

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO NATRAL

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA DE ORGANISMOS Y SISTEMAS
ÁREA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN APLICADA

**EFEECTO DE LOS FACTORES EDÁFICOS EN LA CALIDAD DE
ESTACIÓN DE BOSQUES MIXTOS DE ASTURIAS**

AUTOR: Antonio Cañedo Azcona

TUTOR: Elías Afif Khouri

COTUTOR: Pedro Álvarez Álvarez

JULIO, 2022

RESUMEN

Los bosques complejos proporcionan múltiples servicios y garantizan una mejora respecto a los bosques monoespecíficos; el conocimiento del funcionamiento de este tipo de masas es, a día de hoy, especialmente relevante para consolidar el concepto de desarrollo sostenible.

Este trabajo deriva del proyecto de investigación europeo “Gestión integrada e inteligente de bosques complejos y plantaciones mixtas del SUDOE”, que está financiado a través de fondos FEDER.

El Índice de Forma (IF) -relación altura dominante y diámetro dominante- se adapta perfectamente a los bosques mixtos de edad desigual, por eso, calcular el IF en los bosques mixtos de Asturias, es uno de los objetivos de este estudio para determinar la calidad de estación en este tipo de bosques asturianos. Además, se analizaron las propiedades de los suelos en dichos bosques a diferentes profundidades y finalmente se estudió las posibles relaciones entre el índice de forma y las propiedades edáficas e hídricas de los suelos.

Los resultados revelan unas propiedades del suelo adecuadas en la mayoría de los horizontes, aunque éstos manifiestan una deficiencia de magnesio en los horizontes húmíferos y minerales. El índice de Forma determinó una buena calidad de estación en la mayoría de las parcelas exceptuando dos que están caracterizadas por una calidad intermedia-baja.

Las correlaciones del IF con las propiedades edáficas del suelo afirman que en el horizonte A, a mayor contenido de K, el IF aumenta, y, al contrario, a mayor contenido de Na, el IF muestra peor calidad de estación. En el horizonte B las relaciones Ca/Mg y C/N, están correlacionadas negativamente con el Índice de forma; sin embargo, el contenido de Mg y el N muestra una correlación positiva con el IF, es decir, a mayor contenido de Mg y N, mejora la calidad de estación.

Existen diferencias significativas entre el horizonte húmífero y el resto de los horizontes para los parámetros edáficos del suelo, ya que en el horizonte húmífero siempre hay un alto porcentaje de materia orgánica (MO). También se aprecia diferencias significativas entre los horizontes minerales (A y B) en el contenido de N, Ca, Mg, K y relación Ca/Mg.

En las regresiones lineales múltiples para predecir el comportamiento del IF en función de las variables edáficas de los horizontes húmíferos y minerales, es destacable afirmar que la relación K/Mg, es crítica para garantizar una buena calidad de estación. En los horizontes minerales, se destaca el porcentaje de materia orgánica también para garantizar una buena calidad de estación. En estos horizontes, el contenido de MO es excesivamente elevado, por lo que puede afectar negativamente a la calidad de estación.

AGRADECIMIENTOS

De todo corazón, debo agradecer primero a mi madre, la persona que más me quiere y a quien se lo debo todo, sin ella no habría sido posible, merecieron la pena todas las discusiones. A mis hermanas por su apoyo incondicional, sois las mejores. A mi familia y amigos.

A Elías Afif Khouri, director de mi proyecto, por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por su gran voluntad, por su cariño depositado en mí y por su ayuda inmediata siempre que acudí a su despacho. A El Bachir Baha, por ayudarme en los análisis de laboratorio y hacerlo todo más llevadero.

A los que decían o pensaban que no sería capaz.

A todos vosotros, gracias.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Bosque complejo	1
1.1.1. Bosque mixto	1
1.1.2. Bosque mixto vs Monocultivo.....	2
1.1.3. Servicios ecosistémicos en bosques mixtos.....	4
1.1.3.1. Tipos de servicios ecosistémicos.	5
1.2. Los suelos forestales	6
1.2.1. Estado nutricional de los ecosistemas forestales.....	12
1.2.2. Nutrición vegetal.....	15
1.2.3. Disponibilidad de nutrientes en bosques mixtos.....	17
1.3. Descripción general del área de estudio (Asturias)	18
1.3.1. Geología, litología y relieve.....	18
1.3.2. Hidrografía.....	20
1.3.3. Clima	22
1.3.3.1. Las precipitaciones.....	23
1.3.3.2. Las temperaturas	24
1.3.4. Vegetación.....	26
1.3.5. Fauna.....	31
1.3.6. Situación socioeconómica.....	32
1.4. El índice de forma y la calidad de estación	33
1.4.1. Definiciones y conceptos básicos	33
1.4.2. Importancia de la evaluación de la calidad de sitio.....	35
1.4.3. El índice de sitio vs índice de forma	35
1.4.4. El índice de forma	36
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	40
3. MATERIAL Y MÉTODOS	41
3.1. Área de estudio	41

3.1.1. Descripción general del medio físico.....	44
3.2. Toma de muestras y material de campo.....	45
3.2.1. Toma de muestras y su preparación.....	45
3.2.2. Equipos empleados.....	46
3.2.3. Análisis de laboratorio.....	47
3.2.4. Estimación del índice de Forma de cada parcela.....	49
3.2.5. Métodos estadísticos.....	51
3.2.5.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	51
3.2.5.2. ANALISIS DE CORRELACIÓN LINEAL.....	52
3.2.5.3. TEST DE TUKEY.....	52
3.2.5.4. REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE.....	53
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1. Análisis descriptivos de las propiedades del suelo.....	54
4.2. Correlaciones Pearson estadísticamente significativas entre índice de forma y las propiedades del suelo.....	77
4.3. Test de Tukey.....	77
4.4. Regresión lineal múltiple.....	79
5. CONCLUSIONES.....	82
6. BIBLIOGRAFÍA.....	83
7. ANEXO I.....	86
7.1. Protocolo del laboratorio.....	86
7.2. Tabla resultados analíticos.....	101
8. ANEXO II.....	103
8.1. Figuras relacionadas con los análisis edáficos en el laboratorio de Ingeniería agroforestal (Campus de Mieres).....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sección transversal de una “porción” de tierra través de un continente. El suelo es una capa muy delgada entre la atmósfera y la corteza terrestre (Plaster, 2000). 7

Figura 1.2 Componentes del suelo en volumen (Plaster, 2000)..... 8

Figura 1.3 Horizonte hipotético con todos los horizontes posibles (Honorato, 2000)..... 10

*Figura 1.4 Esquema de los horizontes del suelo, Fuente:
<https://sites.google.com/site/formaciondesuelo/horizonte-de-suelo> 10*

Figura 1.5 Representación gráfica del concepto de rotación ecológica. Relación entre la cantidad de nutrientes de un bosque y (A) la rotación de la clara, (B) la intensidad de la utilización y (C) las tasas de renovación de los nutrientes. Las líneas discontinuas indican las tendencias esperadas a largo plazo (Adaptado de Kimmins, 1996)..... 15

Figura 1.6 Relación entre el crecimiento de las plantas y los niveles de nutrientes en los tejidos vegetales siguen un patrón característico. El crecimiento aumenta con los niveles de concentración hasta un punto crítico (A). Más allá de este punto, el incremento de los niveles de los nutrientes ya no influye en un mayor crecimiento, pero permite un consumo excesivo o incluso la toxicidad (Landis, 1989). 17

Figura 1.7 Unidades geomorfológicas de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias 18

Figura 1.8 Cuencas hidrográficas de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias 22

Figura 1.9 Mapa de precipitaciones medias de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias..... 24

Figura 1.10 Temperaturas máximas y mínimas, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias 26

Figura 3.1: Localización del PN de Redes y sus puntos de inventario 41

Figura 3.2: Localización del PN de Fuentes de Narcea, Degaña e Ibias 42

Figura 3.3: Localización de la ZEC de Ancares 43

Figura 3.4 GPS Figura 3.5 Barrena helicoidal 47

Figura 4.1 La movilidad de los elementos en el suelo varía en función del pH..... 56

Figura 4.2: Diagrama triangular de clases texturales (USDA). 64

Figura 4.3: Curvas de índice de forma para los bosques mixtos. La línea discontinua, la línea verde oscuro, la línea verde claro y la línea naranja representan la media, el máximo, tercer cuartil y mínimo respectivamente. Los puntos de color azul corresponden a las parcelas de estudio. (Aguirre, y otros, 2022) 76

Figura 4.4 Diagrama de dispersión ecuación 1. Horizonte humífero..... 79

Figura 4.5 Diagrama de dispersión ecuación 2. Horizonte A..... 80

Figura 4.6 Diagrama de dispersión ecuación 3. Horizonte B..... 81

Figura 8.1: Secado de muestras, laboratorio ecología. Campus de Mieres. Septiembre 2021. 103

Figura 8.2 Preparación de las muestras para su posterior paso por laboratorio. Septiembre 2022..... 103

Figura 8.3 Preparación de las muestras para cálculo del pH y conductividad eléctrica. Octubre, 2021..... 104

Figura 8.4 Muestras a introducir en horno para determinar materia orgánica (%). Octubre, 2021. 104

Figura 8.5 Crisoles y horno-mufla. Octubre 2021 105

Figura 8.6 Espectrómetro y muestras. Noviembre 2021..... 105

Figura 8.7 Preparación de las muestras para determinación del nombre textural. Noviembre 2021..... 106

Figura 8.8 Determinación de la curva de absorbancia en el aparato de absorción atómica para cálculo de la capacidad de intercambio catiónica efectiva. Enero 2022 106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Elementos nutritivos en el suelo (Honorato, 2000).....	11
Tabla 1.2: Cuencas hidrográficas de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias	22
Tabla 1.3: Vegetación climáx de cada uno de los pisos en función del sustrato y de la humedad, (Calvo et al., 1997)	28
Tabla 1.4: Número de empleos por sectores en los concejos en los que hay parcelas de estudio en Asturias, SADEI.....	32
Tabla 3.1: Relación de las zonas de inventario en el PN de Redes	41
Tabla 3.2: Relación de zonas de inventario en el PN de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias.....	42
Tabla 3.3: Relación de zonas de inventario en la ZEC Ancares.....	43
Tabla 3.4: Profundidades de las muestras.....	46
Tabla 3.5: Diámetro de referencia (Dref, en cm), Modelo y parámetros seleccionados para cada especie (Aguirre et al., 2022)	50
Tabla 4.1: análisis descriptivos (media, mínimo, máximo y desviación estándar) de las propiedades del suelo para el horizonte humífero y Horizonte A	54
Tabla 4.2: Evaluación del pH y sus efectos	57
Tabla 4.3 Evaluación de los niveles orientativos de la CE (dS/m) en el suelo.....	58
Tabla 4.4: Evaluación de niveles de materia orgánica (%) en los suelos.....	59
Tabla 4.5 :Evaluación de los niveles de nitrógeno (%), Método Kjeldahl	60
Tabla 4.6: Distribución de la relación C/N en las parcelas objeto de estudio.....	61
Tabla 4.7: Niveles críticos del fosforo	62
Tabla 4.8: Nombre textural y proporción de arena, limo y arcilla para todos los horizontes.	65
Tabla 4.9: Valoración del contenido en Na (cmol (+) /kg).....	66
Tabla 4.10: Interpretación del contenido del Ca (cmol(+)/kg).....	66
Tabla 4.11: Interpretación del contenido de Mg (cmol(+)/kg).....	67
Tabla 4.12 Interpretación del potasio asimilable en suelos (E.U.I.T.A., Lugo, 1986).	68
Tabla 4.13:Valoración de la relación Ca/Mg	69
Tabla 4.14:Valoración de la relación Mg/K	70
Tabla 4.15:Interpretación de la CICE.....	72
Tabla 4.16:Descripción calidad de estación en función IF.....	76
Tabla 4.17: Correlaciones de Pearson entre el IF y los parámetros edáficos para el horizonte A. *: Significativo el nivel $P<0,05$; **: Significativo el nivel $P<0,01$; ***: Significativo el nivel $P<0,001$... 77	
Tabla 4.18: Correlaciones de Pearson entre el IF y los parámetros edáficos para el horizonte B. *: Significativo el nivel $P<0,05$; **: Significativo el nivel $P<0,01$; ***: Significativo el nivel $P<0,001$... 77	
Tabla 4.19: Diferencias significativas en la comparación de Tukey para los diferentes horizontes y las propiedades de los suelos	78
Tabla 7.1:Cálculo para determinar la curva de absorbancia	92
Tabla 7.2 Calculo para expresar el resultado del intercambio catiónico en meq/100	93

<i>Tabla 7.3 Cálculos para determinar la Pendiente</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 7.4: Calculo Pendiente Nitrógeno</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 7.5: resultados analíticos I.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 7.6: resultados analíticos II.....</i>	<i>102</i>

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Bosque complejo

Describiremos a continuación algunas características del bosque mixto a modo de introducción, que nos servirán como base, para posteriormente abordar el tema específico del proyecto.

1.1.1. Bosque mixto

A los bosques mixtos se les conoce como los ecosistemas en los que se alteran armónicamente los árboles frondosos, como el roble (de hojas anchas o planas), con los bosques de coníferas de pino (de hojas estrechas y hasta con forma de aguja).

Ruiz De La Torre (1990) define los bosques mixtos como “la formación vegetal característica de las etapas finales de la sucesión, los que poseen un nivel mayor de madurez.” Teniendo en cuenta que en estos ecosistemas hay dos o más especies que interaccionan para ocupar un espacio, estos bosques se relacionan con estados sucesionales cercanos al clímax, lo que implica gran estabilidad con perturbaciones de pequeña extensión (García Abril *et al.*, 1996), debido a la multitud de herramientas para adaptarse a perturbaciones y más si recibe un tratamiento silvícola natural adaptado a las características naturales del bosque con aclareos sucesivos uniformes si son de pequeña dimensión y entresaca pie a pie o por bosquetes pequeños.

Para comprender un bosque mixto hay que analizar su proceso sucesional, se trata de distinguir las fases diferenciadas, por ejemplo, la sucesión de unos tipos biológicos dominantes por otros: sucesión es el término que se refiere al proceso y serie es la secuencia de fases distinguibles por la composición de la vegetación lo largo de este proceso. La primera etapa se trata del bosque en cuestión. En condiciones naturales, sin intervención humana, el ciclo evolutivo del monte de especies tolerantes se compone de las siguientes fases, casi todas de gran duración:

- **Fase optima**, con una masa cerrada, uniforme, con árboles de grandes dimensiones, y edad avanzada.
- **Fase de envejecimiento**, que sucede a la anterior, con árboles de edad avanzadísima, escasísima regeneración de tolerantes en los pocos huecos que van dejando al morir los árboles más viejos. Las especies intolerantes han desaparecido prácticamente en esta fase.

- **Fase de destrucción**, en la que el arbolado extramaduro va desapareciendo, y en los numerosos huecos se inicia una abundante regeneración y progresa la de la fase anterior.
- **Fase de regeneración**, que consolida la regeneración iniciada en la fase anterior y la aumenta. Coexisten con estas masas jóvenes algunos individuos viejos.
- **Fase de masa irregular en equilibrio**, continuación de la anterior, en la que coexisten individuos de todas las especies, de todas las dimensiones y, consecuentemente, de todas las edades. Con el paso del tiempo, sin intervención humana y sin perturbación conduce a la primera de las fases, la óptima y se vuelve a iniciar el ciclo descrito.

El bosque mixto sano y funcional se coloca en la fase óptima, tratándose de masas cerradas con altura uniforme, aspecto regular, pocos pies jóvenes y sin pies débiles (estado vegetativo riguroso).

Los bosques mixtos aseguran las condiciones más favorables al mantenimiento de los grandes equilibrios biológicos, ya que todos los biotipos, unidos a las diversas clases, están siempre representados, esto permite al monte desempeñar de la mejor manera y de forma continua sus funciones de protección física, ya que las clases de edad poco (o nada) eficaces en el papel de protección están nunca excesivamente representadas. Además, limita los riesgos de destrucción que gravitan sobre el monte, ya que la vulnerabilidad de los árboles varía según su edad, asegurando una relativa permanencia de los paisajes y de las condiciones de uso social.

1.1.2. Bosque mixto vs Monocultivo.

La mezcla de especies puede incrementar la densidad del rodal, la tasa de crecimiento y por tanto la producción general del rodal. Se vio como los bosques mixtos tuvieron mayor producción que un monocultivo de abeto en un 8% y en un 47 % al monocultivo de haya (Vacek, y otros, 2021), por lo que con esta estructura de funcionamiento obtendremos una mayor variedad de servicios ecosistémicos gracias a una mayor diversificación de los bosques en términos de composición y estructura.

