques de hoja ancha donde es mucho más rápida debido al tamaño pequeño del material, alta calidad del sustrato y el clima un poco más favorable (Harmon *et al.*, 1986).

En nuestros resultados de biomasa (Tabla 5) se encontró una tendencia de mayor a menor de acuerdo a su intensidad de clara, es decir en las parcelas con claras del 0% se encontró una media de 33106,56 kg/ha. Sin embargo esta media disminuye a 30873,89 kg/ha en parcelas aclaradas con 20% y en parcelas con claras de 40% se observó una disminución más marcada con una media de 13802,02 kg/ha.

De la misma manera así cómo en los resultados de volumen, podemos decir que las parcelas control y las parcelas con claras del 20% representaron una mayor aportación de biomasa de restos leñosos en comparación a las parcelas con claras de 40%.

Tal como hemos visto en los resultados de volumen se pudo evidenciar que para nuestros resultados de biomasa, los restos leñosos gruesos presentan mayor biomasa para las parcelas control y las parcelas con claras del 20%. Sin embargo esto no ocurrió en las parcelas con claras del 40%, ya que su proporción de biomasa de restos leñosos finos y gruesos fue similar. Estos resultados también fueron ratificados con nuestros análisis estadísticos, en los cuales se encontró que las claras forestales influyen significativamente en la biomasa de los restos leñosos totales, así como en restos leñosos finos, y marginalmente en la biomasa de los restos leñosos gruesos.

Las grandes cantidades de biomasa encontradas en nuestras parcelas control y de 20% principalmente pueden deberse a que el bosque de nuestra zona de estudio es un bosque relativamente joven. Ésto también puede estar explicado con el patrón de curva en forma de U en donde la distribución de los restos leñosos, así como su volumen, densidad y biomasa varía en función de la edad del sitio. Esta curva indica que los restos leñosos son mayores después de un disturbio en rodales jóvenes, disminuyen en rodales más maduros y se incrementan levemente en rodales adultos debido al incremento de la mortalidad de los árboles (Harmon *et al.*, 1986).

Dentro de la Península Ibérica existe poca bibliografía en este tema, especialmente en la influencia de las claras forestales en la biomasa de restos leñosos independiente de los análisis como sumideros de carbono. Sin embargo, si comparamos nuestros resultados con los resultados de biomasa en restos leñosos para pino silvestre en Garde dentro de Navarra - España, se observa que para las parcelas control sin claras se registró una media de 16467,91 kg/ha, mientras que para las parcelas con claras del 20% existe una disminución con una media de 9507,40 kg/ha, y finalmente en las parcelas con claras del 30% se obtuvo una media de 11959,64 kg/ha mayor a las claras del 20%, este mismo patrón se encontró en los resultados de volumen de esta investigación (Martínez, 2015).

Aunque nuestros resultados de Aspuz están en el rango de los valores de biomasa en Garde, es evidente que los restos leñosos de Aspuz son mayores, ya que los árboles de Aspuz, aunque son 5 años más jóvenes, son más grandes (en altura y diámetro) debido a la mayor fertilidad en Aspuz. Esto puede tener relación con los valores de volumen, ya que en Garde los resultados de la fracción gruesa frente a la fracción fina no fue tan determinante como en nuestros resultados para Aspuz donde encontramos muchos árboles caídos.

En una investigación realizada por Ruiz – Peinado *et al.*, (2012) en *Pinus pinaster* en las montañas de Sierra Morena en el centro – norte de España donde se realizaron claras forestales, también se registró una tendencia similar a nuestros resultados, en donde la mayor biomasa seca sobre el suelo se encontró en los tratamientos control, con una disminución en los tratamientos de intensidad de clara moderada y esta diferencia se hizo más evidente en tratamientos con intensidad de clara fuerte.

Si tomamos en cuenta que en muchas investigaciones los resultados de biomasa están relacionados al contenido de carbono, es interesante mencionar que según los resultados preliminares de M. Ecay (2015, comunicación personal) en Aspuz se tuvieron los siguientes resultados para el contenido de carbono en restos leñosos: en las parcelas control se tuvo 15,75 Mg/ha, en las parcelas con claras de 20% este contenido disminuye a 14,65 Mg/ha y en las parcelas con claras de 40% esta disminución se hace más evidente con 6,66 Mg/ha. Así también en estos resultados se observó que el contenido de carbono se incrementa ligeramente con el estado de descomposición. Una tendencia similar fue encontrada en la investigación de Ruiz – Peinado *et al.*, (2012) en donde el contenido de carbono en restos leñosos en los tratamientos control fue de 28,41 Mg/ha-1, así como en los tratamientos con claras moderadas y fuertes se registró una disminución de 12,87 Mg/ha-1 y 12,98 Mg/ha-1 respectivamente. En cuanto al contenido de nitrógeno en los restos leñosos de Aspuz se encontró que en las parcelas control este contenido fue de 58,41 Mg/ha, en las parcelas con claras de 20% este contenido se incrementó a 68,41 Mg/ha y en las parcelas con claras de 40% esta disminución se hizo evidente con 27,35 Mg/ha M. Ecay (2015, comunicación personal). En este caso el contenido de nitrógeno se incrementó en los restos leñosos más descompuestos, lo cual podría ser considerado como un factor determinante para mantener la salud del suelo y la vegetación.

En investigaciones por Herrero *et al.*, (2014) en donde analizaron los restos leñosos de diferentes especies de pino en diferentes localidades geográficas como son Rusia, Estados Unidos y España se registró una tendencia en donde el mayor volumen y biomasa se encontraron en parcelas de edad mediana (40 – 80 años) y principalmente en parcelas de edad maduras (> 80 años). Es importante considerar que las claras forestales pueden afectar significativamente los restos leñosos en rodales jóvenes, haciendo que de esta manera el patrón de curva en forma U se vea afectado en el tiempo.

Sin embargo muchos de los valores a comparar con otras investigaciones también van a depender del área de estudio, el tamaño de las parcelas y el método que utilizaron para realizar las claras, ya que las claras por lo alto generalmente dejan muchos más restos leñosos que las claras por lo bajo. Esto hace difícil comparar nuestros valores a menos que se tengan condiciones similares y un diseño experimental parecido.

Aunque en nuestra zona de estudio también existe *Fagus sylvatica*, prácticamente no se encontraron restos leñosos de esta especie. Por lo tanto los restos leñosos que medimos principalmente fueron de *Pinus sylvestris*. Esto puede ocurrir debido a que el haya no tiene autopoda y es capaz de sobrevivir en condiciones bajas de luz, es decir sus ramas inferiores no mueren en caso de ausencia de luz, lo contrario ocurre con el pino. Estas explicaciones podrían ratificar como mencionamos previamente que los bosques de coníferas producen más restos leñosos que los bosques decídúos.

Como se ha mencionado previamente los restos leñosos desempeñan muchas funciones en el ecosistema y por esta razón en varios países se han desarrollado guías para la recolección de biomasa de restos leñosos (Evans *et al.*, 2010). Estas guías presentan recomendaciones voluntarias que pretenden enfatizar la importancia de la materia muerta caída para la biodiversidad, calidad del agua y zonas ribereñas así como la productividad del suelo. Así también se basan en la premisa de que un mayor volumen de materia muerta caída es mejor que un menor volumen para mantener la diversidad biológica y productividad del sitio al proporcionar más espacio para generación de flora y fauna saproxílica, así como reducir el riesgo de erosión al aumentar la cobertura del suelo mineral.

Los estándares de esta guía varían en términos del tipo y monto de materia orgánica que será retenida, por ejemplo en Wisconsin se recomienda retener el 10% de los restos leñosos que pertenecen a los árboles cosechados (Herrick *et al.*, 2009). En Kentucky se recomienda dejar al menos entre el 25 y 30% de los troncos residuales (Kentucky Division of Forestry, 2011), en Minnesota sugieren dejar alrededor del 20% de los restos leñosos de los árboles cosechados (Minnesota Forest Resources Council, 2007). Sin embargo en Pennsylvania se recomienda retener entre el 15 y 30% de la biomasa de los árboles que van a ser cosechados (Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources, 2008).

A nivel europeo existen todavía escasas políticas que aborden el tema de los restos leñosos, aunque la Conferencia Ministerial sobre la Protección de los bosques en Europa estuvo de acuerdo en agregar ciertos criterios e indicadores de un buen manejo forestal en el cual los miembros de los estados estarían obligados a reportar. De esta forma se agregó como un indicador de la diversidad

biológica en ecosistemas forestales al volumen de los restos leñosos, ya sean árboles muertos en pie, troncos y ramas caídas clasificadas de acuerdo al tipo de bosque. Pese a que estos datos todavía son escasos, se espera que en próximos años algunos países puedan incluir a los restos leñosos en las evaluaciones nacionales (Dudley y Vallauri, 2004).

En cuanto a las certificaciones forestales en España, se conoce que la organización Forest Stewardship Council en sus estándares para determinar la sustentabilidad de los productos derivados de la madera, menciona a la retención de restos leñosos gruesos y finos, además que pretenden evitar dañar a los árboles residuales en pie cuando se realiza aprovechamiento de madera (Forest Stewardship Council, 2013). Sin embargo no menciona valores de volumen m<sup>3</sup>/ha o biomasa Kg/ha que se incluya como parte de esta certificación.

### 5.3 CLASES DE DESCOMPOSICIÓN

Los resultados del porcentaje de biomasa de las clases de descomposición de nuestros restos leñosos (Fig 15) sugieren que las clases que más predominan en las distintas parcelas son en su mayoría las clases más jóvenes y menos descompuestas o en estadios intermedios de descomposición (clases 2 y 3), y en menor porcentaje la clase de descomposición 1 (restos recién caídos). La presencia de las clases más descompuestas (4 y 5) es casi testimonial.

Nuestros resultados coinciden con resultados de investigaciones realizadas por Woodall *et al.*, (2013) en varios estados de Estados Unidos con diferentes especies como el abeto alpino (*Abies lasiocarpa*) y pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) en los cuales la mayoría de la biomasa registrada pertenecía a la clase de descomposición 3, seguida de la clase de descomposición 2, con menor proporción la clase de descomposición 4 y en su minoría la clase de descomposición 1. Para las especies de pino como *Pinus tadea* y *Pinus virginiana* se registraron más restos leñosos de la clase de descomposición 3 pero también un porcentaje considerable de la clase de descomposición 4, seguido de la clase de descomposición 2 y finalmente de la clase de descomposición 1.

Sin embargo las clases de descomposición presentes en un bosque van a depender del tipo de corta de los árboles, la intervención que ha recibido este bosque en su historia de vida, el tiempo que ha pasado después de las últimas claras, así como las especies que componen el bosque.

En nuestro caso la explicación para estos resultados puede ser debido al tiempo en el cual estos restos leñosos han estado en el suelo desde las últimas claras realizadas, siendo la primera clara hace 16 años y la segunda hace 6 años en el 2009. En investigaciones realizadas analizando la tasa de descomposición de restos leñosos de *Pinus sylvestris* en la localidad cercana de Garde se conoció que el tiempo necesario para que se descompongan el 95% de los restos leñosos fue de 68,94 años, así como el tiempo necesario para que se descompongan el 50% de los restos leñosos fue de aproximadamente 16 años (Martínez, 2015). Estos resultados tienen sentido en esta investigación ya que los restos leñosos encontrados estarían en proceso de descomposición dentro de la tasa estimada en años para *Pinus sylvestris* y necesitarían alrededor de 50 años más para que se generen las clases más descompuestas. Además que las clases predominantes 2 y 3 coinciden

con la tasa de descomposición de restos leñosos del 50%, es decir 16 años que es el lapso de tiempo que ha pasado desde la clara de 1999.

Además se debería tomar en cuenta que en Garde la temperatura media anual es de 8.2 °C, siendo menor a Aspuz en donde la temperatura media es de 12 °C, lo que nos podría indicar que en Aspuz la tasa de descomposición podría ser mayor de acuerdo a su temperatura. Esto se ha demostrado en investigaciones de Shorohova y Kapitsa (2014) en donde la tasa de descomposición de las especies coníferas depende de las características climáticas, mientras que en las especies deciduas este no es un factor tan determinante.

Los resultados de las tasas de descomposición de Martínez (2015) también coinciden con los resultados de Makinen *et al.*, (2006) en un bosque de *Pinus sylvestris* en Finlandia cuya edad fue de 62 años y se conoció que para encontrar restos leñosos de las clases de descomposición 2 y 3, se necesitó una tasa de descomposición de 60 a 80 años.

Según Montes y Cañellas (2005) la descomposición de restos leñosos siguen un patrón de curva en forma de U, en donde es evidente su descenso especialmente para el volumen de los troncos mayores a 10cm y los tocones mayor a 30cm específicamente para las clases de descomposición 2, 3, 4 y 5. Sin embargo la tasa de descomposición de restos leñosos también va a depender del tamaño de los mismos, si son gruesos va a tomar más tiempo su descomposición en comparación a restos leñosos finos (Moroni y Ryan, 2010).

Otro patrón de descomposición de restos leñosos se encontró en la investigación de Makinen *et al.*, (2006) en donde la tasa de descomposición se incrementó posterior a los 5 y 10 años primeros años después de que el árbol muere, posteriormente fue seguido por un periodo moderadamente bajo de descomposición, aunque existen otras investigaciones previas que mencionan lo contrario. Esta discrepancia entre estas tasas de descomposición va a depender de las diferencias en las condiciones en las cuales se encontraba el tallo al momento de morir, además que para *Pinus sylvestris* el duramen es retenido por más tiempo debido a su resistencia, pero lo contrario ocurre con la albura. Finalmente esta tasa de descomposición lenta encontrada en esta investigación también pudo deberse a la lenta tasa de colonización de organismos después de que el árbol muere, así como los árboles muertos permanecen en pie mucho tiempo hasta que estos caigan al suelo. Sin embargo es importante tomar en cuenta que la causa de mortalidad de los árboles va a influir también en la descomposición de los restos leñosos desde diferentes puntos y en el caso de los árboles muertos en pie, estos ya pueden haber empezado su descomposición hasta que caigan al suelo y estos restos leñosos ya estarían parcialmente descompuestos.

Si analizamos las clases de descomposición de nuestros resultados y los comparamos con el tiempo que se necesitaría de aproximadamente 50 años para descomponerse el 95% los restos leñosos, es posible mencionar que los resultados de esta investigación también podrían tener un patrón de curva en forma de U en caso de que no se sigan realizando más claras en Aspuz.



#### 5.4 MACRO Y MICROINVERTEBRADOS ASOCIADOS A RESTOS LEÑOSOS

En los resultados de esta investigación se registraron principalmente 19 taxones, entre los cuales es necesario distribuirlos en grupos funcionales para conocer el rol que desempeñan en los restos leñosos (Tabla 9). Los organismos panfitófagos se alimentan de hongos, bacterias y materia orgánica en descomposición como por ejemplo troncos caídos, excrementos y cadáveres de otros animales (Palacios-Vargas, 2014). Los invertebrados carnívoros se caracterizan por sus hábitos depredadores y su anatomía que les permite cazar a otros invertebrados (Camousseight, 2008), y finalmente los invertebrados herbívoros que se alimentan de fluidos de distintas especies vegetales (Unzu Jabat, 2006).