En las primeras investigaciones sobre la mezcla de especies (por ejemplo, Wiedeman, 1942) se desarrollaron modelos de crecimiento y dinámica de los bosques mixtos, pero la falta de conocimientos científicos no puso en marcha el establecimiento de este tipo de bosques. Esta investigación avanzó llegando a tener infinidad de experimentos acerca del funcionamiento de bosques mixtos.

Poco a poco los científicos se fueron acercando al movimiento llamado “cercano a la naturaleza” que se basa en el mantenimiento de la cobertura continua (abandono de la tala rasa), tala de árboles individuales, creación de rodales de especie mixtas, el cuidado prolongado de especies en crecimiento, la regeneración natural y la gestión cuidadosa de los suelos forestales; todo ello hace y posibilita a los bosques la capacidad de regeneración y autorregulación. El mantenimiento y promoción de bosques de especies mixtas estructuralmente diversos, puede considerarse como elemento principal al movimiento cercano a la naturaleza y hoy en día está fuertemente recomendado (Bauhus *et al.*, 2017).

Es relevante comentar que hasta hace poco este tipo de bosques no se estaba fijando en campo por la complejidad, dado las múltiples interacciones de las especies presentes, teniendo patrones diferentes de crecimiento y regeneración, la inclusión de especies de fauna asociadas y los distintos usos que puede presentar el bosque, además en el pasado primaba la función productora del monte (madera) con masas monoespecíficas regulares (García Abril *et al.*, 1996). El manejo forestal fue desafiado por realidades de contaminación y el cambio climático entre otras; se cambió la función productora por buscar y desarrollar bosques que brinden bienes y servicios ecosistémicos (valores ecológicos, paisajísticos, recreativos y productivos de los bosques).

Los rodales de especies mixtas irregulares son más resistentes, menos vulnerables y resilientes a los aspectos mencionados anteriormente, optimizando bienes y servicios, por ello adquirieron una importancia espectacular. En el estado alemán de Baden-wurttemberg la proporción de rodales monoespecíficos disminuyó del 53% en 1987 al 39% en 2012 (Bauhus *et al.*, 2017).

Estudios ecológicos demuestran que el balance económico de una masa irregular buscando calidad de madera, es más positivo que el de una masa regular equivalente. El criterio utilizado fue el aumento en el volumen de madera del tronco que se calculó a través de mediciones repetidas de diámetro, altura y forma del tronco.

Los árboles en bosques mixtos a menudo reciben mejor luz, nutrientes y agua del suelo a través de sus sistemas complementarios de corona y raíz. Esto hace que las masas mixtas sean más resistentes durante los años secos. Además, son masas estables contra plagas y visualmente más atractivos (Bauhus *et al.*, 2017).

1.1.3. Servicios ecosistémicos en bosques mixtos.

Como dice Caro-Caro *et al.* (2015) los bienes y servicios ambientales son esenciales en el funcionamiento de los ecosistemas, para proporcionar aspectos primarios como producción de alimentos y bienestar humano; una manera de optimizar lo mencionado anteriormente es a través de una gestión forestal de estos servicios, que en definitiva puede alterar la calidad o cantidad de ellos mismos, lo que lleva a la importancia de gestionar sus efectos en el tiempo y espacialmente.

Una gestión forestal sostenible permite mantener aspectos de valor significativo como puede ser biodiversidad, vitalidad, productividad, capacidad de regeneración y potencialidad con el objetivo de preservar en el presente y futuro las funciones ecológicas, sociales y económicas en el ámbito local, regional y global sin producir daños a otros ecosistemas (Caro-caro *et al.*, 2015). Por lo que es fundamental conocer la importancia económica y localización espacial de estos servicios para poder gestionar y planificar las intervenciones.

Existen múltiples definiciones para el concepto de servicios ecosistémicos de múltiples autores. Todo parte de la base de la importancia de los recursos naturales gracias al trabajo de Malthus, "A summary view of the principle of population". Autores como Gretchen Dayly - científica ambiental (Bióloga de la conservación) estadounidense - están de acuerdo que los servicios ecosistémicos corresponden a las funciones ecológicas de los ecosistemas y las especies que forman parte de ellos ayudan a sostener la vida humana. Estos conceptos evolucionan a la par que la ecología, así que recientemente y en contexto global se define este concepto como "los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad". Hubo autores que se alejan de la definición anterior, ya que manifiestan que los servicios ecosistémicos no son los beneficios que el hombre obtiene de los ecosistemas, sino los componentes ecológicos directamente consumidos o disfrutados para conseguir bienestar humano, y que los procesos indirectos y funciones no son servicios ecosistémicos (Caro-Caro y Torres-Mora, 2015).

Todos los autores están de acuerdo que los servicios ecosistémicos cumplen con funciones básicas que apoyan la vida en la tierra y brindan beneficios. También están de acuerdo que al escasear los recursos ecosistémicos y hacerse limitado el acceso a los mismos a causa de la amenaza de la biodiversidad, se hace necesario pensar en la gestión de los servicios ecosistémicos para el bienestar humano (Cardona Trujillo, 2011).

Balvanera y Cotler (2007) insisten en que la investigación de los servicios ecosistémicos, es pieza clave en la sociedad actual, primero por la incidencia del cambio climático en las especies y los ecosistemas, y la evolución de este ciclo a condiciones ambientales previsiblemente diferentes a las manifestadas en las últimas décadas; y en segundo lugar, por los importantes cambios socioculturales y económicos de la sociedad y su fuerte incidencia en la explotación y gestión de los recursos naturales, y en los cambios de uso del suelo y del paisaje.

Los bosques mixtos, sanos o funcionales garantizan bienes y servicios a la sociedad rural y urbana. Promover este tipo de bosques complejos y plantaciones pluriespecíficas es una alternativa resiliente y adaptativa a amenazas como el cambio global y la disminución de la biodiversidad. Los bosques anteriormente mencionados incrementan, y en muchas ocasiones mejoran, las opciones de servicios ecosistémicos que se obtienen de otros sistemas forestales más simplificados.

La aparición del COVID-19, nos hizo darnos cuenta de la importancia de una gestión sostenible, esto se potencia al incrementar el retorno de las zonas rurales, por lo que despierta una atracción hacia los bosques complejos proporcionando turismo en dichas áreas (Ruíz Luna y Camacho Valdéz, 2011). La pérdida de biodiversidad y simplificación de los ecosistemas suponen graves problemas que posibilitan el avance de eventos catastróficos como incendios forestales o transmisión de enfermedades potencialmente peligrosas, por ello cuando disminuyen las opciones de respuesta de los bosques ante este tipo de eventos hay una mayor probabilidad de pérdida de superficie forestal y disminución de servicios ambientales.

1.1.3.1. Tipos de servicios ecosistémicos.

Según Camacho *et al.* (2012), es muy importante clasificar los servicios ecosistémicos para comparar diversos niveles en lo relativo a la gestión. La clasificación debe de ser clara e implacable, dado que existen múltiples clasificaciones de los servicios ecosistémicos y su aplicación dependerá del propósito de aplicación o de las características de los ecosistemas.

De acuerdo con la definición usada en la actualidad de los servicios ecosistémicos, que afirma estos servicios como “los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas”, existen cuatro tipos de servicios: de aprovisionamiento o bienes, de regulación, culturales y de soporte.

Conviene conocer las ventajas y desventajas de estas clasificaciones (Caro-Caro y Torres-Mora, 2015), para valorar los servicios ecosistémicos en los términos que la sociedad requiere. En las siguientes líneas se describen los servicios mencionados anteriormente.

Los servicios de aprovisionamiento son aquellos que nos brindan recursos gracias a los ecosistemas tales como agua, recursos forestales, alimentos... Los servicios de regulación surgen tras afectar a la regulación de los procesos ecosistémicos logrando beneficios que inciden en el clima, las inundaciones, la calidad del agua... Los servicios culturales se refieren a aspectos intangibles obtenidos de los ecosistemas como puede ser el enriquecimiento espiritual, las experiencias estéticas, educación... Y los servicios de soporte son aquellos que son necesarios para la producción de otros servicios de los ecosistemas como la formación de suelos, producción primaria, reciclaje de nutrientes.

El foco de atención se posiciona principalmente en todos los servicios ecosistémicos mencionados anteriormente, esto es causa de la necesidad de brindar sostenibilidad, aspecto que se reforzó hoy en día, que nos hizo darnos cuenta de que gestionar los recursos de manera equilibrada tiene infinidad de beneficios. Por lo cual, para optimizar los recursos ecosistémicos hay que basarse en obtener la mayor cantidad de beneficios, sin perjudicar o dañar el medio. Para ello hay que pensar en todos los servicios.

1.2. Los suelos forestales

El suelo es una capa en ocasiones muy frágil y delgada, cuyo material es esencial para el soporte de la vida. La tierra se compone de la litosfera (parte sólida) formada por núcleo, manto y corteza (figura 1.1).

La corteza es más gruesa donde existen los continentes, pero la mayor parte está cubierta por el mar; la atmósfera cuenta con 273 kilómetros de espesor y la corteza continental, hecha de roca, unos 80 kilómetros de grosor.

El suelo es el sustento vital de multitud de especies vegetales y animales, ya que resulta de la interacción de dos mundos diferentes, la litosfera y la atmósfera, por un lado, y la biosfera por el otro y en definitiva la descomposición de la roca madre por factores climáticos y por la acción de los seres vivos tiene una fracción biológica y otra mineral.

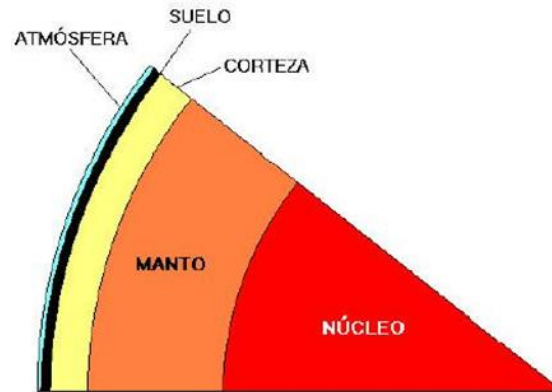


Figura 1.1 Sección transversal de una “porción” de tierra través de un continente. El suelo es una capa muy delgada entre la atmósfera y la corteza terrestre (Plaster, 2000).

El suelo es el sustento vital de multitud de especies vegetales y animales, ya que resulta de la interacción de dos mundos diferentes, la litosfera y la atmósfera, por un lado, y la biosfera por el otro y en definitiva la descomposición de la roca madre por factores climáticos y por la acción de los seres vivos tiene una fracción biológica y otra mineral. “Atmósfera, corteza y suelo interactúan para proporcionar a plantas y animales los recursos que necesitan. Los seres vivos necesitan una temperatura adecuada, oxígeno, agua, carbono y otros nutrientes. Estos factores se intercambian en el suelo normalmente a través de ciclos que permiten a los elementos reciclarse” (Plaster, 2000).

El suelo puede tener varias acepciones en función de la utilización que de él se pretende. Así pues, se define según sus características geotérmicas desde un punto de vista como soporte urbano o industrial, y por otro lado es considerado edafológicamente cuando se trata como soporte para la actividad agraria y el desarrollo de la vida.

El significado tradicional del suelo es como el medio natural ha desarrollado horizontes diferenciables para establecer el crecimiento de las plantas terrestres. Por ello, el suelo tiene un espesor determinado debido a la profundidad radicular de las plantas, por lo que el suelo no es estable, depende de las actuaciones de los seres vivos y del clima sobre la superficie terrestre a lo largo del tiempo.

Especialistas de la materia están de acuerdo en que el suelo sólo comprende los primeros 20-25 centímetros de profundidad, es decir, la capa arable o cultivable del mismo, la que está influenciada por el sistema radicular de las plantas.

Los factores que definen las características del suelo son: los organismos, el clima, la naturaleza del material parental, el tiempo al cual ha sido sometido el material parental a la formación de suelo, y la topografía de la zona. Por eso el suelo a veces se define como “un cuerpo natural dinámico y que tiene propiedades derivadas de la combinación del clima y de actividades bióticas, como también influenciado por la topografía, participación del material parental en un período de tiempo definido” (Brady, 1984).

El suelo se basa en un sistema de tres fases (componentes): sólida, líquida y gaseosa; dependiendo de las condiciones de formación, los suelos presentan diferentes proporciones de estos componentes. En la figura 1.2 se representa como referencia, la distribución de los componentes de un suelo mineral.

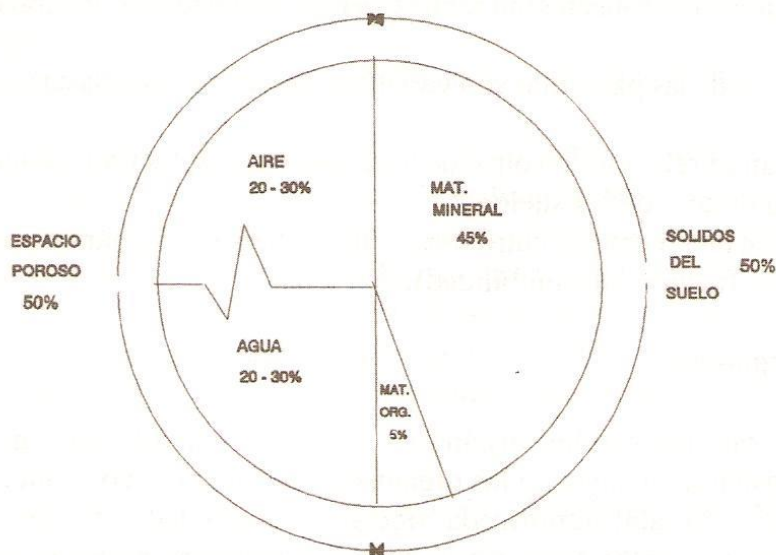


Figura 1.2 Componentes del suelo en volumen (Plaster, 2000)

Estos componentes se encuentran interrelacionados, de manera que la organización de los componentes sólidos entre sí, determinan la cantidad de espacio poroso destinado al aire y al agua. La proporción de agua y de aire está sujeta a grandes fluctuaciones, dentro de un mismo suelo, por influencia del clima y de su manejo. El suelo presenta una serie de capas más o menos diferenciadas denominadas horizontes, los cuales difieren unos de otros en cuanto a sus propiedades físicas y químicas. La disposición vertical de los horizontes de un suelo se llama horizonte del suelo.

Los horizontes muestran diferentes horizontes y espesores de acuerdo con su localización geográfica y al tiempo de formación. Existe una serie de horizontes principales, los cuales se designan mediante una letra mayúscula (figura 1.3):

H Se trata de un horizonte orgánico. Está formado por acumulación in situ de materia orgánica en superficie, en un medio saturado de agua durante periodos prolongados.

O Consiste en un horizonte orgánico de un suelo mineral que se forma en la parte superior del suelo en condiciones predominantemente aeróbicas. Contiene más del 20% de materia orgánica. Es un horizonte típico de los suelos de bosque.

A Es un horizonte mineral donde se acumula la materia orgánica lo que supone el oscurecimiento del horizonte. Con el tiempo esta capa va perdiendo elementos por eluviación (transporte físico de las partículas insolubles del suelo por el agua, desde los horizontes superiores hacia horizontes inferiores). Proporciona el mejor entorno para el crecimiento de las raíces de las plantas.

E Horizonte mineral que presenta la eluviación máxima del suelo (color claro). Los materiales eluviados son unos o varios de los siguientes: hierro, aluminio o arcilla, quedando por tanteo un enriquecimiento en arenas y limos. Suele ser habitual en algunos suelos ácidos.

B Se trata de un horizonte iluvial o de acumulación de las sustancias lixiviadas y transportadas desde los horizontes superiores. Presenta una cantidad de materia orgánica inferior a la de las capas superficiales y a menudo tiene más arcilla.

C Es un horizonte mineral no consolidado. Está formado por material suelto cuyas características son muy próximas a las del material orgánico o parental.

R Roca consolidada subyacente que impide el paso de raíces.