**Tabla 9.** Clasificación de los taxones identificados según sus grupos funcionales

<b>Taxón</b>	<b>Panfitófago</b>	<b>Carnívoro</b>	<b>Herbívoro</b>	<b>Referencia</b>
Oribatida	x			Salazar Martínez <i>et al.</i> , 2006
Colembolla	x			Palacios - Vargas, 2014
Diptera	x			Hibbert, 2010
Thysanoptera			x	Unzu Jabat, 2006
Coleoptera	x	x		Hibbert, 2010; Moldenke, 2015
Hymenoptera	x			Harmon <i>et al.</i> , 1986
Hemiptera	x			Moir y Brennan, 2007
Pseudoscorpión		x		Unzu Jabat, 2006
Aranae		x		Unzu Jabat, 2006
Geophilomorpha		x		Lizotte, 2015
Lithobiomorpha		x		Lizotte, 2015
Oligochaeta	x			James, 2000
Symphyla			x	Moldenke, 2015
Nematoda	x	x		Ramón de Lara <i>et al.</i> , 2003
Paupoda	x		x	Grimaldi y Engel (2004)

Horn y Hanula (2008) encontraron resultados similares de presencia de macroinvertebrados en los restos leñosos de *Pinus tadea*, entre ellos los ordenes: Aranae, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Himenoptera, Lithobiomorpha y Thysanura. De la misma manera Lust *et al.*, (2000) realizaron una investigación de abril a octubre en los restos leñosos de *Pinus sylvestris* en Bélgica y también se reportaron 72% de dípteros, 11% de coleópteros, 11% de himenópteros, 4% de araneidos y 2% de otros. Estos resultados de dípteros son interesantes en el contexto de que la mayor parte de su

abundancia fue de 1,700 individuos/100 dcm<sup>3</sup> en tocones, así como las estaciones más cálidas cuando fueron tomados estos datos pudieron permitir que completen el ciclo de vida estas especies y por ende se incrementa su abundancia.

De acuerdo a los resultados de los grupos funcionales de esta investigación, podemos decir que existe una comunidad de macro y microinvertebrados que desempeñan roles muy definidos en la descomposición de los restos leñosos de *Pinus sylvestris*, especialmente en mayor abundancia tenemos a los organismos panfitófagos, seguidos de los organismos carnívoros y en menor abundancia a los organismos herbívoros, aunque estos roles van a depender del tipo de bosque y sus características (Harmon *et al.*, 1986). Estos resultados pueden estar explicados debido a que en su mayoría las especies panfitófagas encontradas se alimentan de hongos, bacterias y materia en descomposición, es decir los restos leñosos de clase 3 y 4 de nuestras muestras pueden ser considerados como un sustrato ideal para estas especies. Sin embargo la poca abundancia de especies herbívoras en nuestros resultados puede estar explicada por la falta de fluidos de especies vegetales, además que la presencia de raíces o materia vegetal en la corteza de los restos leñosos de nuestras muestras estaba casi ausente. Esto también explicaría la menor proporción de especies depredadoras por falta de especies herbívoras, aunque las pocas especies depredadoras encontradas podrían estar alimentándose de los organismos panfitófagos.

Adicionalmente encontramos un porcentaje considerable de larvas que pudo deberse al inicio de primavera. Esto sugeriría que estos organismos posiblemente estarían actuando como panfitófagos, así como también estarían utilizando los restos leñosos para completar su ciclo larvario (Harmon *et al.*, 1986). Nuestros resultados de los microinvertebrados más abundantes fueron: oribatidos, colémbolos, ácaros inmaduros y otros ácaros.

Bird *et al.*, (2004) también encontró resultados similares en muestras de suelo posterior a claras forestales en un bosque de *Pinus tadea*. Los ácaros fueron el grupo más abundante, siendo Oribatida el suborden más dominante para todas las muestras. Así también se encontraron diferencias significativas entre los taxones más dominantes en los tratamientos de claras forestales. Se registró una mayor abundancia media de Mesostigmata, Prostigmata y Collembola en tratamientos que incluyeron tala a mano en comparación a tala mecánica.

Estos resultados taxonómicos también coinciden con los resultados de la investigación de Unzu Jabat (2006) en donde estudió la abundancia y riqueza de macro y microinvertebrados asociados a la hojarasca en este mismo bosque de Aspuz. Aunque el sustrato que estudiamos en nuestra investigación son restos leñosos en descomposición y para Unzu Jabat (2006) fue hojarasca, los resultados de invertebrados similares también encontrados en suelo por Bird *et al.*, (2004) nos sugieren que estas especies podrían estar actuando de forma similar aunque el sustrato sea diferente, es decir podrían migrar entre sustratos debido a sus amplios hábitos alimenticios.

Los otros ácaros encontrados en nuestros resultados posiblemente podrían ser de los subordenes Mesostigmata, Metastigmata, Prostigmata y Cryptostigmata, debido a que en la investigación de Unzu Jabat (2006) estos subórdenes fueron los más abundantes. Esto nos indicaría que

posiblemente algunos de ellos estarían también actuando como depredadores de los ácaros oribatidos y los ácaros inmaduros encontrados en nuestros resultados.

Sin embargo, es importante destacar que los ácaros inmaduros fueron el grupo más abundante en nuestros resultados. Esto podría indicar que además de utilizar los restos leñosos como parte de su dieta, también estarían utilizándolo como hábitat para reproducirse.

En cuanto a los ácaros del suborden Oribatida, uno de los más abundantes en nuestros resultados, se conoce que las especies de los árboles que se transforman en restos leñosos no afectan a sus hábitos alimenticios (Huhta *et al.*, 2012). Estos autores en investigaciones realizadas en restos leñosos, también indicaron que este suborden fue el más abundante con respecto a otros acáros como los Mesostigmata. Aunque nuestras muestras fueron de *Pinus sylvestris*, en nuestra área de estudio en menor porcentaje también existen restos leñosos de *Fagus sylvatica*, lo que indicaría que posiblemente estos ácaros también estarían actuando en su descomposición.

En esta investigación no encontramos resultados significativos que afirmen que la intensidad de clara, el tipo de dosel y la clase de descomposición de los restos leñosos influyen en los índices de diversidad de Shannon y de Simpson. Esto puede suceder debido a que la diversidad de una comunidad es dependiente de la abundancia relativa de los taxones. En nuestros resultados solamente registramos 19 taxones y 4 de ellos fueron los dominantes debido a su gran abundancia en relación a los otros taxones. Sin embargo sería necesario realizar más tomas de datos de los invertebrados en otras estaciones del año para confirmar si realmente las variables analizadas no influyen en la diversidad y abundancia de los taxones registrados o si esto fluctúa con las condiciones climáticas más favorables.

#### **5.4.1 Influencia de la Gestión forestal**

En cuanto al efecto de la intensidad de clara, no se encontró que influyera significativamente en la abundancia de todos los taxones ni en los taxones más comunes de microinvertebrados. Sin embargo si se encontró una tendencia mayor de individuos totales/gr en las parcelas control en comparación a las parcelas con claras de 40% para los taxones Geophilomorpha, Symphyla, Lithobiomorpha, Chilópodos juveniles, Oribatida, otros ácaros, ácaros inmaduros y Collembola. No obstante, en esta investigación solamente tuvimos resultados marginalmente significativos en la interacción del tipo de dosel\* clase de descomposición\* intensidad de clara para los ácaros inmaduros.

Estos resultados pueden ser explicados debido a que las intensas claras forestales alteran las propiedades de la superficie y por ende se recibe mayor radiación solar y precipitación, así como también una pérdida de radiación mayor, lo que produce unas altas tasas de evapotranspiración (Yi, 2003). Esto también se ha registrado por Carlson y Groot (1997) en donde las grandes áreas de apertura de dosel revelan diferencias máximas y mínimas en las temperaturas y la irradiancia estacional está correlacionada al tamaño de apertura del dosel, en donde en áreas abiertas la temperatura del aire fue mayor durante el día y menor en la noche, en comparación al interior del bosque.



**Figura 25.** Fotografía superior del dosel de las parcelas control y fotografía inferior de las parcelas con claras de 40% (Derechos de Bosco Imbert).

Aunque en mis resultados no se encontró que la intensidad de clara influye significativamente en el contenido hídrico de los restos leñosos, si se registró una tendencia de mayor a menor de las parcelas control en comparación a las parcelas con claras de 40%. Es decir los resultados de los microinvertebrados más abundantes registrados corresponden a los resultados del contenido hídrico disponible en los restos leñosos de acuerdo a la intensidad de clara en el bosque de Aspuz.

Resultados similares se han encontrado en este bosque de Aspuz por Primicia *et al.*, (2013) en donde se registraron valores de mayor humedad en el suelo en parcelas sin claras en comparación a parcelas con claras aunque en las parcelas con claras hubo más escorrentía en eventos de altas precipitaciones. Esto puede ser explicado debido a que después de que se realizan las claras se incrementa la alta tasa de transpiración del dosel por los árboles individuales así como la velocidad del viento, lo que mejora así su evaporación y crea condiciones microclimáticas.

Blanco *et al.*, (2011) analizaron las tasas de descomposición de hojarasca en Aspurz bajo los mismo tratamientos de claras que nuestra investigación. Sus resultados fueron interesantes en el contexto de que el clima local va a exacerbar la descomposición de hojarasca por las claras forestales. Esto sucede debido a que al remover parte de la cubierta forestal, se redujo también la humedad y la descomposición de la hojarasca en el suelo, así también al incrementarse la luz se alteran las comunidades de organismos descomponedores y por lo tanto las tasas de descomposición. Sin embargo, en estos resultados se conoció también que las diferencias en las tasas de descomposición de hojarasca debido a las claras forestales empiezan a ser significativas recién después de los 2 años en este bosque Mediterráneo, posiblemente por los efectos acumulativos de la reducción de mesofauna en la hojarasca.

La riqueza de especies descomponedoras también puede explicar las tasas de descomposición de los sustratos tanto en hojarasca como en restos leñosos. Una menor diversidad de marco y microartropodos puede resultar en un consumo menor dejando otras fracciones de hojarasca intactas (González y Seastedt , 2001), conduciendo así a una menor tasa de descomposición en el tiempo. Así también pueden ocurrir cambios similares en la diversidad y abundancia de hongos y bacterias en respuesta al contenido hídrico (Blanco *et al.*, 2011).

Yi (2003) también encontró que los cambios en la humedad de la hojarasca independiente a las estaciones climáticas debido a la gestión forestal producen diferencias significativas en la comunidad de macroartrópodos, tanto en su abundancia como en su riqueza. Sin embargo Peck (2005) en un bosque dominado por *Abies concolor*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus lambertiana*, *Pinus ponderosa* y *Libocedrus decurrens* encontró que las claras forestales producen una disminución en la comunidad de invertebrados encontrados en hojarasca y acículas, pero no encontró una relación significativa entre el tiempo que se realizó las claras y las abundancias de ácaros oribatidos, prostigmátidos, astigmátidos y colémbolos. Adicionalmente las especies de colémbolos en común tanto en los sitios con claras y sin claras fue del 64% y en ácaros oribatidos las especies en común fue del 85%. Sin embargo estas diferencias no fueron tan marcadas y esto podría indicar que los cambios temporales a largo plazo en la comunidad de invertebrados después de realizar claras son influidos por una variedad de factores complejos, incluyendo la intensidad de las claras así como también la tasa de crecimiento de la vegetación y su cambio en el tiempo.

Resultados similares se han encontrado en investigaciones realizadas por Nitterus *et al.*, (2007) en *Pinus sylvestris* donde fueron aplicadas claras hace 15 y 18 años, se conoció que al remover los troncos del suelo se produjo una disminución del número total de colémbolos, ácaros gamásidos, arañas, insectos depredadores y larvas de Diptera. Esto también podría tener efecto en la comunidad de invertebrados a largo plazo, ya que estarían colonizando los restos leñosos especies más generalistas y se produciría una disminución en las especies forestales autóctonas. Esto podría ocurrir en nuestra investigación en Aspurz si tomamos en cuenta que 4 de los 19 taxones fueron los más abundantes. Sin embargo se necesitaría de más muestreos en diferentes estaciones del año y con más frecuencia para confirmar que esto estaría ocurriendo, ya que muchas especies de microartrópodos pueden tener límites de tolerancia diferentes a la intensidad de clara (Peck, 2005).

#### 5.4.2 *Influencia del tipo de dosel arbóreo*

Se conoce que la forma en la que el dosel influye en la cantidad de radiación lumínica del sotobosque va a depender de la proporción de radiación directa o indirecta (difusa) que llega al ecosistema; la penetración de la radiación directa hasta el sotobosque depende de la localización de las aperturas del dosel y su tamaño, así como la arquitectura y altura del dosel. En ambientes mediterráneos los destellos de sol pueden ser un recurso valioso para la vegetación del sotobosque cuando se trata de doseles muy cerrados, no obstante a medida que el dosel se abre y deja pasar más radiación los destellos se hacen más largos e intensos dando lugar a una fotoinhibición que puede ser mayor a cielo abierto y podría convertirse en un factor de estrés (Valladares, 2006). Esto ocurre principalmente por el incremento en la temperatura del suelo como mencionamos previamente en la influencia de la gestión forestal.

En nuestra investigación se pudo evidenciar que las densidades más altas de los taxones Hymenoptera, Symphyla, Araneae, Lithobiomorpha, Pauropoda, Chilópoda juvenil, Coleoptera, ácaros oribatidos y colémbolos se encontraron bajo el dosel mixto. Así como los taxones Diptera, Geophilomorpha, Oligochaeta, Thysanoptera, otros ácaros y ácaros inmaduros se encontraron bajo el dosel de pino y por lo mismo encontramos diferencias significativas para la comunidad de microinvertebrados más abundantes. Esto puede estar explicado con los resultados de la investigación de Valladares (2006) debido a que la radiación directa en *Pinus sylvestris* para Aspuz es marginalmente mayor con 16% en comparación a la radiación directa de los hayedos de Navarra con 13%. Sin embargo según Valladares (2006) se conoció que la arquitectura del dosel característica de cada especie no hizo que la cobertura ni la altura del dosel estuvieran claramente relacionadas con la radiación del sotobosque. Pese a esto es importante tomar en cuenta que la estructura de las hojas de las hayas permite que absorban más luz y que se produzca una menor entrada lumínica en comparación al dosel de pino.

Los resultados de la investigación de Valladares (2006) tendrían relación con nuestros resultados de contenido hídrico de los restos leñosos según su tipo de dosel. Aunque no encontramos una relación significativa, si encontramos un porcentaje mayor de contenido hídrico bajo el dosel mixto donde existe menos radiación directa en comparación al dosel de pino donde existe más radiación directa. Esto nos podría explicar que aunque existe una mayor heterogeneidad lumínica bajo el dosel de pino, posiblemente los destellos de luz bajo este dosel no serían lo suficiente fuertes para afectar la cantidad de contenido hídrico en los restos leñosos y por ende esto explicaría nuestros resultados de invertebrados y su distribución tanto bajo el dosel de pino como bajo el dosel mixto. El ambiente lumínico en general más oscuro bajo el dosel mixto podría estar relacionado con el leve aumento del contenido hídrico de los restos leñosos bajo el mismo.

La entrada lumínica marginalmente mayor con destellos de luz más largos especialmente heterogéneos (debido a las prácticas silvícolas de *Pinus sylvestris*) permitiría el crecimiento y desarrollo de hongos, que son los organismos que primero colonizan los restos leñosos y por ende podría incrementarse la tasa de descomposición por los invertebrados panfitófagos. Sin embargo nuestros resultados podrían verse sesgados debido a que la toma de muestras de restos leñosos para

analizar los invertebrados fue llevada a cabo a inicios de primavera, es decir cuando recién estaban creciendo las hojas de *Fagus sylvatica* y por esta razón el dosel estuvo más abierto en comparación al resto del verano - otoño.