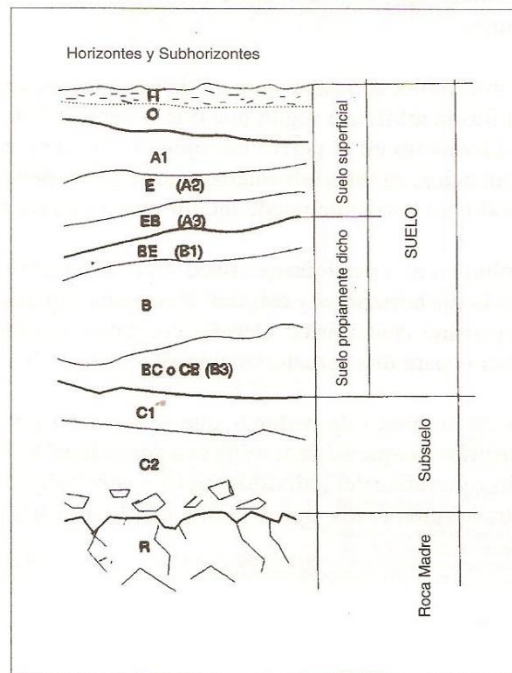


Figura 1.3 Horizonte hipotético con todos los horizontes posibles (Honorato, 2000)

Con el paso del tiempo los suelos envejecen y se van desarrollando nuevos horizontes de transición, que se sitúan entre los horizontes principales, identificando estos mediante la combinación de las dos letras principales de los horizontes afectados. Así, por ejemplo, un horizonte AB, se sitúa entre el horizonte A y el horizonte B. Estas capas poseen propiedades intermedias, aunque se antepone la letra del horizonte dominante, es decir, siguiendo con el ejemplo anterior, se trataría de un horizonte de transición, pero con propiedades más parecidas a un horizonte A (Porta *et al.*, 1999).



Figura 1.4 Esquema de los horizontes del suelo, Fuente: <https://sites.google.com/site/formaciondesuelo/horizonte-de-suelo>

Para definir los suelos forestales se precisa una aproximación ecológica sobre un ecosistema particular con una cubierta vegetal con propiedades distintas a las de los otros suelos, que están asociadas a un microclima, al reciclaje de los elementos, a una población microbiana específica y a la formación de ácidos orgánicos procedentes de la descomposición de la materia orgánica, que a su vez van a afectar al movimiento de los metales del suelo (Honorato, 2000).

Tabla 1.1: Elementos nutritivos en el suelo (Honorato, 2000)

Elementos	Forma iónica	Fuente más importante	Contenido normal
Mayores			
N	NO ₃ – NH ₄ ⁺	M.O.N ₂ atmosférico	0.03-0.3%
P	HPO ₄ – HPO ₄ ⁻	Fosfatos de Ca Al y Fe	0.01-0.1%
S	SO ₄ ⁻	Sulfuro de Fe, Sulfato de Fe	0.01-0.1%
K	K ⁺	Micas, illita, feldespato KO.	2.0-3.0%
Ca	Ca ⁺⁺	Feldespato Ca, CO ₃ , CaSO ₄	0.2-1.5%
Mg	Mg ⁺⁺	Augita, Biotita, MgCO ₃	0.1-1.0%
Menores			
B	H ₂ BO ₃ – HBO – B(OH) ₄	Turmalinas, silicatos	0.5-100 ppm
Mo	MoO ₄ ⁻	Silicatos, óxidos e hidróxidos de Fe y Al	0.5-5 ppm
Cl	Cl ⁻	Cloruros	50-1000ppm
Fe	Fe ⁺⁺ Fe ⁺⁺⁺	Óxido e hidróxido de Fe y otros minerales	0.4-4.0%
Mn	Mn ⁺⁺ Mn ⁺⁺⁺	Manganita, silicatos	200-4000 ppm
Zn	Zn ⁺⁺	Fosfato de Zn, ZnCO ₃ , silicatos	10-300 ppm
Cu	Cu ⁺⁺ Cu ⁺	Sulfato, sulfuro de Cu, silicatos	5-100 ppm

Lo que distingue los suelos forestales de otros suelos son los elementos orgánicos con diferentes estados de descomposición sobre la superficie del suelo mineral, junto con los microorganismos asociados, influyendo notablemente en el reciclaje de nutrientes, en la producción de ácidos orgánicos y lixiviación de bases, en las condiciones de humedad y temperatura del horizonte y en la protección del suelo contra la erosión.

El desarrollo del piso forestal resultante del aporte periódico de hojas, ramas, ramillas, corteza, frutos e incluso árboles enteros es característico de los ecosistemas forestales.

Estos componentes orgánicos contienen una cantidad significativa de nutrientes extraídos del suelo, que se liberan como consecuencia de su descomposición, estableciéndose así un ciclo de nutrientes. En la actividad forestal, a diferencia de la actividad agrícola se extraen comparativamente cantidades relativamente bajas de nutrientes, dados los largos periodos de tiempos de cosecha, y siendo la madera, además, bastante pobre en nutrientes. La cantidad de nutrientes varía considerablemente de un sitio a otro, por lo cual las cantidades de elementos procedentes de la descomposición del piso orgánico también son variables pero significativas para la nutrición del rodal (Honorato, 2000).

1.2.1. Estado nutricional de los ecosistemas forestales.

La relación entre las propiedades del suelo y el estado nutricional de las especies vegetales depende en gran medida de factores como el clima y las prácticas de manejo. Así pues, de forma general, es el nitrógeno el elemento más limitante en los ecosistemas templados (Attiwill y Adams, 1993). Un estudio del estado nutricional nos proporcionará información acerca de la evolución futura de nuestras masas, de aquí su gran importancia, puesto que los contenidos de los diferentes nutrientes afectan de manera sustancial a gran número de procesos tales como, la tasa de absorción de CO₂, respiración, transpiración, contenidos en carbohidratos, síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, reguladores de crecimiento, crecimiento radical, etc.

También hay que tener en cuenta que los requerimientos nutricionales varían según la especie considerada. Por ejemplo, las coníferas suelen estar en sitios menos fértiles, con baja disponibilidad de fósforo, que suelen compensar con una eficiente utilización de este elemento dentro del ecosistema (Ballard, 1980).

El estado nutritivo afecta de manera determinante a la resistencia al estrés y a las enfermedades, estando así muchos procesos fisiológicos, entre otros, influenciados por este factor.

A la hora de mantener la productividad de los sistemas forestales resulta fundamental conservar el capital de nutrientes del suelo, aspecto que depende fundamentalmente de la existencia de balances positivos entre las entradas y las salidas de nutrientes en el sistema (Jorgensen *et al.*, 1975).

La cuantificación del estado nutritivo se valora mediante la realización de inventarios nutricionales en los que se cuantifican las cantidades de elementos contenidos en las diferentes partes del sistema (suelo y diferentes fracciones de biomasa aérea).

Desde el punto de vista nutricional, un sistema forestal se considerará estable cuando las entradas de elementos sean superiores a las salidas de éstos (Ranger y Turpault, 1999).

La dinámica de los nutrientes minerales en los ecosistemas es una de las funciones fundamentales del metabolismo vegetal y determina en gran medida la productividad y las respuestas de las plantas a los cambios en los factores ambientales.

La escasez de nutrientes minerales limita la producción vegetal en los ambientes forestales. En condiciones naturales la cantidad de nutrientes disponible es siempre limitada y las adiciones externas son escasas, por lo que las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y maximizar la eficiencia en el uso de los nutrientes para conseguir una máxima producción de biomasa.

En los últimos tiempos, gracias a las fertilizaciones se ha conseguido aumentar la disponibilidad de algunos elementos. En ambientes menos afectados por las adiciones antropogénicas, otros factores, tales como la temperatura, la disponibilidad de agua en el suelo o la concentración atmosférica de dióxido de carbono, limitan también la producción vegetal y reducen las necesidades de nutrientes, reduciendo así la importancia de los nutrientes como factores limitantes. Sin embargo, si alguno de estos factores disminuyese debido a la actividad humana, los nutrientes podrían adquirir un carácter más limitante.

El ciclo de nutrientes o ciclo biogeoquímico en un bosque envuelve un complejo grupo de mecanismos directos e indirectos, los cuales interactúan retroactivamente entre el suelo y la vegetación. Un bosque constituye un sistema abierto con elementos químicos entrando y saliendo de él, o moviéndose internamente dentro del mismo.

En general los nutrientes entran al ecosistema con la lluvia, la fijación de elementos por microorganismos y por meteorización de rocas.

Los nutrientes permanecen almacenados en la vegetación, constituyendo así la mayor reserva de nutrientes del ecosistema.

Posteriormente los nutrientes se mueven hacia el suelo por medio de dos mecanismos: La caída de hojas y los flujos de agua de lluvia (las precipitaciones fluyen a través del dosel arbóreo y de los troncos enriqueciéndose en nutrientes al entrar en contacto con ambos).

Otra proporción de nutrientes se encuentra almacenada en forma de materia orgánica muerta (árboles caídos, hojarasca), a partir de la cual son gradualmente liberados por medio de la descomposición. Cuando el agua de lluvia atraviesa esta capa de materia orgánica, arrastra los nutrientes hasta el complejo de intercambio del suelo, donde son posteriormente absorbidos por las raíces. A su vez, las raíces liberan nutrientes al suelo mediante secreciones y por la muerte y descomposición de sus partes. Finalmente, los nutrientes salen del ecosistema a través de la erosión de la superficie, los incendios forestales, la escorrentía superficial y fenómenos de lixiviación (pérdida de nutrientes por lavado) (Tellez, 2002).

Las explotaciones forestales alteran estos ciclos, aumentando considerablemente la pérdida de nutrientes de los ecosistemas y por tanto su fertilidad. Si se realizan talas y extracciones de árboles con mayor frecuencia al periodo de tiempo necesario para la recuperación de los nutrientes perdidos, el ecosistema sufrirá una pérdida neta de nutrientes. Sin embargo, extraer solamente los troncos más grandes en intervalos poco frecuentes y con largas rotaciones, supondrá extraer únicamente una pequeña proporción de los nutrientes de la zona. De forma que las pérdidas puedan ser reemplazadas antes de la siguiente extracción, por entradas naturales de nutrientes al sistema. Sin embargo, esta situación cambia con una explotación intensiva del bosque.

Las rotaciones más cortas, las claras intermedias y el uso intensivo de la biomasa forestal (tronco, ramas y hojas) incrementan rápidamente la salida de nutrientes del ecosistema y puede resultar en una reducción neta a largo plazo del total de nutrientes existentes en el bosque, perdiendo potencial productivo y degradándose (Kimmins, 1996). Para que esto no ocurra entre cortas debe transcurrir un tiempo mínimo para que el ecosistema se recupere y que se conoce como rotación ecológica (figura 1.5).

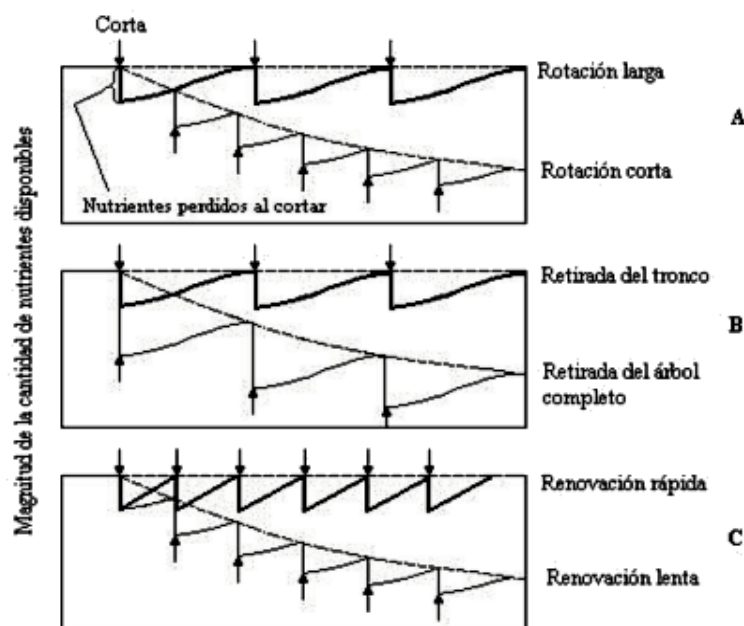


Figura 1.5 Representación gráfica del concepto de rotación ecológica. Relación entre la cantidad de nutrientes de un bosque y (A) la rotación de la clara, (B) la intensidad de la utilización y (C) las tasas de renovación de los nutrientes. Las líneas discontinuas indican las tendencias esperadas a largo plazo (Adaptado de Kimmins, 1996).

Frente a esta forma de determinar la rotación de un bosque, suelen imponerse otras como la rotación técnica (período necesario para producir un tamaño de tronco requerido), la rotación económica (período en el que el retorno anual de capital se maximiza) o la rotación de volumen máximo (período de tiempo en el cual se maximiza el incremento anual medio del volumen de fuste). Para llevar a cabo una explotación sostenible debe tenerse en cuenta el período de rotación ecológica como el mínimo a considerar, ya que es el único que garantiza que la explotación del bosque pueda mantenerse a largo plazo. Este concepto de tiempo que necesita el bosque para recuperar el estado anterior al de la perturbación es válido tanto para las cortas finales, cuyo objetivo es la producción comercial de madera, como para las actuaciones intermedias que buscan la mejora de la calidad de ésta, como es el caso de la práctica de claras.

1.2.2. Nutrición vegetal.

La nutrición mineral influye notablemente en la calidad y cantidad del crecimiento en plantas de especies forestales. Existen una serie de elementos como el nitrógeno, el azufre y el fósforo, entre otros, los cuales son esenciales para el desarrollo de las plantas (Marschner, 1986). Ante la carencia de estos nutrientes esenciales, la planta sería incapaz de completar todas sus funciones vitales.

De los trece elementos esenciales, seis se clasifican como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) los cuales son usados por las plantas en cantidades relativamente grandes, y en siete micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo), que son requeridos en muy pequeñas cantidades.

Los macronutrientes son constituyentes de compuestos orgánicos, como las proteínas y los ácidos nucleicos, o actúan en la regulación osmótica, y por lo tanto se encuentran en cantidades relativamente grandes en los tejidos vegetales. Los micronutrientes, por el contrario, son constituyentes de enzimas y se encuentran en proporciones relativamente pequeñas en los tejidos vegetales (Landis, 1989).

Existe una relación característica entre la concentración de un ion nutriente en el tejido vegetal y su crecimiento (figura 1.6). Cuando un nutriente está presente en bajas concentraciones en el tejido vegetal, se dice que es deficiente, limitando así el crecimiento. En el extremo inferior de este intervalo de deficiencia, la planta con frecuencia muestra ciertas anomalías visibles. Tales síntomas son característicos de la deficiencia de un nutriente específico. Ante pequeños incrementos de las concentraciones en el tejido, el nutriente es aún lo suficientemente deficiente como para limitar el crecimiento de las plantas, pero no tanto como para producir síntomas de deficiencia. Esta condición se denomina “necesidad oculta” porque, aunque el crecimiento de la planta es reducido, la deficiencia nutricional es difícil de diagnosticar a simple vista. Los análisis de nutrientes en las plantas con frecuencia son útiles para identificar esta condición (Landis, 1989).

Cuando la disponibilidad de nutrientes minerales no es limitante, el crecimiento de las plantas alcanza un comportamiento constante, llamado “intervalo óptimo”. El ancho de este intervalo varía entre diferentes nutrientes, pero es en él donde se maximiza el crecimiento. Cuando los nutrientes minerales están presentes en el medio de crecimiento en cantidades excesivas, las plantas pueden continuar tomando esos nutrientes, aunque no exista ya un incremento sustancial del crecimiento. Esta condición se denomina “consumo en exceso” (Landis, 1989).

Cuando las concentraciones de nutrientes en el tejido de las plantas alcanzan niveles extremadamente elevados, puede tener lugar una toxicidad nutricional, el cual puede provocar una disminución en el crecimiento de la planta. En casos extremos, las concentraciones excesivas de nutrientes pueden causar incluso la muerte.