Nuestros resultados coinciden con la investigación de Unzu Jabat (2006) de invertebrados asociados a hojarasca en Aspuz en donde los ácaros inmaduros se encontraron en mayor densidad bajo el dosel de pino silvestre y en menor densidad bajo el dosel mixto. Por otra parte, Yi (2003) en un bosque mediterráneo de Oregón encontró que el follaje de árboles deciduos tuvo una mayor abundancia de artrópodos en comparación al follaje de coníferas. No obstante en el follaje de coníferas se registró un mayor riqueza de especies artrópodos en comparación al follaje deciduo. Esto puede ser debido a la dieta de los gremios de microartrópodos encontrados, ya que las especies asociadas al follaje de coníferas involucran en su mayor proporción a especies detritívoras y fungívoras, mientras que el follaje de especies decíduas involucran alrededor del 60% a especies herbívoras. Esto ocurre debido a que las coníferas producen un microhabitat de hongos por su estructura de las ramas y hojas que tienen un periodo largo de vida y por ende proveen un soporte a la población de ácaros y colémbolos durante todo el año (Andre y Voegtlin, 1981), lo cual tendría relación con los resultados de nuestra investigación.

Sin embargo aunque se registraron menores densidades de individuos para los macroartrópodos, en su mayoría estos taxones estuvieron presentes bajo el dosel mixto en comparación al dosel de pino. En el caso de los microartrópodos más abundantes, se registró una mayor densidad de oribatidos y colémbolos bajo el dosel mixto y una menor densidad de otros ácaros y ácaros inmaduros bajo el dosel de pino. Esto nos hace pensar que 6 años después de la última clara en el 2009 posiblemente estos doseles se están cerrando nuevamente y los efectos de los tratamientos de las claras se hayan difuminado y por lo mismo las condiciones lumínicas pueden ser parecidas bajo los doseles mixto y de pino. A su vez, es importante tomar en cuenta que los restos leñosos de las clases más descompuestas podrían estar actuando como una esponja de retención de humedad en el suelo forestal, lo cual ayudaría a difuminar el efecto de una entrada de luz y por ende el calor en el ecosistema. Así mismo es importante tomar en cuenta que el sustrato que analicé en esta investigación fueron restos leñosos y aunque nuestros resultados coinciden con investigaciones en hojarasca se debe considerar que los invertebrados al estar en la madera pueden ser menos susceptibles que los invertebrados en hojarasca a los cambios ambientales producidos por las claras forestales o por el tipo de dosel.

Al encontrar densidades mayores de algunos macro y microinvertebrados en los restos leñosos bajo el dosel de pino sería interesante tomar en cuenta esto cuando se realizan claras forestales para la silvicultura, ya que estas claras se practican en árboles de pino, lo cual al cortarlos estaría afectando a su comunidad de invertebrados y de esta manera se estaría afectando la descomposición de restos leñosos. Sin embargo es necesario realizar más tomas de datos en las diferentes estaciones del año con el objetivo de conocer si la variación de las entradas lumínicas afectan a la comunidad de invertebrados, especialmente en las estaciones cálidas que permiten que las condiciones favorables del clima puedan ayudar a completar ciclos de vida de ciertos invertebrados.

### 5.4.3 *Influencia de las clases de descomposición*

En nuestros resultados pudimos evidenciar que las clases de descomposición influyeron significativamente en el número de taxones totales, así como también los valores más altos de densidad de invertebrados se encontraban en los restos leñosos más descompuestos (clase de descomposición 4) y en menores densidades en la clase de descomposición 3. De la misma manera las interacciones de clase de descomposición\*tipo de dosel influyeron significativamente en las abundancias de los microartrópodos más abundantes Oribatida, Otros ácaros, ácaros inmaduros y Collembola.

Como hemos visto previamente el tipo de dosel de pino silvestre permite una entrada de radiación directa marginalmente mayor al dosel mixto dominado por haya, esto también influye en el contenido hídrico de los restos leñosos, en donde pudimos constatar que los restos leñosos bajo una menor entrada de radiación directa como es el haya tuvieron mayor contenido hídrico en comparación al pino que tuvo menor contenido hídrico. Adicionalmente esto también puede tener relación con los resultados significativos en los cuales se conoció que la clase de descomposición influyó en el porcentaje de contenido hídrico de los restos leñosos, es decir los restos leñosos que se encontraron bajo el dosel de mixto que tienen una radiación menos directa pueden estar sujetos a una mayor retención de humedad y de esta manera acelerar el proceso de descomposición por parte de los invertebrados.

Este resultado puede estar explicado debido a la necesidad de humedad por los organismos, ya que también encontramos en nuestros resultados que el mayor porcentaje de contenido hídrico se registró en la clase de descomposición 4 y en menor porcentaje en la clase de descomposición 3, así como también se encontró que la clase de descomposición influye significativamente en el contenido de hídrico de los restos leñosos. Sin embargo nuestros resultados son interesantes si tomamos en cuenta que la concentración de oxígeno en madera podrida es relativamente baja (Godfrey, 2003), lo que nos indicaría la adaptación de estos organismos a estas condiciones. De la misma manera en nuestros resultados de contenido hídrico se encontró un mayor porcentaje en las parcelas control y un menor porcentaje en las parcelas con claras de 40%, lo que también podría explicar una mayor densidad de invertebrados en las parcelas control para algunos taxones de macroinvertebrados y en su mayoría para los taxones de microinvertebrados más abundantes.

Existe muy poca bibliografía en cuanto a supervivencia de invertebrados en restos leñosos de madera podrida, según la investigación de Godfrey (2003) en bosques deciduos en Inglaterra se registró que las especies del orden Diptera (*Glyptotendipes glaucus* y *Achyrolimonia decemmaculata*), Trichoptera (*Hydatophylax infumatus*), Coleoptera (*Atrecus affinis*) estaban asociadas a restos leñosos ya sean viejos o podridos.

Nuestros resultados sugieren que la intensidad de clara no afecta significativamente a la comunidad de invertebrados aunque se encontró una tendencia de mayor abundancia en las parcelas sin claras para algunos taxones de macroinvertebrados y en su mayoría para los microinvertebrados. Sin embargo el tipo de dosel y la clase de descomposición si son factores que influyen especialmente en los microinvertebrados más abundantes. Aunque los taxones más abundantes de oribatidos, otros



ácaros, ácaros inmaduros y colémbolos estuvieron presentes en casi todos los tratamientos, las abundancias de los macroinvertebrados sí variaron en muchos de los tratamientos y fueron influenciadas significativamente por la clase de descomposición y dosel. Esto nos podría indicar que esta comunidad de macroinvertebrados sería un poco más especialista, mientras que la comunidad de microinvertebrados más abundantes cuya función fue panfitófaga podría ser considerada como generalista debido a su ciclo de vida y alta fecundidad en el caso de los colémbolos (Crossley, 1977), así como los ácaros oribatidos por su amplia preferencia alimenticia (Huhta *et al.*, 2012).

Sin embargo es importante tomar en cuenta que la clase de descomposición influyó significativamente para todos los taxones. Esto podría explicar que aunque las mayores densidades de colonizadores de restos leñosos en las clases de descomposición intermedias fueron los organismos cuya función fue específicamente panfitófaga, con el paso del tiempo y al tener la madera más descompuesta otros taxones no especialistas podrían aprovechar los agujeros realizados por los organismos panfitófagos, lo cual tiene coherencia con nuestros resultados de macroinvertebrados que aunque sus densidades fueron menores, estuvieron en esta clase de descomposición más avanzada. Por esta razón es importante seguir investigando la colonización de invertebrados en restos leñosos para las clases más descompuestas.

#### **5.4.4 Relación entre abundancia de invertebrados y biomasa de restos leñosos**

En cuanto a la biomasa de los restos leñosos encontrados en el transecto en línea fueron en su mayoría gruesos y las principales clases de descomposición que encontramos fueron de la clase 2 y 3, es decir estos restos leñosos pueden deberse a los árboles muertos en pie que cayeron al suelo con el fuerte invierno. Sin embargo se encuentran en proceso de descomposición y aproximadamente le faltarían alrededor de 50 años para llegar a las clases más descompuestas según la tasa de descomposición de restos leñosos propuesta por Martínez (2015).