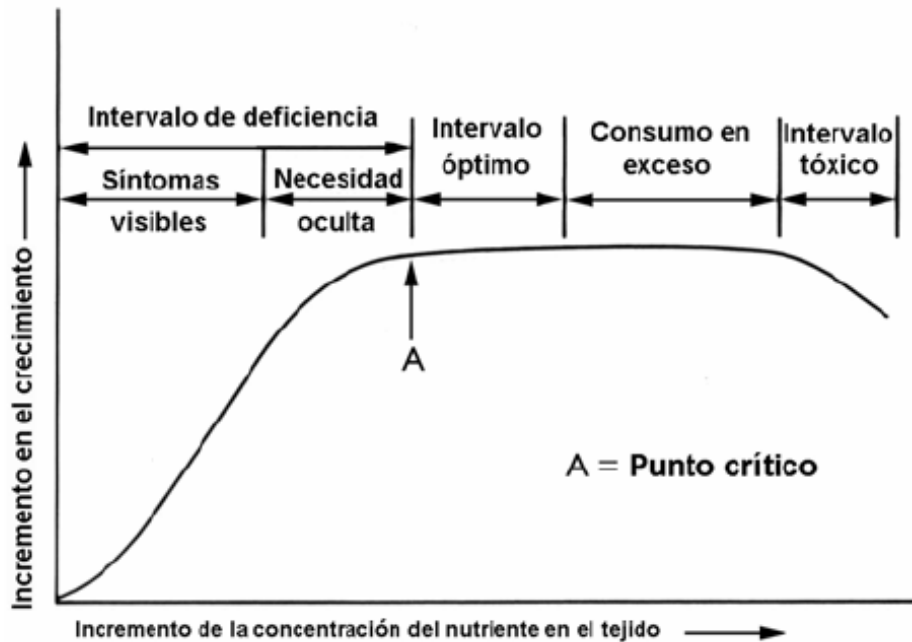


Figura 1.6 Relación entre el crecimiento de las plantas y los niveles de nutrientes en los tejidos vegetales siguen un patrón característico. El crecimiento aumenta con los niveles de concentración hasta un punto crítico (A). Más allá de este punto, el incremento de los niveles de los nutrientes ya no influye en un mayor crecimiento, pero permite un consumo excesivo o incluso la toxicidad (Landis, 1989).

1.2.3. Disponibilidad de nutrientes en bosques mixtos

La disponibilidad de nutrientes puede aumentar cuando aumenta el tamaño de las reservas de nutrientes, por ejemplo, a través de la fijación de Nitrógeno, y también aumenta cuando está disponible una mayor proporción de reservas de nutrientes en los árboles (por ejemplo, una mineralización más rápida). La absorción de nutrientes puede aumentar cuando hay diferencias espaciales, químicas o temporales en la absorción de nutrientes.

Combinando una especie tolerante a la sombra que es capaz de interceptar mucha luz, con una especie muy eficiente en el uso de la luz, podría dar como resultado mezclas que absorben más luz que los monocultivos de las especies menos tolerantes a la sombra y que atrapen eficientemente más luz que las especies tolerantes a la sombra. Estas interacciones hacen que aumente el crecimiento de los árboles, y probablemente el área foliar. Además, a medida que los bosques mixtos son más productivos que los monocultivos, estos usan más agua y tienen una mayor eficiencia en su uso (Bauhus *et al.*, 2017).

1.3. Descripción general del área de estudio (Asturias)

1.3.1. Geología, litología y relieve.

Como resultado de la historia geológica, existe una gran variedad en las características del relieve, el sustrato y los suelos de Asturias. Estos aspectos derivados de la geología tienen una gran importancia en la definición del paisaje y los ecosistemas regionales.

Para realizar una división de Asturias en unidades geomorfológicas que representen adecuadamente esta diversidad deben considerarse simultáneamente las divisiones realizadas en el sustrato de la región (unidades establecidas por su similitud estructural y estratigráfica) y a los grandes sistemas de modelado que han prevalecido en la configuración del relieve.

En relación con el sustrato pueden distinguir, en una aproximación muy simple, las subregiones Occidental, Central, Oriental y el Sector correspondiente a la Cobertera Mesozoico-Terciaria. Las tres subregiones pueden dividirse a su vez con criterios geomorfológicos en áreas modeladas en un ámbito marino, pluvial y glaciar. Pueden destacarse finalmente algunos macizos aislados de origen kárstico o áreas en las que se preservan paleorrelieves continentales poco modificados.

La aplicación de los criterios mencionados permite establecer en Asturias las unidades geomorfológicas representadas en la figura 1.7.

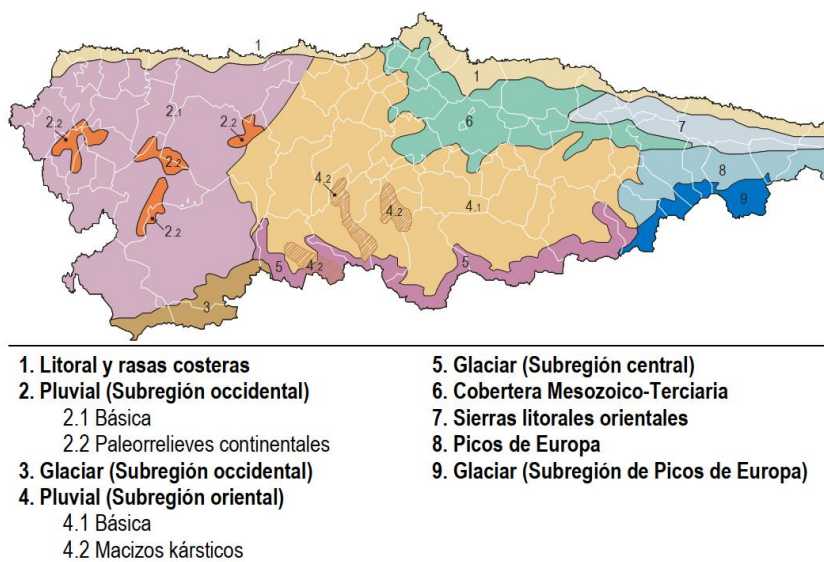


Figura 1.7 Unidades geomorfológicas de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias

Las parcelas de estudio se encuentran en el sector 4: unidad pluvial (subregión oriental), en mayor medida en el sector 3: Unidad glaciaria (subregión occidental), en el sector 2: pluvial (subregión occidental) y en el sector 5: Glaciaria (Subregión central). A continuación, se detallan brevemente las características geológicas, litológicas y el relieve de dichas unidades sobre las que se asientan los bosques mixtos en Asturias.

- Sector 2: Pluvial (subregión occidental)

Se trata de la unidad que ocupa la mayor parte del occidente de la región, presentando un relieve abrupto, con valles fluviales fuertemente encajados y cordales destacados que coinciden con tramos cuarcíticos más resistentes de la sucesión paleozoica. En el sector más oriental de esta unidad, entre Tineo y Salas, se reconocen extensas áreas con relieve llano, que conservan ocasionalmente depósitos de edad terciaria. La cubierta edáfica es más continua y profunda en las zonas bajas, donde los valles fluviales se muestran más anchos y presentan depósitos aluviales en su fondo.

Además de los terrenos casi llanos de Salas y Tineo, existen numerosos altorrelieves menores que no se han identificado en el mapa de sectorización geológica, la existencia de estos relieves es responsable de la suave pendiente que muestran muchas zonas elevadas en toda la unidad occidental. Por ello, muchos pueblos tienden a situarse en suaves crestas que contrastan con los angostos fondos de valle.

- Sector 3: Unidad glaciaria (subregión occidental)

Las características más importantes del relieve actual de las áreas más elevadas de la cordillera Cantábrica se deben a la actuación de los sistemas glaciares desarrollados durante el Cuaternario. Esta subregión es prácticamente silíceo en su totalidad, las zonas glaciadas muestran con mucha nitidez las formas y depósitos originados por el glaciario. Se encuentran asimismo depósitos y abundantes formas periglaciares y nivales, con abundante presencia de canchales, campos de bloques, glaciares rocosos, etc. Los suelos son delgados y pobres de forma que solo son explotables los desarrollados sobre las formaciones superficiales de menor pendiente y granulometría más fina.

- Sector 4: unidad pluvial (subregión oriental)

La característica geológica más destacada de la Subregión Central es la extraordinaria diversidad de la naturaleza de las rocas del sustrato y, como consecuencia, de la cubierta edáfica.

En esta unidad se hayan desfiladeros, tanto en cuarcitas como en calizas y los escarpes rocosos, presentando el relieve una mayor intensidad.

Los cauces fluviales, igualmente encajados, discurren por valles cuya morfología depende en gran medida de las rocas que atraviesan. Dentro de esta unidad pueden separarse los macizos kársticos del Aramo, la sierra de Tameza, la sierra de Sobia y sinclinal de los lagos de saliencia, cuya entidad y características los acerca a otras montañas calcáreas de Asturias.

- Sector 5: Glaciar (Subregión central)

De la misma forma que la subregión occidental (sector 3), en las zonas más elevadas de esta región muestran una morfología claramente influida por el modelado glaciar cuaternario. Se reconoce una gran diversidad de formas y depósitos de origen periglacial y nival. Los suelos más desarrollados se limitan a depósitos con predominio de componentes finos. Los suelos son poco profundos.

1.3.2. Hidrografía

La red hidrográfica y los lagos y lagunas que existen en Asturias son consecuencia no solo del relieve o del clima, también lo es de la actividad humana que ha ido modificando profundamente el paisaje.

Los ríos asturianos, cuya cabecera puede situarse incluso a más de los 2.000 metros de altitud y a una distancia, en línea recta de la costa, que no supera los 50 kilómetros, han desarrollado una gran labor erosiva, más intensa cuanto más pronunciado sea el desnivel y más desfavorablemente estén dispuestas otras estructuras físicas sobre las que se asientan. Los ríos asturianos son cortos, con la cabecera elevada, abundante caudal y un régimen bastante regular, con una bajada de caudal durante los meses más secos de julio y agosto y un incremento notable en las épocas de deshielo en aquellos ríos que drenan zonas donde se produce una innivación importante.

La mayor parte de la red fluvial asturiana se articula en la cuenca del Nalón y del Narcea, su principal afluente que drena el 46% del territorio de Asturias. Ambos ríos son completamente asturianos, desde su nacimiento hasta su desembocadura mientras que tanto el Sella, como el Eo, el Navia o el Cares-Deva tienen su nacimiento en otras comunidades, pero su recorrido se desarrolla en su mayor parte en territorio asturiano o su cuenca tiene una gran componente asturiana.

La cercanía del nacimiento de estos ríos al litoral condiciona su trazado siendo la dirección dominante la Sur-Norte con la excepción del Nalón que presenta una dirección Sudeste-Noroeste.

La red fluvial asturiana presenta forma de árbol, más tupida en el Occidente como consecuencia de la existencia de suelos de pizarra que favorecen la escorrentía superficial mientras que en el Oriente, donde el suelo eminentemente calizo es mucho más permeable. Fuera de las grandes cuencas hidrográficas existen una serie de ríos muy cortos, pero de gran importancia como el Valdedíos, Porcía, Piles, Esva, Purón o Linares.

El origen de la actual red fluvial e Asturias parece remontarse a la Era Terciaria, durante la orogenia alpina. Las fuertes pendientes de la vertiente Norte de la Cordillera proporciona a estos ríos una gran capacidad erosiva. Los sistemas montañosos del interior permitieron la individualización de las distintas cuencas: Eo, Navia, Nalón-Narcea, Sella y Cares-Deva.

En la zona Occidental, el terreno de pizarras y cuarcitas permitió que los ríos arruinaran los materiales más débiles. En la zona Oriental, la presencia de varias sierras paralelas a la costa ha condicionado el trazado de los ríos que discurren labrando valles transversales a dichas sierras. En la zona Central asturiana, los afluentes del Nalón y del Narcea discurren por líneas de debilidad tectónica y litológica.

Hidrológicamente Asturias se divide en ocho grandes cuencas, cuyos límites se definen por las partes superiores de los relieves que las separan. Cada cuenca está drenada por un variado número de pequeñas corrientes que van fluyendo hasta el gran colector de cuenca tras pasar por distintos subafluentes.

Exceptuando las cuencas costero-litorales, las demás tienen un gran colector de drenaje como son los ríos Eo, Navia, Nalón-Narcea, Sella y Cares-Deva, aunque ninguno de estos ríos puede ser considerado una gran arteria fluvial no superando ninguno de ellos los 160 km de longitud en su curso principal.

En la Figura 1.8 se muestra un mapa con las cuencas hidrográficas asturianas y su extensión.



Figura 1.8 Cuencas hidrográficas de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias

Tabla 1.2: Cuencas hidrográficas de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias

Ref.	Cuenca	Ext. Total (km ²)	Ext. En Asturias (km ²)
1	Sella-Piloña	1.267,30	1180,97
2	Cares-Deva	1.195,51	417,86
3	Litoral oriental	815,92	815,92
4	Litoral occidental	1087,97	1087,97
5	Eo	929,55	227,74
6	Navia	2591,26	1407,05
7	Nalón alto	1457,82	1457,82
8	Narcea	1850,49	1850,49
9	Nalón bajo	1574,67	1574,67
10	Litoral central	543,7	543,7

Las parcelas de estudio se situaron sobre las cuencas de Narcea, Navia, Nalón alto y Sella- Piloña (Tabla 1.2).

1.3.3. Clima

Desde el punto de vista climático las diferenciaciones suelen establecerse en función de las precipitaciones y de las temperaturas. Otros factores de importancia son la radiación solar y el viento, pero sobre ellos existe mucha menos información.

1.3.3.1. Las precipitaciones

Asturias está situada aproximadamente sobre el paralelo 43° N, un área sometida a la interacción de dos masas de aire de diferente naturaleza: una de origen polar y otra subtropical.

Estas masas de aire son muy diferentes desde un punto de vista termodinámico y en la zona de contacto no suelen mezclarse, sino que tienden a interpenetrarse formando grandes remolinos. Esta zona activa se denomina frente polar y sus ondulaciones suelen terminar formando borrascas que se desplazan de Oeste a Este. Las borrascas tienen estructuras en las que el aire cálido se superpone al frío, elevándose sobre él. Estas estructuras se denominan frentes y son origen de precipitaciones, en ocasiones, muy intensas.

La cornisa cantábrica se encuentra en plena zona de circulación de las borrascas. Las borrascas, con sus frentes asociados, afectan a la costa cantábrica de la Península de forma especialmente importante en los meses invernales, en los que el frente polar desciende a latitudes más bajas. En esta época, los vientos de componente Oeste y Noroeste, al llegar a la costa cargados de humedad, aportan abundantes precipitaciones. En los meses estivales, sin embargo, el frente polar se retira hacia el Norte y la influencia subtropical se deja notar persistentemente en la cornisa cantábrica. Son los meses de períodos anticiclónicos y de vientos del Nordeste, de origen continental y escasa humedad, lo que se traduce en un descenso generalizado de precipitaciones durante esta estación.

Esta situación general explica la característica esencial de la curva de precipitaciones en la cornisa cantábrica: máximos invernales y un sensible descenso en la época estival. La influencia marítima desempeña un papel decisivo en este contraste estacional, ya que los vientos procedentes del Oeste, Noroeste y Norte llegan a Asturias, tras un largo recorrido sobre el Océano Atlántico, en el cual se han cargado de humedad. Los vientos del Noreste y Este proceden de zonas continentales, por lo que su capacidad para provocar precipitaciones es muy reducida. El mar que baña la cornisa cantábrica se encuentra, además, en una zona de temperaturas relativamente elevadas para su latitud, lo que contribuye a inestabilizar aún más las masas de aire marítimo.

La presencia de la Cordillera Cantábrica es el último factor de importancia en la caracterización del clima de la cornisa cantábrica. De forma general, la Cordillera actúa como una barrera ante los movimientos de las capas atmosféricas superficiales. Las procedentes del Norte y Noroeste se la encuentran frontalmente, lo que origina inicialmente un persistente estancamiento de las masas nubosas contra ella.

En el mapa de precipitaciones medias anuales de Asturias (Felicísimo, 1980, 1990), representado en la Figura 1.9 se observa que las lluvias anuales en nuestra región varían desde los 900 hasta más de 2000 l/m². La primera circunstancia que salta a la vista es que existe una estrecha relación entre la precipitación y la altitud, de forma que los mínimos se registran en la costa y los máximos en las zonas más elevadas de la montaña. Este es el rasgo más importante del reparto de las lluvias en Asturias, cuyo origen está en un fenómeno denominado efecto de ladera.

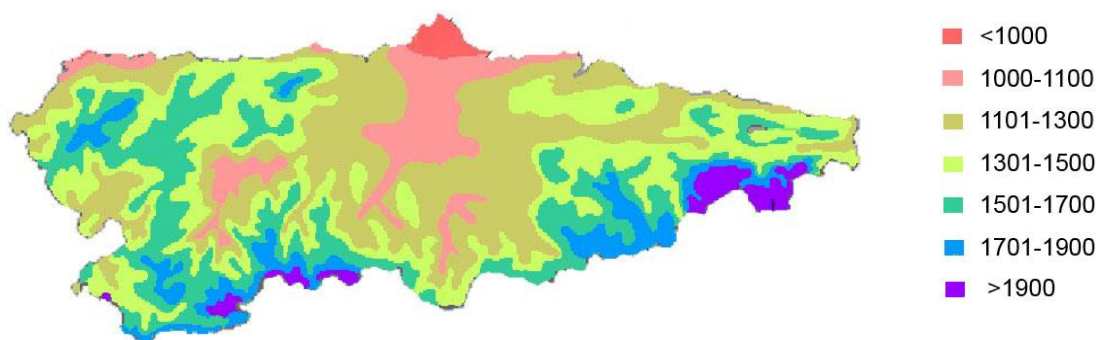


Figura 1.9 Mapa de precipitaciones medias de Asturias, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias

El gradiente de precipitaciones en relación con la altitud es variable según las zonas, pudiendo calcularse una media para Asturias de unos 100 l/m² para un incremento de 100 m de altitud. Los contrastes son más importantes en las zonas donde las sierras litorales están más próximas al mar, ya que constituyen el primer obstáculo a la penetración del aire marítimo.

Las precipitaciones máximas en Asturias son difíciles de precisar principalmente por la ausencia de estaciones en las zonas más altas de la montaña. El análisis de los escasos datos existentes en los Picos de Europa hace suponer que las precipitaciones anuales pueden superar los 2500 l/m².

El mínimo de precipitaciones en Asturias se registra en algunas localidades costeras del litoral central y occidental: Tapia de Casariego (730 l/m²), Cabo Vidio (930 l/m²) y Cabo Peñas (940 l/m²).

1.3.3.2. Las temperaturas

El régimen térmico de una zona depende de varios factores, pero el primario es, sin duda, la radiación solar que recibe. La latitud de Asturias, cercana a los 45° N implica una fuerte estacionalidad en la radiación, ya que la duración de los días es muy variable.

En función de estos datos cabe esperar que las temperaturas en Asturias sigan una pauta similar a la radiación. Se observan, sin embargo, dos cuestiones de interés: la primera es que la fluctuación térmica es menor que la correspondiente de radiación. La segunda es que tanto el máximo como el mínimo están desplazados, al menos, un mes con respecto a los de radiación solar. El origen de ambos fenómenos es el mismo y reside en la presencia y proximidad del mar, que actúa como un enorme depósito de calor, capaz de absorberlo y cederlo a las capas bajas de la atmósfera.

El papel del mar en este aspecto es mucho más importante que el del suelo debido a su capacidad calorífica, unas 5.6 veces mayor. Esto significa que el mar cede calor en las épocas más frías y lo absorbe en las más cálidas, amortiguando las fluctuaciones de temperatura.

Asturias, por tanto, tiene un clima típicamente oceánico, donde los contrastes de temperaturas siempre son moderados, especialmente en la costa. Hacia el interior los contrastes aumentan, tanto en los valles interiores como en la montaña, pero sin llegar nunca a los extremos observables en las localidades continentales de la montaña leonesa o de la meseta. La degradación de la influencia oceánica es notable en los valles interiores, donde Proaza alcanza los 12.4 °C de amplitud térmica, seguida de los 11.7 °C de Moreda y 11.8 °C de Grado. En la montaña, los valores son comparables a éstos, con rangos de 10.9 °C en Moal y 10.5 °C en Leitariegos.

En la montaña, a la degradación de la influencia oceánica se suma el efecto de la altitud. Como ya se ha comentado anteriormente, se observa con las temperaturas un efecto similar, aunque invertido, al de las precipitaciones: existe una fuerte relación con la altitud, de forma, que la temperatura disminuye unos 0.5 °C por cada 100 m de elevación. Este gradiente se manifiesta de forma bastante regular en la región y, junto con la influencia del mar, explica una buena parte de la distribución regional de las temperaturas, según puede observarse en los mapas de temperaturas (Felicísimo, 1980, 1990). Sobre los efectos generales de la oceanidad y altitud se superponen otros efectos locales que conducen finalmente a una notable variedad térmica del clima asturiano.

Otro fenómeno de gran interés que se presenta en localidades situadas en los fondos de valles más o menos amplios es el de las inversiones térmicas de superficie. Cuando las condiciones son favorables (noches despejadas y ausencia de viento), las capas de aire situadas sobre el suelo se enfrían intensamente durante la noche por irradiación.

Se forman así en el fondo de los valles verdaderos lagos de aire frío que, al ser más denso que el circundante, forma estructuras estables que sólo se romperán al día siguiente, cuando la insolación haya calentado el suelo.

En la Figura 1.10 se observan tanto las temperaturas máximas como las mínimas en el Principado.

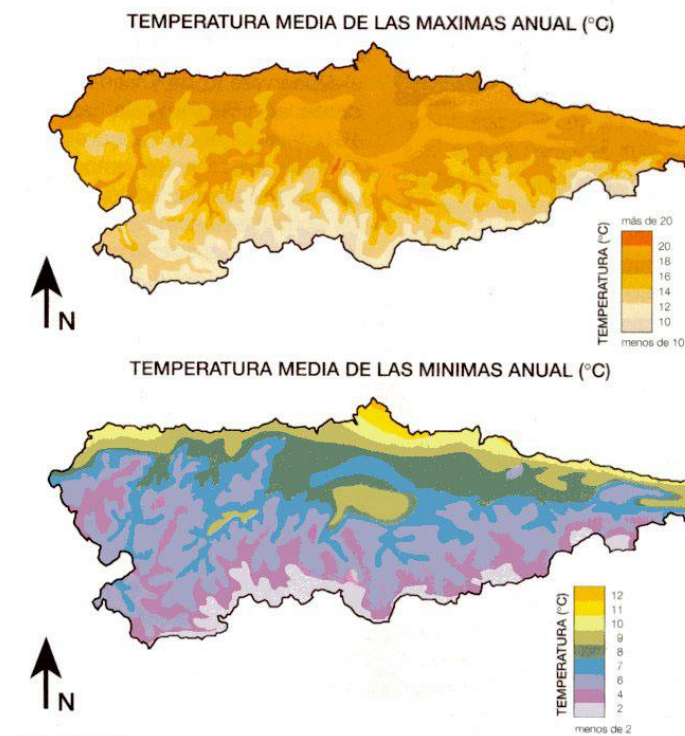


Figura 1.10 Temperaturas máximas y mínimas, red ambiental de Asturias; Gobierno del Principado de Asturias

1.3.4. Vegetación

El punto de vista bioclimatológico es el de más interés a efectos de comprender la localización y dinámica de los recursos naturales bióticos en Asturias. En este sentido se pueden adoptar los conceptos de piso y horizonte bioclimático como bases para una sectorización climática de Asturias. Para la delimitación de los pisos y horizontes de la región eurosiberiana, en la cual está incluida la totalidad de Asturias, se utilizan indicadores básicamente térmicos: temperatura media anual (T), temperatura media de las mínimas del mes más frío (m) y temperatura media de las máximas del mes más frío (M).

La suma de estos 3 valores en décimas de grado se denomina índice de termicidad (It) y sirve de delimitación de los pisos y horizontes bioclimáticos asturianos. Estos son los siguientes:

- Piso termocolino.
- Piso colino (horizontes medio y superior).
- Piso montano (horizontes meso y altimontano).
- Piso subalpino (horizontes inferior y superior).
- Piso alpino (horizonte inferior)

La descripción de la vegetación de Asturias se realiza básicamente en función de los pisos bioclimáticos, dividiéndola en dos apartados. El primero agrupa los pisos termocolino, colino y montano, cuyas series de vegetación poseen etapas climáticas forestales. El segundo agrupa los pisos subalpino y alpino que poseen series de vegetación cuyas etapas climáticas están formadas por matorrales en el primer caso o por pastizales en el segundo. Los bosques mixtos en la región eurosiberiana dominan gran parte del territorio arbolado, sobre todo en los pisos colino y montano (Blanco *et al.*, 1997). En estos bosques dominan varias especies arbóreas, pudiendo combinar varias coníferas (por ejemplo, abetos con pinos), coníferas con frondosas (hayas con abetos o pinos con robles) o varias frondosas (especies de robles, hayas...); además se pueden combinar especies eurosiberianas y mediterráneas.

En la tabla 1.3 se recoge la vegetación clímax de cada uno de estos pisos en función del sustrato y de la humedad. La descripción de la vegetación se realiza definiendo las series de vegetación existentes, aunque no se ha juzgado conveniente describir las etapas seriales, ni entrar en la descriptiva de las distintas asociaciones ya que éstas se encuentran suficientemente documentadas en la bibliografía especializada. De la tabla 1.3 se deduce que la vegetación colina y montana incluye las siguientes series:

- Series de vegetación del carbayo (*Quercus robur* L.)
- Series de vegetación del roble albar (*Quercus petraea* (Matt.), Liebl.)
- Series de vegetación del rebollo (*Quercus pirenaica* Willd.)
- Series de vegetación del haya (*Fagus sylvatica* L.)
- Series de vegetación del abedul (*Betula celtibérica* Rothm. & Vasc.)
- Series de vegetación de la encina y la carrasca (*Quercus ilex* (L.) y *Quercus rotundifolia*)

Tabla 1.3: Vegetación climáx de cada uno de los pisos en función del sustrato y de la humedad, (Calvo *et al.*,1997)

Piso climático	Naturaleza del sustrato	Humedad edáfica	Vegetación climáx
Colino	Silíceo	Escasa	Carbayedas (<i>Quercus robur</i>) Castañares (<i>Castanea sativa</i>) Abedulares (<i>Betula celtibérica</i>)
	Calizo		Bosque mixto de robles y fresnos (<i>Q. robur</i> y <i>Fraxinus excelsior</i>)
Montano		Escasa	Encinares y carrascales (<i>Q. ilex</i> y <i>Q. rotundifolia</i>)
		Abundante	Alisedas y saucedas (<i>Alnus glutinosa</i> y <i>Salix sp.</i>)
	Silíceo	Escasa	Carbayedas (<i>Q. robur</i>) Rebollares (<i>Q. pirenaica</i>) Robledales (<i>Q. petraea</i>) Hayedos (<i>Fagus sylvatica</i>) Abedulares (<i>B. celtibérica</i>)
	calizo		Hayedos (<i>F. sylvatica</i>)
		Escasa	Encinares y carrascales (<i>Q. ilex</i> y <i>Q. rotundifolia</i>)
		Abundante	Alisedas y saucedas (<i>A. glutinosa</i> y <i>Salix sp.</i>)

A continuación, se describen someramente cada una de las series que están presentes en los bosques complejos de la cornisa cantábrica seleccionada (Parque Natural -PN- de Redes, PN de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias y Zona de Especial Conservación -ZEC- de Ancares), y que son más representativas, con mención especial a aquellos boques acidófilos dominados por *quercus*:

- **Series de vegetación del roble albar (*Quercus petraea*),**

Se trata de la especie dominante en las parcelas objeto de estudio. Los bosques de roble albar constituyen las etapas maduras de estas series, cuya distribución en Asturias se circunscribe a las zonas más continentales, en las cuencas altas de los valles, y áreas de montaña del Sur de la región correspondientes a la Provincia Orocantábrica. Se distinguen dos series diferentes de roble albar.

La primera es propia de los sustratos silíceos que originan suelos pobres en nutrientes y se denomina serie de los robledales albares oligótrofos (S. colino-montana orocantábrica oligótrofa del roble albar: *Linario triornithophorae-Querceto petraeae sigmetum*).

Se localiza preferentemente en el horizonte mesomontano, aunque puede aparecer en el colino superior. Su distribución coincide, en líneas generales, con la serie de los hayedos oligótrofos y reemplaza a éstos en las estaciones algo menos lluviosas y con suelos más pobres. Por esta razón ocupa las mayores extensiones en el Suroccidente.

La segunda serie del roble albar corresponde a la variante eutrofa (Serie colina orocantábrica eutrofa del roble *albar*: *Mercurialidi perennis-fraxineto excelsioris sigmetum*). Ocupa menor extensión en la región que la anterior, distribuyéndose en las áreas del piso bioclimático colino con sustratos calizos que aparecen en las zonas centro orientales de la Cordillera. Los bosques cabecera de la serie corresponde a los robledales eutrofos de roble albar que están ampliamente diversificados.

En zonas húmedas y sombrías abunda el haya; en el polo opuesto se encuentran las variantes más secas, ricas en rebollos. Merecen una mención especial los pequeños bosques ligados a espolones y rellanos de laderas calizas abruptas, que incorporan gran cantidad de tilos y que son peculiares de las numerosas gargantas existentes en las montañas centro orientales de la Cordillera.

Por último, en puntos muy concretos de Somiedo y cuenca del Cares, crecen asociados a esta serie las únicas masas de quejigos (*Quercus faginea*) que, con muy pequeña extensión, revisten gran interés por su rareza en Asturias. Las avellanadas son las formaciones arbustivas de la serie que, en áreas de suelos más someros, incorporan escuernacabras (*Rhamnus alpina*). En los suelos más secos y degradados crecen como matorral los aulagares de *Genista hispanica* subsp. *occidentalis* que, hacia el oriente del puerto de San Isidro, incorporan *Genista legionensis*. Los suelos más profundos en las zonas de relieve menos abrupto permiten la instalación de prados de siega colinos con *Arrhenatherium bulbosum*. Por el contrario, en las áreas de suelos más secos se pueden mantener lastonares, frecuentemente en mosaico con los aulagares.

- **Serie de vegetación del Carbayo (*Quercus robur*)**

Las etapas maduras de estas series son las carbayedas, bosques cuya especie dominante es el carbayo. Potencialmente ocuparían la mayor extensión en la región ya que representan la vegetación climácica de casi todos los valles y media montaña asturiana comprendidos en la Provincia Cántabro-Atlántica.

Existen dos series con diferentes características y significado. En los territorios termocolinos y colinos, con suelos maduros ricos en nutrientes, se reconoce la serie de las carbayedas eutofas (S. colina ovetense eutrofa del carbayo: *Polysticho setiferi-Fraxineto excelsioris sigmetum*). Esta serie tiene una distribución ligada a los sustratos geológicos capaces de originar suelos ricos, lo que en líneas generales coincide con sustratos carbonatados. Por ello, estos tipos de vegetación son comunes en el centro y oriente de Asturias, estando ausentes en el occidente de la región. Los bosques cabecera de esta serie están en general muy alterados; lo más habitual es que el carbayo no sea la especie dominante, abundando los arces (*Acer pseudoplatanus*), fresnos (*Fraxinus excelsior*), tilos (*Tilia sp. pl.*) olmos (*Ulmus glabra*), etc. lo que ha llevado a denominarlos a menudo «bosques mixtos».

Las áreas termocolinas, colinas y montañas con suelos maduros pobres y húmedos de los subsectores 1.1.1 y 1.1.2, son dominio de la serie de las carbayedas oligótrofes (S. colinomontana galaico-asturiana oligótrofa del carbayo: *Blechno spicanti-Querceto roboris sigmetum*). En el occidente de la región, donde los sustratos carbonatados desaparecen por completo, esta serie ocupa prácticamente la totalidad del territorio.

- **Series de vegetación del rebollo (*Quercus pyrenaica*)**

Los bosques de rebollo son la etapa madura de esta serie, denominada S. colinomontana orocantábrica oligótrofa del rebollo (*Linario triornithophorae-Querceto pyrenaicae sigmetum*). Aunque las carbayedas oligótrofes son el bosque potencial general en los suelos pobres en nutrientes, los rebollares aparecen excepcionalmente en áreas colinas y montañas, donde las condiciones mesoclimáticas son más secas (laderas de solana, ombroclima casi subhúmedo y suelos con escasa capacidad de retención hídrica).

Esta serie aparece sólo de manera puntual en el sector Galaico-Asturiano mientras que ocupa extensiones mucho más significativas en áreas colinas orocantábricas del Suroccidente (cuencas del Navia-Ibias, del Narcea y, en menor medida, del Nalón-Caudal). Los prados en esta serie están muy limitados por la pobreza de los suelos y por su sequedad y solo pueden existir con riego. Los suelos más degradados están ocupados por brezales de tipo xerófilo.

1.3.5. Fauna

La composición de la fauna asturiana no es bien conocida. La enorme diversidad de los invertebrados hace que los conocimientos faunísticos se limiten a unos pocos grupos y no se tiene un buen conocimiento de otros como, por ejemplo, las faunas cavernícolas, proclives al endemismo. En este sentido, hoy seguramente están actuando procesos de extinción de especies no evaluados sobre grupos mal conocidos. En cuanto a los vertebrados, el hombre ha contribuido desde muy antiguo a la extinción de especies, otras han sido relegadas a terrenos montañosos marginales tras desaparecer de otros lugares más profundamente alterados por el hombre, caso del oso o del lobo.

Como consecuencia de las deficiencias de conocimiento anteriormente apuntadas, parece conveniente al realizar la descripción faunística, atender particularmente a la fauna de vertebrados, cuya composición y distribución se conoce mejor y sobre la que existe una normativa legal más completa. Por último, hay que destacar que, pese a la escasa importancia numérica de este grupo (probablemente menos del 5% del total de las especies), el papel que representan en muchos ecosistemas es relevante, y su presencia en la práctica totalidad de biotopos asturianos hace destacar su importancia como organismos bioindicadores de situaciones que pueden reflejar la de los invertebrados.