Adicionalmente como se pudo observar en nuestros resultados los restos leñosos que encontramos fueron de *Pinus sylvestris* y en menor proporción restos leñosos de *Fagus sylvatica*, ya que como mencionamos previamente se conoce que en bosques coníferas se ha registrado una mayor biomasa de restos leñosos en comparación a bosques deciduos, lo cual influiría también en el tiempo de descomposición y colonización de invertebrados, especialmente en el caso de los bosques coníferas una mayor colonización por organismos panfitófagos.

Si tomamos en cuenta las clases de descomposición de restos leñosos más predominantes como fueron las clases 2 y 3, podemos decir que en los restos leñosos de esta investigación se produjo en primera fase una colonización por hongos y líquenes que también aumentan el contenido hídrico de restos leñosos y posteriormente están actuando los ácaros y colémbolos, lo cual explicaría nuestros resultados en su mayor abundancia. Así como también se esperaría que cuando estos restos leñosos lleguen a las clases más descompuestas se encuentre una mayor abundancia de organismos depredadores y organismos no especialistas que usen los agujeros de la madera realizados por los organismos panfitófagos, como se puede observar en los resultados de los macroinvertebrados en la clase de descomposición 4.

En cuanto a la gestión forestal la biomasa presente de restos leñosos en las parcelas control es mayor a la biomasa de las parcelas sometidas a procesos de claras lo cual tiene relación con los microinvertebrados más abundantes encontrados en estas mismas parcelas con una tendencia de mayor a menor en las parcelas control en comparación a las parcelas con 20% y 40% de clara.

Sin embargo, no se ha encontrado bibliografía que relacione un valor mínimo de biomasa para la conservación de macro y microinvertebrados, aunque si se encontró un valor mínimo de volumen entre 20 y 30 m<sup>3</sup>/ha de restos leñosos para la conservación de las principales especies saproxílicas en bosques templados europeos (Dudley y Vallauri, 2004). Los resultados de la media para las parcelas aclaradas con 40% no alcanzan los 20 m<sup>3</sup>/ha, lo cual nos podría indicar que a largo plazo muchas de las especies saproxílicas podrían disminuir considerablemente.

Nuestros resultados sugieren que las entradas de restos leñosos en el suelo forestal de las parcelas están relacionadas a las salidas de materia orgánica de estos mismos restos leñosos debido a la actividad descomponedora de invertebrados encontrados. Sin embargo en las parcelas con 40% de clara, la descomposición de restos leñosos y por ende la entrada de nutrientes al suelo podría ser menor o tomaría más tiempo debido a la falta de restos leñosos así como una menor abundancia de microinvertebrados que los puedan descomponer en una primera fase. Ello podría poner en riesgo la conservación de especies saproxílicas y reducir a largo plazo la fertilidad del sitio al reducirse la cantidad de nutrientes en los restos leñosos y ralentizarse su proceso de descomposición (Blanco *et al.*, 2005, 2011).

Sin embargo es importante recordar que la actividad descomponedora por los invertebrados va a depender en gran medida del contenido hídrico de los restos leñosos, así como el tipo de dosel que por la radiación lumínica va a influir en su tasa de descomposición.

## 6 CONCLUSIONES

En esta investigación se pretendió conocer si las claras forestales influyen en el volumen y biomasa de los restos leñosos, así como también se investigó si las claras forestales, el tipo de dosel y la clase de descomposición de restos leñosos (clase 3 y 4) influyen en la abundancia y riqueza de macro y micro invertebrados asociados a estos restos leñosos.

En relación a los objetivos planteados al inicio de esta investigación, se cumplieron todos satisfactoriamente, siendo las siguientes las conclusiones principales:

- El volumen y biomasa de restos leñosos fue mayor en las parcelas control en relación a las parcelas con 40% de clara. La gestión forestal influyó significativamente debido a que en los años 1999 y 2009 se realizaron claras forestales que se llevaron consigo restos leñosos y redujeron el número de árboles que pudieron ser fuente de más restos leñosos.
- Tanto para volumen y biomasa la fracción que predominó fue en su mayoría la fracción gruesa y en su minoría la fracción fina, principalmente porque el bosque de Aspuz está dominado por *Pinus sylvestris* y sus restos leñosos en forma de árboles caídos fueron los más predominantes.

- Las clases de descomposición presentes en nuestros restos leñosos fueron en su mayoría la clase 2 y 3 (estadíos intermedios de descomposición) debido al tiempo en el cual se realizaron las claras forestales hace 6 y 15 años.
- Los invertebrados encontrados en los restos leñosos fueron en su mayoría panfitófagos y su abundancia se vio influenciada significativamente por el dosel y clase de descomposición, ya que se conoció que la intensidad de radiación directa bajo *Pinus sylvestris* es levemente mayor que bajo un dosel mixto de *Fagus sylvatica* y *Pinus sylvestris*. Esto se relacionó con el contenido hídrico de restos leñosos siendo mayor bajo el dosel mixto y menor bajo el dosel puro de *Pinus sylvestris*.
- Aunque el contenido hídrico de los restos leñosos fue mayor en la clase más descompuesta, existen otros factores propios de cada especie de invertebrados como su tipo de alimentación y ciclo de vida que van a condicionar la descomposición de restos leñosos. La comunidad de macroinvertebrados puede ser considerada como especialista y la comunidad de microinvertebrados más abundantes se podría considerar como generalista debido a que estuvo presente en casi todos los tratamientos de restos leñosos.
- Aunque las claras no influyeron significativamente en los resultados del número de individuos totales, sí se encontró una tendencia de disminución en las parcelas con claras de 40% en los taxones más abundantes. Esto puede estar relacionado a la tendencia que sigue el contenido hídrico presente en los restos leñosos.
- La mayor entrada de biomasa en las parcelas control coincide con una mayor abundancia de microinvertebrados panfitófagos, así como se registró una tendencia de disminución de biomasa y de los microinvertebrados más abundantes en las parcelas con claras de 20% y 40%, lo que nos indicaría que está ocurriendo una menor descomposición de restos leñosos y una menor entrada de nutrientes.

## 7 RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar más investigaciones en Aspuz con más de dos transectos en línea por parcela para tener más datos de biomasa y volumen. Además sería recomendable incluir los árboles muertos en pie en la toma de datos, ya que muchos de los inventarios de restos leñosos también incluyen a estos árboles y de esta manera se podría comparar con otros resultados en bosques.
- Mis resultados de restos leñosos fueron realizados después de 6 años de la última clara en el año 2009. Aunque eso nos da resultados significativos en muchos casos, sería importante conocer estos resultados en periodos de tiempo más cortos tras la actuación forestal.
- Sería interesante que se continúe investigando la comunidad de invertebrados a nivel de taxones más específicos como son suborden, familia, género y especie en los restos leñosos, debido a que existe muy poca bibliografía en este tema y podría servir como un apoyo para futuras recomendaciones para conseguir una gestión forestal sostenible.

- Debido a que los invertebrados encontrados en esta investigación fueron en su mayoría panfitófagos, sería interesante investigar las especies de hongos y líquenes que colonizan los restos leñosos, así como su relación con los invertebrados.
- En base a los resultados del contenido hídrico de los restos leñosos se conoció que este porcentaje fue mayor en las muestras bajo el dosel mixto y menor bajo el dosel pino, por esta razón se recomienda tomar más de datos de restos leñosos bajo el dosel mixto para conocer los invertebrados en mayor detalle y ver si en realidad nuestros resultados estaban sesgados por ser inicios de primavera o en realidad esto sucede. Así también cuando se tome en cuenta al dosel se recomienda que se incluyan datos de luminosidad total y de la proporción de radiación directa o indirecta (difusa).
- Debido a que en nuestros resultados se registró un porcentaje considerable de larvas, sería interesante tomar más datos de restos leñosos para la extracción de invertebrados al final del verano, con el objetivo de que las larvas tengan más tiempo de crecer, desarrollarse y colonizar los restos leñosos después del invierno.
- En cuanto a la gestión forestal y el manejo de restos leñosos, se recomienda que se realice investigaciones usando las parcelas de Aspuz para conocer los efectos secundarios en la biomasa, composición de comunidades de invertebrados así como nutrientes cuando se retiraría cierto porcentaje de restos leñosos (entre 10 y 30%) tal como lo establece la Guía para la recolección de biomasa de restos leñosos en Norteamérica.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

Banás, J., Bujoczek, L., y Zieba, S. (2014). The effects of different types of management, functions, and characteristics of stands in Polish forests on the amount of coarse woody debris. *Eur J Forest Res* 133:1095–1107.