En Asturias, la clase más amplia en número de especies es la de las aves, pero, sin embargo, es la que tiene un menor número de endemismos como consecuencia de su movilidad. Por el contrario, anfibios y reptiles presentan proporcionalmente una mayor variedad de formas exclusivas.

Como ya se ha indicado antes los bosques mixtos, en Asturias se localizan principalmente sobre los pisos colino y montano, por lo que se va a describir brevemente la composición faunística de ambos.

- **Piso colino**

Este Sector ha sido transformado por el uso humano desde muy antiguo, de tal manera que el paisaje potencial es prácticamente irreconocible. En consecuencia, la fauna ha sido fuertemente alterada caracterizándose por la pérdida generalizada de los grandes vertebrados (herbívoros y carnívoros) y una disminución de las especies silvícolas en beneficio de las pratenses y antropófilas, de menor interés de conservación.

De todas maneras, la diversidad y la biomasa animal que soportan potencialmente estos biotopos son muy elevadas.

- **Piso Montano (mesomontano)**

Incluye zonas menos transformadas, aunque grandes extensiones han sido degradadas, convirtiéndose en brezales, piornales y pastizales de montaña. Mantiene especies de gran fauna, en ocasiones de origen estrictamente montano (*Apo-demus flavicolis*, urogallo, pico mediano, etc.) junto con otras de distribución más amplia, pero ahora relegadas a áreas más marginales (oso, corzo, ciervo...). Es, por tanto, el sector que mantiene los vertebrados de mayor trascendencia en su conservación y manejo, al incluir comunidades faunísticas forestales prácticamente completas.

1.3.6. Situación socioeconómica

En Asturias se pueden distinguir dos grandes áreas con características y problemática diferenciadas: la zona central, eminentemente industrial y urbana, y las zonas periféricas del Sur, oriente y occidente, poco pobladas y de orientación rural en todos los ámbitos.

En cuanto al reparto del empleo, las comarcas de Grado, Navia, Cangas de Narcea y Arriondas ofrecen una acusada especialización en actividades agropecuarias, incluida la pesca en los concejos con puerto.

Comarcas como la de Llanes, en las que el sector primario es el de mayor peso, tienen, sin embargo, una estructura más equilibrada como consecuencia del desarrollo del sector terciario.

En la tabla 1.4 se hace una relación de los concejos en los que hay parcelas de estudio en Asturias y el número de empleos por sector en cada uno.

Tabla 1.4: Número de empleos por sectores en los concejos en los que hay parcelas de estudio en Asturias, SADEI

Concejo	TOTAL	Agricultura y pesca	Industria	Construcción	Servicios
Cangas del Narcea	4025	732	321	277	2695
Caso	300	118	11	23	148
Degaña	110	14	10	3	83
Ibias	263	56	32	16	159
Sobrescobio	252	73	29	7	143

De estos datos se puede deducir que las parcelas están ubicadas principalmente en dos zonas “económicas” diferenciadas:

- Las parcelas que se encuentran en concejos del suroccidente del Principado están ubicadas en zonas eminentemente rurales en las que las principales fuentes de ingresos son la agricultura y la ganadería (exceptuando el concejo de ibias), actividades que se encuentran en retroceso debido a los problemas del campo.
- Las parcelas ubicadas en el oriente están dedicadas principalmente al turismo, perteneciente al sector terciario o servicios, que se ha visto en clara ascensión en los últimos años y que resulta el sector más beneficiado en términos numéricos.

En algunas otras zonas la industria y, sobre todo, la construcción han sido también fuentes importantes de empleo e ingresos.

1.4. El índice de forma y la calidad de estación

1.4.1. Definiciones y conceptos básicos

- **Calidad de sitio**

En la terminología forestal el término sitio (estación) puede expresar dos conceptos diferentes, aunque muy relacionados entre sí (Serrada Hierro, 2004):

- Efecto de la acción conjunta de los factores ecológicos abióticos (factores climáticos, edáficos y fisiográficos, ya estudiados en los temas anteriores) en un territorio concreto.
- Territorio en el que no cambian de una forma importante los factores ecológicos abióticos.

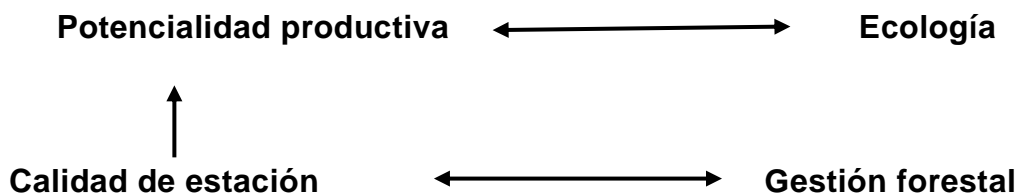
En francés, este término se traduce por station (estación) mientras que en inglés se utiliza el término site (sitio). La traducción directa del término site al español hace que en ocasiones nos encontremos con términos confusos como sitio o localización.

Por calidad de sitio se entiende la capacidad productiva de un lugar frente a una determinada especie forestal.

- **Evaluación de la calidad de sitio**

Por tanto, la evaluación de la calidad de sitio va a tener como objetivo la estimación de la potencialidad productiva de un medio concreto frente a una especie forestal determinada.

El término calidad de sitio aplicado a montes maderables hace referencia normalmente al volumen de madera producido por una masa forestal en un periodo de tiempo determinado, coincidente con el turno de la especie. En el caso de que la masa se destine a la producción de leña el término se debe referir a la cantidad de leña que el monte es capaz de producir en el turno (Bengoa, 1993).



La potencialidad productiva es un término de la ecología que engloba a la calidad de estación, esta última creada en el ámbito de la gestión forestal. La potencialidad productiva hace referencia a la capacidad del ecosistema para sintetizar biomasa por lo que va a depender tanto de los recursos del medio como de la capacidad que tiene el ecosistema para aprovechar esos recursos. Asimismo, la madurez del ecosistema va a condicionar tanto la capacidad de síntesis como el consumo que hace para su propio mantenimiento.

La calidad de estación es una visión práctica y parcial de la potencialidad, ya que valora únicamente una parte de la producción del ecosistema. De cualquier modo, existe una estrecha relación entre ambos conceptos, lo que le confiere cierta generalidad y valor ecológico al análisis de la calidad de estación.

La calidad de estación caracteriza, al igual que la potencialidad productiva, al conjunto de estación-ecosistema: si consideramos que un bosque maduro aprovecha al máximo la estación, la calidad de ese bosque va a caracterizar en cierta forma a la estación.

1.4.2. Importancia de la evaluación de la calidad de sitio

Desde el punto de vista de la gestión forestal es importante la evaluación de la calidad de sitio a efectos (Serrada Hierro, 2004):

- Comparar diferentes estaciones entre sí.
- Comprobar posibles limitaciones en el crecimiento o producción de la masa
- Imponer limitaciones a los tratamientos y poder comparar los resultados de estos en diferentes estaciones.
- Prever y comparar las producciones futuras de la masa forestal en diferentes zonas.
- Poder evaluar la evolución en el tiempo de la calidad de estación en un mismo lugar.

1.4.3. El índice de sitio vs índice de forma

Un método común de la evaluación de la calidad de la estación en bosques coetáneos ha sido el índice de sitio. El índice de sitio es el resultado de una gran variedad de factores, los cuales condicionan la calidad del sitio. Entre estos factores, unos son controlados por el hombre (crecimiento, fertilidad, etc.) y otros son incontrolables (clima).

El índice de sitio se define como una razón, fórmula o dimensión cualquiera, con respecto a otra dimensión u otro valor. Se expresa en forma de curvas y su empleo sirve para mostrar el desarrollo de la altura a una edad determinada. Estas curvas han sido y son ampliamente usadas debido a su fácil interpretación y gran utilidad práctica.

La información de crecimiento en altura puede venir dada a partir de parcelas permanentes y del análisis de troncos, aunque lo más común es que estén basadas en datos de varias parcelas temporales de muestreo por lo que en la muestra deben estar incluidas todas las clases de edad y de calidad de estación.

Las principales dificultades asociadas con el uso del índice de sitio son la frecuente falta de datos sobre la edad del rodal y la dificultad que supone su aplicación en rodales forestales de especies mixtas con una distribución desigual de la edad (Aguirre, y otros, 2022).

En masas mixtas y de edad desigual, como en las parcelas de estudio, el índice de forma, que se corresponde con la relación altura-diámetro, proporciona buenos resultados para calcular la calidad de estación y ofrece una alternativa cuando se carece de información sobre la edad del rodal, ya que se ha demostrado que se puede aplicar satisfactoriamente en masas puras y mixtas con distintas formas principales de masa. Esta adaptación a este tipo de circunstancias hace ser la metodología habitual para calcular la calidad de estación en bosques mixtos con una distribución desigual de edades considerablemente desconocida.

Su ventaja es, por tanto, la posibilidad de aplicar los modelos de estimación de calidad de estación a escala muy amplia, sin necesidad de tener que distinguir entre masas regulares o irregulares ni que estimar la edad (en masas regulares) (Moreno Fernandez *et al.*, 2018).

1.4.4. El índice de forma

El índice de forma se define como una razón, fórmula o dimensión cualquiera, con respecto a otra dimensión u otro valor. Se expresa en forma de curvas y su empleo sirve para mostrar el desarrollo de la altura a un diámetro determinado. Estas curvas han sido y son ampliamente usadas debido a su fácil interpretación y gran utilidad práctica.

La información de crecimiento en altura puede venir dada a partir de parcelas permanentes y del análisis de troncos, aunque lo más común es que estén basadas en datos de varias parcelas temporales de muestreo por lo que en la muestra deben estar incluidas todas las clases diamétricas y de calidad de estación.

- **Alturas**

Se pueden usar principalmente tres tipos de alturas para los estudios de calidad de estación mediante índices de sitio:

- Altura media

Corresponde al promedio aritmético de la altura de todos los árboles de la muestra considerada, esta altura ha ido siendo reemplazada por la altura dominante.

Las principales ventajas de usar la altura media como uno de los parámetros para estimar el índice de forma son: medición sencilla; es, de los factores que intervienen en la formación del volumen, el parámetro que mejor acusa las variaciones de la calidad de estación; y la altura media y la dominante están muy correlacionadas, por lo que se pueden transformar la una en la otra.

Los principales inconvenientes son: las situaciones extremas de espesura afectan a la altura total; las claras por lo bajo elevan la altura media, produciendo saltos bruscos en su evolución; la evolución de la altura, sobre todo en la primera mitad del turno, refleja las condiciones iniciales de origen y tratamientos culturales del suelo y vuelo de la masa; y la técnica habitual supone que la forma de la curva es la misma para todas las calidades, lo cual no es cierto, debido principalmente, a diferencias de las características del suelo.

- Altura dominante

El criterio para la definición de la altura dominante no es uniforme. Las variantes más importantes para su estimación son:

- Media aritmética de la altura de los 250 árboles/ha de mayores diámetros. Esta altura, conocida también como "altura superior" se utiliza fundamentalmente en los países anglosajones de la Commonwealth.
- Media aritmética de los 247 árboles más gruesos/ha.
- Altura correspondiente al árbol cuya sección normal es la media de los 100 más gruesos/ha (ASSMAN, 1970).
- Altura dominante de Weise, correspondiente al pie de sección normal media entre el 20% de los árboles más gruesos de la distribución diamétrica.
- Altura definida por el árbol cuyo diámetro es $d + 3F$ siendo d el diámetro normal medio y F la desviación típica.

La ventaja de usar la altura dominante como uno de los parámetros para estimar el índice de forma es que es el parámetro menos sensible a las claras y a cualquier tratamiento selvícola.

El inconveniente de usar esta altura se debe a que normalmente se produce un intercambio de los pies que forman el piso dominante por lo que no son los mismos en cada momento del turno, al menos en las primeras edades de la masa.

Estos árboles destacados representan en ocasiones condiciones excepcionales de origen genético o edáfico ajenas a la calidad de estación.

- Estatura

Se basa en el criterio biológico de estimar la bondad de la estación por la altura alcanzada por la masa al final del turno, es decir, cuando haya alcanzado su total desarrollo fisiológico.

Para trazar las curvas se supone que la altura media alcanzada en la Clase V de Calidad es la misma que la alcanzada a la misma edad en la Clase I. Las clases intermedias las obtiene dividiendo el intervalo en partes iguales.

Este método tiene la ventaja de que se podrían aplicar a masas irregulares. Su gran desventaja es que resulta difícil predecir la altura máxima que alcanzará una masa inmadura.

La altura que mejor resultados proporciona en estudios de bosques mixtos con distribución de edades desiguales es la altura dominante.

- **Diámetro**

Con respecto al diámetro se usa el diámetro dominante como la media del diámetro de los 100 pies más gruesos.

- **Tipos de curvas de calidad**

Si atendemos al comportamiento relativo de cada una de las curvas que identifican las calidades, estas se dividen en anamórficas y polimórficas. El anamorfismo implica que, para cada diámetro, la tasa de crecimiento relativo es constante en todas las calidades.

Las familias que no cumplen la condición anterior son las denominadas polimórficas. Algunos autores exigen que los modelos de calidad de estación sean polimórficos ya que no existe ninguna evidencia biológica que indique que el comportamiento de las curvas tenga que ser homólogo. En todo caso, el anamorfismo debe ser visto como un caso particular del caso general polimórficos.

La construcción de modelos polimórficos exige la realización de un buen número de análisis de troncos para la obtención de patrones independientes.

- **Métodos de construcción y ajuste de curvas**

Hasta la generalización del uso de los ordenadores era común el ajuste de curvas de calidad mediante métodos gráficos, sin la utilización de fórmulas o modelos. Algunos de los métodos usados eran el método de las fajas, el método de las curvas armónicas o el de las curvas naturales.

Actualmente la construcción y el ajuste de los modelos se basan en métodos matemáticos y estadísticos, y éstos van a diferir dependiendo de si se dispone de datos de parcelas temporales o bien de parcelas permanentes y análisis de tronco.

Método de la curva guía. Lo más habitual consiste en ajustar una curva media al conjunto de los datos, utilizando una función de crecimiento y mediante el ajuste por mínimos cuadrados. Esta curva se denomina curva guía. A partir de ésta se genera una serie de curvas proporcionales, todas ellas de la misma forma (curvas anamórficas). Con ello se ajustarán modelos no lineales de calidad de estación relacionando el diámetro y la altura dominantes, es decir, se ajustan modelos de índice de forma. Para ello hay dos modelos base, el de Hossfeld II y el de Bertalanffy-Richards, finalmente se selecciona el que mejor se ajusta a la naturaleza de los datos. Estos modelos permiten determinar la altura dominante de una masa para un diámetro típico de forma análoga al índice de sitio.

$$H - II : H_0 = 1.3 + \frac{D_0^2}{(a + b \cdot D_0)^2} \quad B - R : H_0 = 1.3 + a \cdot (1 - \exp(-b \cdot D_0))^c$$

Donde a, b y c son los parámetros del modelo que hay que estimar; H_0 y D_0 , la altura y el diámetro dominantes respectivamente.

- **Errores típicos**

La precisión del Índice de forma estimado es una importante medición de la utilidad de un método particular de estimación la calidad de estación. Algunos factores contribuyen a esta precisión, por ejemplo:

- Error de muestreo: El Índice de forma es frecuentemente estimado a partir de un muestreo de parcelas que se generaliza al rodal.

Este rodal es usado como indicador de la productividad del sitio y puede ser considerado como una muestra para todos los posibles rodales cumpliendo ciertas expectativas.

- Errores aleatorios o sistemáticos en la elección de árboles de altura dominante dentro de las parcelas.
- Diferencias aleatorias o sistemáticas entre el desarrollo actual de la altura dominante y las curvas de Índice de Sitio. Los errores sistemáticos pueden, por ejemplo, ser causados por el uso de expresiones analíticas inadecuadas para las funciones que fundamentan las curvas. Un error aleatorio puede ser, por ejemplo, variación de las condiciones hídricas entre años.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Este trabajo deriva del proyecto de investigación europeo “Gestión integrada e inteligente de bosques complejos y plantaciones mixtas del SUDOE” cuya referencia es SOE4/P1/E1012, que está financiado a través de fondos FEDER y cuyo acrónimo es COMFOR SUDOE.

El motivo por el cual se realiza este proyecto es el estudio de las propiedades del suelo de los bosques mixtos y la influencia de dichos factores en su crecimiento. Los bosques mixtos proporcionan servicios ecosistémicos de alto valor en la sociedad y contribuyen al desarrollo sostenible. Por todos estos motivos resulta de especial interés conocer los aspectos relacionados con la silvicultura y calidad edáfica de estos bosques. El estudio tiene como última finalidad la creación de tablas de calidad para bosques mixtos en Asturias.

En el siguiente proyecto se buscan los siguientes objetivos:

- Calcular el Índice de forma para determinar la calidad de estación
- Estudiar las posibles relaciones entre el índice de forma y las propiedades del suelo.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El territorio que abarca este trabajo es la provincia de Asturias, como se vio en el apartado anterior los bosques mixtos dominan gran parte del territorio arbolado, sobre todo en los pisos colino y montano; y es allí donde se encuentran las parcelas de inventariación. En concreto los diferentes bosques complejos de la cornisa cantábrica seleccionada se encuentran en el Parque Natural -PN- de redes, PN de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias y Zona Especial Conservación -ZEC- de Ancares.

El Parque Natural (PN) de Redes, se encuentra situado en la zona centro oriental de la Cordillera Cantábrica, incluyendo por completo los concejos de Caso y Sobrescobio, en él se encuentran enclavadas 3 de las 11 parcelas de inventario (Figura 3.1, Tabla 3.1).

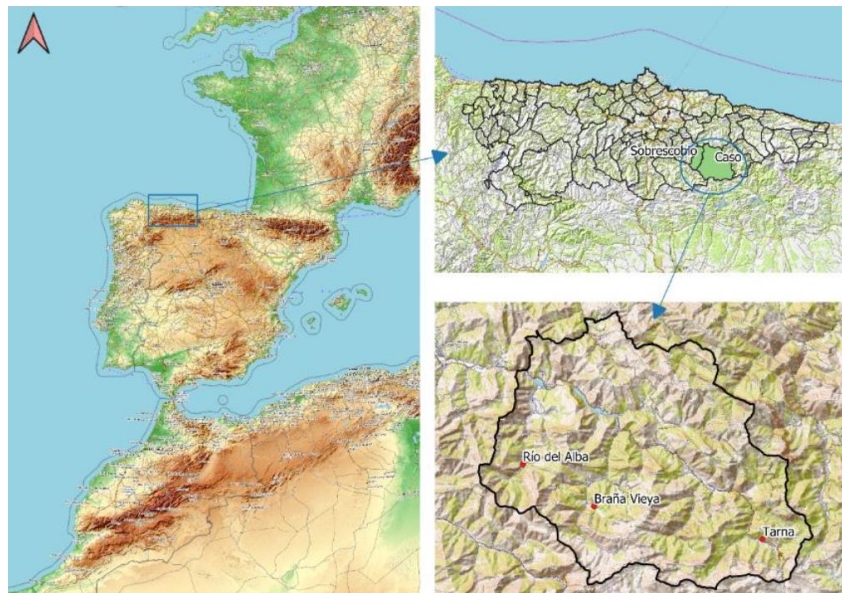


Figura 3.1: Localización del PN de Redes y sus puntos de inventario

En la tabla 3.1 se determina las coordenadas de las tres parcelas de estudio del PN de Redes.

Tabla 3.1: Relación de las zonas de inventario en el PN de Redes

PARCELA	LUGAR	X	Y	Z	HUSO	S. COORD.
R1	TARNA	317979,37	4776001,31	1047,17	30	ETRS 89
R2	BRANA VIEYA	304419,57	4778649,51	842,83	30	ETRS 89
R3	RIO DEL ALBA	298685,88	4782037,83	675,64	30	ETRS 89

El Parque Natural (PN) de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias, se encuentra localizado en la zona sur occidental de la Cordillera Cantábrica, incluyendo casi por completo el concejo de Degaña, una pequeña área de la zona sur occidental del concejo de Ibias y la zona montañosa situada al sur de Cangas del Narcea. En él se encuentran enclavadas 5 de las 11 parcelas de inventario (Figura 3.2, Tabla 3.2).

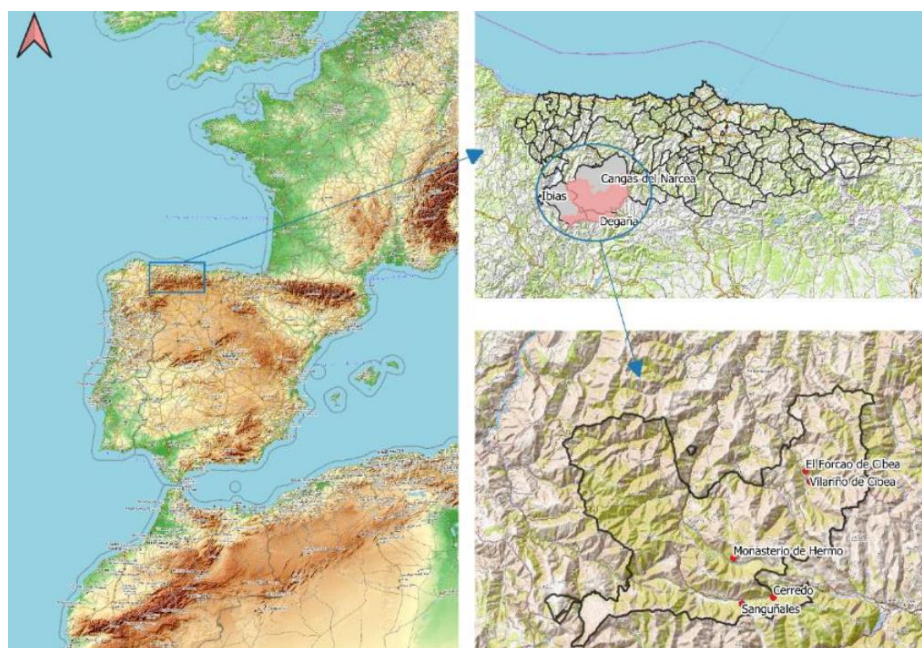


Figura 3.2: Localización del PN de Fuentes de Narcea, Degaña e Ibias

En la tabla 3.2 se determina las coordenadas de las cinco parcelas de estudio del PN de Fuentes de Narcea, Degaña e Ibias.

Tabla 3.2: Relación de zonas de inventario en el PN de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias

PARCELA	LUGAR	X	Y	Z	HUSO	S. COORD.
F1	EL FORCAO DE CIBEA	707529,27	4772504,69	917,88	29	ETRS 89
F2	VILLARINO DE CIBEA	708103,90	4771318,77	821,45	29	ETRS 89
F3	MONASTERIO DE HERMO	699867,85	4761827,62	1199,63	29	ETRS 89
F4	CERREDO	704822,23	4757571,16	1084,77	29	ETRS 89
F5	SANGUÑALES	701221,85	4756568,69	1002,43	29	ETRS 89

La Zona de Especial Conservación (ZEC) Ancares se encuentra localizada en la zona occidental de la Cordillera Cantábrica. Sus límites comprenden el concello de Cervantes en su totalidad, Navia de Suarna (salvo la zona noroccidental) y una pequeña zona oriental del concello de As Nogais. Se encuentran localizadas dentro de sus límites 3 de las 11 parcelas de inventario (Figura 3.3, Tabla 3.3).

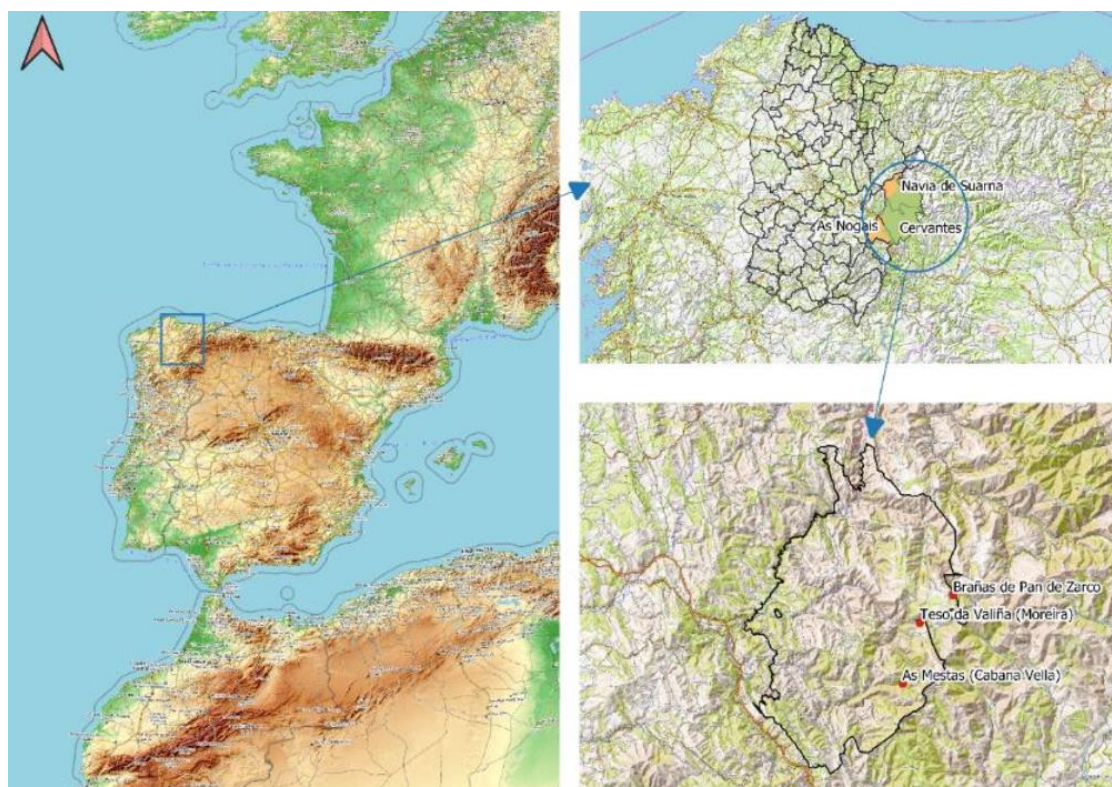


Figura 3.3: Localización de la ZEC de Ancares

En la tabla 3.3 se determina las coordenadas de las tres parcelas de estudio de la Zona Especial de Conservación (ZEC) de Ancares.

Tabla 3.3: Relación de zonas de inventario en la ZEC Ancares

PARCELA	LUGAR	X	Y	Z	HUSO	S. COORD.
R1	TARNA	317979,37	4776001,31	1047,17	30	ETRS 89
R2	BRANA VIEYA	304419,57	4778649,51	842,83	30	ETRS 89
R3	RIO DEL ALBA	298685,88	4782037,83	675,64	30	ETRS 89

3.1.1. Descripción general del medio físico

Para entender la presencia de estos bosques complejos en estas zonas se hace una breve descripción del medio del Parque Natural de Redes, del PN de Fuentes del Narcea, Degaña y Ibias, y de la Zona de Especial Conservación de los Ancares:

- Parque Natural de Redes, que comprende los concejos de Caso y Sobrescobio, se encuentra situado al sur de Asturias, en la zona centro-oriental de la cordillera cantábrica, con una extensión de 378 km². Se trata de un entorno montañoso, que supera los 2000 metros en su cumbre más alta, con un clima típicamente atlántico, donde las temperaturas suavizan tanto en invierno como en verano, con temperaturas de alta montaña en las cotas más altas, siendo extremas durante el invierno. También se encuentran en el terreno vestigios de glaciario, con algunos valles característicamente de tipo glaciar, y por otro lado paisajes kársticos. Además, destaca por su gran variedad botánica, por lo que el 40 % de la zona esta forrada de superficie boscosa de diversos tipos: fresnos, robledales...
- Parque Natural de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias con 476 Km² situado en el Suroeste de Asturias, en una zona muy montañosa, se trata de una de las zonas más boscosas de Asturias, la altitud del Parque oscila entre los 600 y 2000 metros, esto hace que se den diversos climas, pero con dominancia del clima de alta montaña; donde las temperaturas suelen ser frías en invierno y los veranos suelen ser suaves; y las precipitaciones suelen ser elevadas durante todo el año. La zona está delimitada por una gran superficie forestal con bosques de tipo atlántico con especies como roble y haya como predominantes. El terreno se forra de matorrales salvajes de enebro y arándanos en las cotas más altas y en las zonas húmedas son habituales los nenúfares.
- La Zona De Especial Conservación de los Ancares comprende 102,6 ha, en el cuadrante sudoriental de la provincia de Lugo, abarcando los municipios de Navia de Suarna, Cervantes, Becerreá, As Nogais, Triacastela, Pedrafita do Cebreiro, Samos, O Incio, Folgoso do Courel, A Pobra de Brollón, Quiroga y Ribas do Sil. Territorio marcado por grandes contrastes paisajísticos, donde predomina la alta montaña, alcanzando una altitud máxima de 1924 metros. Dentro de las especies y formaciones de flora sobresalen los robledales, los sotos de Castaño y sobre todo los bosques aluviales. El clima de alta montaña se caracteriza por temperaturas frías en invierno y suaves en verano.

3.2. Toma de muestras y material de campo

Para la realización de este trabajo se aprovecharon las muestras tomadas para el estudio dentro del proyecto de investigación europeo “Gestión integrada e inteligente de bosques complejos y plantaciones mixtas del SUDOE” cuya referencia es SOE4/P1/E1012, que está financiado a través de fondos FEDER y cuyo acrónimo es COMFOR SUDOE. Cuyo objetivo es potenciar los bosques complejos (mixtos e irregulares) así como la plantación de especies múltiples como una alternativa resiliente y adaptable a amenazas como el cambio global y el declive de la biodiversidad.

La selección de parcelas a inventariar, la instalación de estas y la toma de muestras se llevó a cabo durante el verano-otoño del año 2021.

Las muestras tomadas por este estudio proceden de parcelas instaladas en bosques complejos (mixtos e irregulares); se pretendió abarcar parcelas significativas en cuanto al desarrollo de bosques mixtos que garantizan amplia disponibilidad de servicios ecosistémicos; donde el hábitat más común se trata de bosques de roble en suelos ácidos; estas parcelas fueron instaladas en montes gestionados por el Gobierno del Principado de Asturias y la Xunta de Galicia.

Una vez determinadas las masas en las que llevar a cabo la instalación, la situación concreta de la parcela dentro del rodal se basó en los siguientes aspectos:

- Que se tratase de una zona con arbolado heterogéneo en cuanto a edad y calidad de estación.
- Que el rodal no fuese monoespecífico.

3.2.1. Toma de muestras y su preparación

Para estudiar y muestrear el horizonte de un suelo, se delimita de forma arbitraria un volumen mínimo llamado pedión, cuya superficie puede ser de 1 a 10 m² y su extensión vertical comprende desde la superficie hasta la aparición del material parental. Las dimensiones laterales del pedión deben ser suficientes para permitir el estudio de los horizontes. Cada horizonte dentro del horizonte del suelo será representado por una muestra de suelo formada por la mezcla, in situ, de tres submuestras o tomas localizadas en puntos elegidos al azar para cada horizonte.

Se utilizará una barrena de pequeñas dimensiones (20 cm aproximadamente) para la toma horizontal de las muestras de suelo de cada horizonte empezando siempre por los endopediones (desde abajo hacia arriba). Es muy recomendable realizar el muestreo del suelo en la misma época para poder comparar después los resultados obtenidos. Las submuestras tomadas de cada horizonte se introducen en una única bolsa de plástico, se identifican utilizando un lápiz con el código del horizonte, ubicación geográfica, situación del horizonte dentro del horizonte (endopediones y epipediones) y fecha de muestreo.

Recogidas las muestras en el campo, se llevan al laboratorio y se extienden dejándolas secar al aire a temperatura ambiente. A cada muestra se le pasa un rodillo con el fin de desmenuzarla lo máximo posible, así se facilita su paso por un tamiz de 2 mm de malla circular, para quitar los elementos gruesos. La tierra fina que pasa por el tamiz se almacena para los análisis posteriores en una bolsa de plástico transparente y bien identificada. (Tabla 3.4).

Tabla 3.4: Profundidades de las muestras

PARCELA	LUGAR	FECHA_MUESTRA	Profundidades (Cm)			
			Humífero	A	B	C
R2	BRANA VIEYA	17/05/2021	5	41	22	
R3	RIO DEL ALBA	18/05/2021	6	5	60	19
R1	TARNA	19/05/2021	3	32		
F3	MONASTERIO DE HERMO	24/05/2021	4	53	5	
F4	CERREDO	25/05/2021	10	12	16	
F5	SANGUÑALES	26/05/2021		20		
F1	EL FORCAO DE CIBEA	08/06/2021		21		
F2	VILLARINO DE CIBEA	08/06/2021	5	15	43	
A1	PAN DE ZARCO	29/06/2021	3	28		
A2	TESO DA VALIÑA	29/06/2021	3	22	23	
A3	CABANAVELLA	26/08/2021		16	18	46

3.2.2. Equipos empleados

Para realizar la toma de datos del apartado anterior se emplearon los siguientes materiales:

- GPS de la marca Garmin, modelo eTrex Legend. Su pantalla tiene un tamaño de 2,7x5,4 y una resolución de 160x288 píxeles. Precisión de 6 metros.
- Barrena helicoidal.
- Cámara de fotos.
- Bolsas de plástico para depositar las muestras.