Barrientos, J. (1988). Bases para un curso practico de entomología. Barcelona: Asociación Española de Entomología.

B. Bird, S., Coulson, R., y Fisher, R. (2004). Changes in soil and litter arthropod abundance following tree harvesting and site preparation in a loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation. *Forest Ecology and Management* 202: 195–208.

Blanco, J., Imbert, B., y Castillo, F. (2006a). Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two *Pinus sylvestris* L. forests in the western Pyrenees. *Forest Ecology and Management* 237: 342–352.

Blanco, J., Imbert, J., y Castillo, F. (2006b). Effects of thinning on nutrient content pools in two *Pinus sylvestris* forests in the western Pyrenees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 143 - 150.

Blanco, J., Imbert, J., y Castillo, F. (2011). Thinning affects *Pinus sylvestris* needle decomposition rates and chemistry differently depending on site conditions. *Biogeochemistry* 106: 397–414.

Blanco, J., Zabala, M., Imbert, J., y Castillo, F. (2005). Sustainability of forest management practices: Evaluation through a simulation model of nutrient cycling. *Forest Ecology and Management* 213: 209 - 228.

Braccia, A., y Batzer, D. (1999). Invertebrates associated with coarse woody debris in streams, upland forests, and wetlands: A review. Institute of Ecology - The University of Georgia.

Brown, J. (1974). Handbook for inventorying downed woody material (Gen. Tech. Rep. INT - 16). Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.

Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116: 363–372.

Camousseight, A. (2008). Biodiversidad de Chile. Ministerio del Ambiente.

Carlson, D., y Groot, A. (1997). Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 87:313-329.

Carter, J. (2005). UC – Clermont College Biology. Recuperado el 20 de 07 de 2015, de <http://biology.clc.uc.edu/courses/bio303/ecotones.html>

- Corbet, G., y Southern, H. (1977). *The Handbook of British mammals*. Oxford: Blackwell.
- Davis, J., Goodwin, G., y Ockenfeles, R. (1983). Snag habitat management: Proceedings of the symposium. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Dudley, N., y Vallauri, D. (2004). Deadwood - living forests. WWF - World Wildlife Found.
- Evans, A., Perschel, R., y Kittler, B. (2010). Revised assessment of biomass harvesting and retention guidelines. The Forest Guild.
- Fager, E. (1968). The community of invertebrates in decaying oak wood. *J. Anim. Ecol.* 7:121-42.
- Forest Stewardship Council. (2013). Indicadores Genéricos Internacionales FSC. FSC International Center.
- Fridman, J., y Walheim, M. (2000). Amount, structure, and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest Ecology and Management* 131: 23 - 36.
- Fritts, S., Grodsky, S., Hazel, D., Homyack, J., Castleberry, S., y Morman, C. (2015). Quantifying multi-scale habitat use of woody biomass by southern toads. *Forest Ecology and Management* 346: 81–88.
- Fujimori, T. (2001). *Ecological and Silvicultural Strategies for Sustainable Forest Management*. Elsevier Science B.V.
- Gobierno de Navarra. (2015). Plan Forestal de Navarra. Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración local.
- Godfrey, A. (2003). A review of the invertebrate interest of coarse woody debris in England. *English Nature Research Reports*, report number 513.
- Golley, F., Petruszewicz, K., y Ryszkowski, L. (1975). *Small Mammals: Their Productivity and Population dynamics*. Cambridge University Press.
- González, G., y Seastedt, T. (2001). Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forest. *Ecology* 82: 955–964.
- Grimaldi, D., y Engel, M. (2004). *Evolution of the insects*. Cambridge University Press.
- Grodzinski, W. (1971). Energy flow through populations of small mammals in the Alaskan Taiga Forests. *Acta theriol.* 16: 231 - 275.
- Grodzinski, W., Bobek, B., Drozd, A., y Gorecki, A. (1970). Energy flow through small rodent populations in a beech forest. PWN - Polish Scientific Publ.

Hansson , L. (1971). Estimates of the productivity of small mammals in a South Swedish spruce plantation. *Ann. Zol. Fenn.* 8: 118 - 126.

Hanula, J. (1996). Relationship of Wood - Feeding Insects and Coarse Woody debris. USDA General Technical Report SE-94: 55-81.

Harmon. (1986). *Advances in Ecological Research*. USDA Forest Service for Official use.

Harmon, M., y Sexton, J. (1996). Guidelines for Measurements of Woody Debris in Forest Ecosystems. University of Washington 20: 73.

Harmon, M., Woodall , C., Fasth , B., y Sexton, J. (2008). Woody Detritus Density and Density Reduction Factors for Tree Species in the United States: A Synthesis. United States Department of Agriculture.

Herrero, C., Krankina, O., Monleon, V., y Bravo, F. (2014). Amount and distribution of coarse woody debris in pine ecosystems of north-western Spain, Russia and the United States. *iForest Biogeosciences and Forestry* 7: 53-60.

Herrick , S., Kovach, J., Padley, E., Wagner, C., y Zastrow, D. (2009). Wisconsin's forestland woody biomass harvesting guidelines. WI DNR Division of Forestry and Wisconsin Council on Forestry PUB-FR: 435-2009.

Hibbert, A. (2010). Importance of fallen coarse woody debris to the diversity of saproxylic diptera in the boreal mixedwood forests of eastern North America. Université du Québec à Montréal.

Hirit, O. (1999). Mediterranean forests: Ecological space and economic and community wealth. *Unasylyva* No. 197 - Mediterranean Forests Vol. 50.

Holzwarth, F., Kahl, A., Bauhus, J., y Wirth, C. (2013). Many ways to die – partitioning tree mortality dynamics in a near-natural mixed deciduous forest. *Journal of Ecology* Volume 101, Issue1: 220–230.

Horn, S., y Hanula, J. (2008). Relationship of Coarse Woody Debris to Arthropod Availability for Red-Cockaded Woodpeckers and Other Bark-Foraging Birds on Loblolly Pine Boles. *J. Entomol. Sci.* Vol. 43, No. 2.

Huhta, V., Siira-Pietikäinen, A., y Penttinen, R. (2012). Importance of dead wood for soil mite (Acarina) communities in boreal old-growth forests. *Soil Organisms* Volume 84 (3): 499–512.

III Plan Energético de Navarra horizonte 2020.(2015). La biomasa forestal en Navarra. Comisión mixta: Gobierno de Navarra, ADEMAN, Anafonca, CENER, Federación Navarra de Municipios y Concejos, Foresna Zurgala.

James, S. (2000). Earthworms (Annelida: Oligochaeta) of the Columbia River Basin Assessment Area. U.S. Department of Agriculture, General Technical Report PNW-GTR: 491.

- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorf, F., y otros. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?. *Geoderma* Volume 137: 253-516.
- Kentucky Division of Forestry. (2011). Recommendations for the harvesting of woody biomass. Kentucky Division of Forestry.
- Kirk, R. (1966). *The Olympic Rain Forest*. University of Washintong.
- Lambert, R., Lang, G., y Reiners, W. (1980). Loss of mass and chemical change in decaying boles of a subalpine balsam fir forest. *Ecology* Vol. 61, No. 6: 1460-1473.
- Lilly, V. (1965). Chemical constituents of the fungal cell. *The fungal cell*. 163 - 177.
- Lizotte, R. (2015). Desert Museum Arizona - Sonora. Recuperado el 28 de 07 de 2015, de [https://www.desertmuseum.org/books/nhsd\\_centipede.php](https://www.desertmuseum.org/books/nhsd_centipede.php)
- Lust, N., Geudens, G., y Olsthoorn, A. (2000). Scots pine in belgium and the netherlands. *Agr. Sist. Recur. For.*: n.º 1.
- Mackensen, J., Bauhus, J., y Webber, E. (2003). Decomposition rates of coarse woody debris - A review with particular emphasis on Australian tree species. *Australian Journal of Botany* 51: 27-37.
- Makinen, H., Hynynen, J., Siitonen, J., y Sievanen, R. (2006). Predicting the decomposition of scots pine, norway spruce, and birch stems in FiInland. *Ecological Applications* 16(5): 1865-1879.
- Marshall, P., Davis, G., y LeMay, V. (2000). *Forest Research Technical Report*. Vancouver. Forest Research Management Departament .
- Martin, M. (1987). *Invertebrate - microbial interactions*. Comstock Publishing Associates 148p.
- Martínez, C. (2015). Influencia de las claras forestales en la producción de restos leñosos en bosques de pino silvestre del Pirineo Navarro. Universidad Pública de Navarra.
- Meteorología y climatología de Navarra. (2015). Navarra.es. Recuperado el 27 de 08 de 2015, de <http://meteo.navarra.es/archivo/comentariosdelmes/>
- Millenium Ecosystem Assesment. (2005). *Ecosystem and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press.
- Minnesota Forest Resources Council. (2007). *Biomass harvesting guidelines for forestlands, brushlands, and open lands*. Minnesota Forest Resources Council.
- Moir, M., y Brennan, K. (2007). Using bugs (Hemiptera) as ecological and environmental indicators in forest ecosystems. En N. Verne, *Forest Ecology Research Horizons*. University of Melbourne Chaper 7: 203 - 237.



Moldenke, A. (2015). Natural Resources Conservation Service Soils - United States Department of Agriculture. Recuperado el 28 de 07 de 2015, de [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/?cid=nrcs142p2\\_053861](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/?cid=nrcs142p2_053861)

Montes, F., y Cañellas, I. (2005). Modelling coarse woody debris dynamics in even-aged Scots pine. *Forest Ecology and Management* 22: 220–232.

Morfin - Ríos, J., Jadel P., E., Alvarado, C., y Michel Fuentes, J. (2012). Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal - Universidad de Guadalajara.

Moroni, M., y Ryan, D. (2010). Deadwood abundance in recently harvested and old Nova Scotia hardwood forests. *Forestry* 83 (2): 219-227.

Nitterus, K., Astromb, M., y Gunnarssona, B. (2007). Commercial harvest of logging residue in clearcuts affects the diversity and community composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Scandinavian Journal of Forest Research*, Volume 22, Issue 3: 231 - 240.

Palacios Vargas, J. (2014). Biodiversity of Collembola (Hexapoda: Entognatha) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S220-S231.

Palacios, G. (2011). Los bosques en el País Vasco y el Cambio Climático. En el libro "Bosques del mundo, cambio climático y Amazonía".

Peck, R. (2005). Longer-Term Effects of Selective Thinning on Microarthropod Communities in a Late-Successional Coniferous Forest. *Environ. Entomol.* 34(3): 646- 655.

Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources. (2008). Harvesting woody biomass for energy. Harrisburg: Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources.

Peralta de Andres, J. (1995a). Mapa de Vegetación Potencial de Navarra 1:25.000. Recuperado el 25 de 06 de 2015, de [http://www.cfnavarra.es/agricultura/informacion\\_agraria/MapaCultivos/htm/sp\\_pinus\\_sylvestris.html](http://www.cfnavarra.es/agricultura/informacion_agraria/MapaCultivos/htm/sp_pinus_sylvestris.html)

Peralta de Andres, J. (1995b). Mapa de Vegetación Potencial de Navarra 1:25.000. Recuperado el 25 de 06 de 2015, de [http://www.cfnavarra.es/agricultura/informacion\\_agraria/MapaCultivos/htm/sp\\_fagus\\_sylvatica.htm](http://www.cfnavarra.es/agricultura/informacion_agraria/MapaCultivos/htm/sp_fagus_sylvatica.htm)

Peterson, R. T. (1961). A field guide to western birds. Houghton - Mifflin.

Primicia, I., Camarero, J., Imbert, J., y Castillo, F. (2013). Effects of thinning and canopy type on growth dynamics of *Pinus sylvestris*: inter-annual variations and intra-annual interactions with microclimate. *European Journal of Forest Research* 132:121-135.

Ramón de Lara, A., Castro, B., Castro, M., y Malpica, A. (2003). La importancia de los nematodos de vida libre. Xochimilco: Departamento El Hombre y su Ambiente. División de CBS UAM .

Raphael, M., y White, M. (1984). Use of snags by cavity - nesting birds in the Sierra Nevada. Wildl. Monogr.86: 66 pp.

Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., y Lopez-Senespleda, E. (2013). Do thinnings influence biomass and soil carbon stocks in Mediterranean maritime pinewoods?. Eur J Forest Res 132: 253–262.

Salazar Martínez, A., Accattoli , C., Martínez, P., y Schack , J. (2006). Nuevas citas de ácaros oribátidos (Acari: Oribatida) para la Argentina. Rev. Soc. Entomol. Argent. 65 (3-4): 19-22.

Savely, H. (1939). Ecological relations of certain animals in dead pine and oak logs . Ecol. Mono. 9: 322-385.

Siitonen, J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. Ecological Bulletin 49: 11–41.

Siitonen, J., Martikainen, P., Punntila , P., y Rauh, J. (2000). Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old - growth boreal mesic forests in Southern Finland. Forest Ecology and Management 128: 211 - 225.

Sousson , J., Shestra, B., y Uprety, L. (1995). The social dymanics of deforestation: a case study from Nepal. Parthenon.

Speight, M. (1989). Saproxylic invertebrates and their conservation. Nature and Environment Series 46.

Swift, M. (1977). The ecology of wood decomposition. Sci. Prog. 64: 175 - 199.

Swift, M., y Boddy, L. (1982). Animal microbial interactions in wood decomposition. Invertebrate Microbial Interactions. Cambridge University Press 89: 1- 13.

Thomas, J. (1979). Wildlife habitats in manage forests, the Blue Mountains of Oregon and Washington. USDA For. Ser. Agric. Handbook 553.

Truszkowski , J. (1974). Utilization of nest boxes by rodents. Acta Theriol. 19: 441 - 452.

United Nations. (2008). Non-legally binding instruments on all types of forests. Resolution adopted by the General Assembly 62/98.

Unzu Jabat, M. (2006). Influencia de la intensidad de clara, el tipo de dosel arbóreo y las hozaduras de jabalí, en la descomposición de hojarasca y colonización por mesofauna de un bosque mixto del pirineo navarro. Departamento de Ciencias del Medio Natural - Universidad Pública de Navarra.

Valladares, F. (2006). La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología*, N° 20: 11-30.

Waddell , K. (2002). Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. *Ecological Indicators* 1:139 - 153.

Ward, G. (2003). *Natural Areas: Coarse Woody Debris Management Strategy*. Park Urban Forestry and Environmental Services.

Wilcox, W. (1973). Degradation in relation to wood structure. *Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments* (D.D. Nicholas, ed.) 107- 147 pp. Syracuse Univeristy Press.

Woodall, C., Walters , B., Oswalt, S., Domke, G., Toney, C., y Gray, A. (2013). Biomass and carbon attributes of downed woody materials in forests of the United States. *Forest Ecology and Management* 305: 48–59.

Yi, H. (2003). *Response of Arthropods to different intensities of thinning in Oregon*. Oregon State University.