Figura 3.4 GPS



Figura 3.5 Barrena helicoidal

3.2.3. Análisis de laboratorio

Esta serie de procedimientos fueron llevados a cabo en el laboratorio de Ingeniería Agroforestal del Campus de Mieres, para obtener detalladamente los valores correspondientes a las características de los diferentes suelos con los que nos encontramos en nuestras parcelas de ensayo.

Las determinaciones que vamos a realizar son los más frecuentes en los análisis de suelos (detallados en el ANEXO I): textura, pH, conductividad eléctrica (salinidad), materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, relación C/N, fósforo asimilable, cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico efectiva.

- Textura: se determina mediante el método de la pipeta Robinsón, después de eliminar la materia orgánica con H_2O_2 al 6%, basado en que las partículas del suelo en suspensión en agua sedimentan a una velocidad que depende de su diámetro (ley de Stokes).

- pH actual (H^+ contenido en la solución del suelo): se determina mediante una relación peso de suelo: volumen de agua, 1:2,5. Los H^+ no retenidos en el complejo de cambio pasan a esta solución acuosa, donde se cuantifican con un pH-metro de sobre mesa en el laboratorio. El pH al agua medido en el campo da normalmente un valor más bajo que el medido en el laboratorio, debido a que la actividad microbiana y la respiración de las raíces, incrementa la concentración de CO_2 en el suelo, que origina un incremento de H^+ ($CO_2 + H_2O \leftrightarrow HCO_3 + H^+$) y, por tanto, un descenso del pH. La concentración de CO_2 en la muestra de suelo, disminuye durante el secado previo al análisis.

- Conductividad eléctrica: se mide, en el extracto de saturación del suelo con agua destilada, donde la relación suelo: agua es 1:5, con un conductímetro en el sobrenadante, teniendo siembre en cuenta que la lectura se refiere a 25° C.
- Materia orgánica: se determina por ignición a 450° C durante 12 horas en una mufla. Esta técnica comprende la medición de la pérdida de peso de la muestra después de realizar una combustión seca del material orgánico. La relación entre la materia y el carbono orgánicos es: $MO = 1,724 \times C$. Esta relación es válida para suelos con menos del 5,8% de carbono orgánico. Cuando se supera esta cifra, la relación sería:
 - Nitrógeno total: Las formas nitrogenadas son, orgánicas, amoniacales y nítricas, siendo la primera de ellas la que se encuentra en mayor proporción en el suelo. Para su determinación se utiliza el método de Kjeldahl, que valora conjuntamente el nitrógeno orgánico y el amoniacal, sin detectar el nítrico. Dado que el contenido de nitrógeno nítrico suele ser muy bajo, a efectos prácticos se considera el resultado obtenido por este procedimiento, como nitrógeno total. El método Kjeldahl se basa en la reducción del nitrógeno orgánico a amoniacal. El análisis del amonio resultante se realiza mediante colorimetría. Su valoración sólo tiene validez para evaluar el estado de la materia orgánica (relación C/N) y no sirve para evaluar la fertilidad actual del suelo, ya que hace referencia a un nitrógeno que tiene que transformarse previamente, para que pueda ser asimilado por la planta.
 - Fósforo asimilable: las formas iónicas son las formas asimilables inmediatamente o a corto plazo. El fósforo iónico está contenido en la solución del suelo y retenido en la superficie de ciertas partículas sólidas (adsorbido al complejo arcillo-húmico, a óxidos de hierro y aluminio y a los carbonatos, sobre todo la caliza activa), con un equilibrio de intercambio entre ambas formas. Los métodos analíticos para determinar la fracción de fósforo asimilable o fácilmente disponible a corto plazo se basan, en el empleo de un extractante químico que se acomoda a las condiciones del suelo que afectan a las diferentes formas asimilables de fósforo (pH, contenido de arcilla, materia orgánica, óxidos de hierro y aluminio y carbonatos). En nuestro caso, se hará uso del extractante multi-elemento Mehlich 3 (PM3), utilizado de forma creciente en los últimos años, ya que está altamente correlacionado con la extracción de fósforo por la planta y con el rendimiento vegetal. Parece el método más adecuado para la estimación de fósforo asimilable en una amplia gama de suelos. El nivel crítico de PM3 es alrededor de 30 mg P/kg.

- Cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE): los métodos analíticos para determinar los principales cationes de cambio se basan en desplazarlos y posteriormente cuantificarlos. La solución extractante o desplazante más utilizada es la de Cloruro de amonio (ClNH_4) 1 N. Los cationes intercambiables que se miden en un aparato de absorción atómica son: Ca, K, Mg, Na y Al (acidez intercambiable). La CICE es la suma de todos ($\text{Ca}+\text{K}+\text{Mg}+\text{Na}+\text{Al}$ en $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$). La capacidad de cambio varía con el pH. Cuando un suelo ácido se neutraliza progresivamente (por aporte de enmiendas calcáreas), se observa que a medida que aumenta el pH, el suelo es capaz de absorber nuevas cantidades de calcio. Esta es, la razón, por la que se adquiere la costumbre de medir la capacidad de cambio a pH 7 con ayuda de disoluciones tamponadas (acetato amónico 1N a pH 7), ya que la finalidad era, realizar la CIC para el cálculo de la necesidad de cal, con el fin de llevar el pH del suelo a la neutralidad. Es decir, conocer la cantidad máxima de calcio que el suelo podría fijar a este pH. Por el contrario, y en nuestro caso para definir el estado actual del complejo absorbente de un suelo, es preferible medir la CICE al pH del suelo, usando una disolución no tamponada, obteniéndose así valores claramente inferiores (casi la mitad) que si se utilizan soluciones tamponadas a mayor pH.

3.2.4. Estimación del índice de Forma de cada parcela

La calidad de estación se refiere a la capacidad de un lugar determinado para el crecimiento de los árboles y/o cualquier otra vegetación, denominándose también “productividad forestal”. Las estimaciones precisas de esta productividad son un elemento clave en la gestión forestal, ya que permiten determinar la posibilidad anual y el periodo de rotación de las cortas, además de ayudar a la toma de decisiones acerca de elección de las especies más adecuadas para una localización concreta. Idealmente, dicha productividad debería cuantificarse directamente al final del ciclo productivo en términos de volumen de madera; sin embargo, esta aproximación no es factible debido a las largas rotaciones de las masas forestales, y a que sería necesario conocer tanto los volúmenes extraídos en cortas intermedias como los perdidos por causas naturales. Por tanto, es necesario utilizar indicadores de la productividad potencial. Para ello, se pueden considerar tanto factores intrínsecos (evolución con la edad de alguna variable de masa) como factores extrínsecos a la masa (clima, suelo, vegetación, etc.).

Los primeros han proporcionado generalmente mejores resultados, y dentro de ellos, la altura dominante se ha mostrado como el más adecuado por su baja dependencia de la densidad de la masa y de los tratamientos selvícolas habituales, así como por estar estrechamente relacionada con la producción total en volumen.

Por tal motivo, el potencial de crecimiento o calidad de estación se suele expresar mediante el índice de forma que es el valor de la altura dominante de la masa a un determinado diámetro de referencia.

Sin embargo, el ajuste de ecuaciones que relacionen el índice de forma con parámetros edáficos, fisiográficos y climáticos es de gran interés para predecir la calidad de estación de terrenos recién repoblados con una determinada especie.

Para determinar el Índice de Forma en nuestras parcelas, se tendrá que saber de antemano el diámetro y la altura dominante; también se deberá saber las especies dominantes presentes en las parcelas de estudio para definir los parámetros de estimación correspondientes para implementar en la fórmula del índice de forma (tabla 3.5).

Tabla 3.5: Diámetro de referencia (Dref, en cm), Modelo y parámetros seleccionados para cada especie (Aguirre *et al.*, 2022)

Species	Dref	Model - expanded parameter	Parameter estimations
<i>P. sylvestris</i>	30	Hossfeld II - a	$b = 0.1365$
<i>P. uncinata</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0622$ $c = 2.4589$
<i>P. pinea</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0527$ $c = 2.5332$
<i>P. halepensis</i>	30	Hossfeld II - a	$b = 0.1693$
<i>P. nigra</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0498$ $c = 2.1605$
<i>P. pinaster</i>	30	Hossfeld II - a	$b = 0.1504$
<i>P. canariensis</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0445$ $c = 2.2683$
<i>P. radiata</i>	30	Hossfeld II - a	$b = 0.1211$
<i>A. alba</i>	50	Hossfeld II - a	$b = 0.1409$
<i>J. thurifera</i>	25	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0255$ $c = 0.8090$
<i>Q. robur</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0648$ $c = 2.1250$
<i>Q. petraea</i>	25	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0655$ $c = 1.7517$
<i>Q. pyrenaica</i>	30	Hossfeld II - b	$a = 2.1262$
<i>Q. faginea</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0824$ $c = 1.9526$
<i>Q. ilex</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0775$ $c = 1.4340$
<i>Q. suber</i>	30	Bertalanffy-Richards - b	$a = 15.2207$ $c = 0.9942$
<i>Pop. nigra</i>	30	Hossfeld II - b	$a = 1.6845$
<i>E. globulus</i>	30	Hossfeld II - a	$b = 0.1294$
<i>E. camaldulensis</i>	30	Bertalanffy-Richards - b	$a = 33.7476$ $c = 0.8755$
<i>F. sylvatica</i>	30	Hossfeld II - b	$a = 2.8956$
<i>C. sativa</i>	30	Hossfeld II - b	$a = 0.7673$
<i>Q. pubescens</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0911$ $c = 2.6706$
<i>Pop. × canadiensis</i>	30	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0492$ $c = 1.7866$
<i>B. alba</i>	25	Bertalanffy-Richards - a	$b = 0.0272$ $c = 1.0753$

Como la especie predominante en las parcelas de estudio de este trabajo corresponden a *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., partimos de los siguientes parámetros:

- Diámetro de Referencia: 25 cm
- Modelo: Bertalanffy-Richards – a
- Parámetro b=0.0655
- Parámetro c=1.7517

La expresión del modelo para determinar el índice de forma para las masas de bosque mixto de las parcelas de estudio es la siguiente (Aguirre, y otros, 2022):

$$IF = 1.3 + (H0 - 1.3) \times \left[\frac{1 - e^{-bDref}}{1 - e^{-bD0}} \right]^c$$

Donde IF es el Índice de Forma en metros (altura dominante a el diámetro de referencia de 25 cm), H0 es la altura dominante de la parcela en metros, D0 es el diámetro dominante en centímetros y los parámetros b y c correspondientes (tabla 3.9)

3.2.5. Métodos estadísticos

3.2.5.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Analiza las características de una población o muestra definiéndose unas propiedades a cerca de su estructura y composición.

- **Mínimo y Máximo:** son el valor más alto y bajo de un conjunto de datos.
- **Media:** La media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos (Tomeo Perucha y Uña Juárez, 2003):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

- **Desviación típica:** Es la raíz cuadrada de la varianza. Es un índice muy sensible a las puntuaciones extremas, cuanto más pequeño sea su valor mayor será la concentración de datos alrededor de la media (Tomeo Perucha y Uña Juárez, 2003):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

3.2.5.2. ANALISIS DE CORRELACIÓN LINEAL

El análisis de correlación lineal tiene como objetivo el estudio del grado de relación existente entre variables aleatorias, en este trabajo se utilizó para la correlación entre el estado nutricional, algunos factores edáficos y el índice de sitio.

En este estudio se ha utilizado el coeficiente de correlación de Pearson, que mide la relación estadística entre dos variables continuas. Si la asociación entre los elementos no es lineal, entonces el coeficiente no se encuentra representado adecuadamente. Este coeficiente puede tomar valores que van de +1 a -1; un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables, un valor mayor que 0 indica una asociación positiva, es decir, a medida que aumenta el valor de una variable también lo hace la otra. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye.

Para poder realizar la correlación de Pearson hay que cumplir los siguientes criterios: la asociación ha de ser lineal, no debe haber valores atípicos en los datos, la escala de medida tiene que ser una escala de intervalo o relación.

El coeficiente de correlación de Pearson se calcula a través de la siguiente formula:

$$R_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Donde "x" pertenece a la variable número uno, "y" pertenece a la variable número 2, "Zx" es la desviación estándar de la variable 1, "Zy" es la desviación estándar de la variable 2 y "N" es el número de datos.

Los análisis se han llevado a cabo con el programa SpSS 28.

3.2.5.3. TEST DE TUKEY

El test de tukey es un test de comparaciones múltiples que tiene como fin comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos.

Este test es presentado en el año 1949 por John W. Tukey y permite diferenciar si los resultados obtenidos son significativamente diferentes o no. Se dice que un experimento es balanceado cuando el tamaño de todas las muestras estadísticas es igual en cada tratamiento. Cuando el tamaño de las muestras es diferente para cada tratamiento, se tiene entonces un experimento no balanceado.

Se ha utilizado el método de Tukey para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en las parejas. El test de Tukey no es único, existiendo muchas más pruebas para comparar medias muestrales, pero esta es una de las más conocidas y aplicadas.

Para su aplicación se calcula el valor w , llamado comparador de Tukey cuya fórmula es la siguiente:

$$w = q \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$

Siendo q el factor obtenido de la tabla Tukey, que consta de fila de valores q para diferente número de tratamientos o experimentos. Las columnas indican el valor de q para los diferentes grados de libertad. El factor MSE es el error medio cuadrático (obtenido en el análisis de varianzas) y r es el número de repeticiones.

Cuando la diferencia de dos valores medios sobrepasa el al valor, se dice que se trata de promedios diferentes, pero si esta diferencia es menor que w , se trata de dos muestras con valor promedio estadísticamente idéntico.

3.2.5.4. REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE

Se habla de regresión lineal cuando la función matemática que mejor se aproxima a la nube de puntos es la correspondiente a una línea recta. Permite generar un modelo lineal en el que el valor de la variable dependiente o respuesta (Y) se determina a partir de un conjunto de variables independientes llamadas predictores (X_1, X_2, X_3). Los modelos de regresión múltiple pueden emplearse para predecir el valor de la variable dependiente o para evaluar la influencia que tienen los predictores sobre ella.

Se determina mediante la siguiente expresión (Coquillat, 1981):

$$\varphi = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot \beta_2 + \dots + \beta_p \cdot \beta_p + \varepsilon$$

donde β_0 : intersección o término constante.

β_i ($i > 0$): parámetro respectivo a cada variable independiente.

p : número de parámetros independientes.

ε : es el residuo o error, la diferencia entre el valor observado y el estimado por el modelo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis descriptivos de las propiedades del suelo

La tabla 4.1 recoge los resultados de los análisis descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación estándar) para todos los horizontes.

Tabla 4.1: análisis descriptivos (media, mínimo, máximo y desviación estándar) de las propiedades del suelo para el horizonte humífero y Horizonte A

	HORIZONTE HUMÍFERO				HORIZONTE A			
	Mínimo	Máximo	Media	St	Mínimo	Máximo	Media	St
IF	10,35	24,67	18,01	4,25	9,99	24,67	17,42	4,50
pH	2,86	5,22	4,20	0,75	3,72	5,32	4,57	0,49
CE	0,22	0,66	0,45	0,16	0,03	0,15	0,07	0,04
MO	26,38	85,58	58,69	21,36	8,22	18,77	12,32	3,51
C	15,31	49,67	34,07	12,40	4,64	10,89	6,97	2,17
N	0,84	5,90	2,38	1,67	0,22	1,23	0,47	0,27
C/N	8,42	22,35	16,83	4,33	8,85	23,07	16,11	4,12
P	12,19	67,50	40,77	19,85	2,50	11,88	6,33	3,39
Ca	2,11	5,54	3,20	1,24	1,05	1,86	1,26	0,23
Mg	1,94	4,01	2,64	0,72	0,29	1,58	0,59	0,36
K	1,02	1,46	1,24	0,15	0,14	0,69	0,32	0,16
Na	0,78	1,72	1,24	0,33	0,44	1,25	0,77	0,22
Al	1,02	1,69	1,18	0,22	1,03	1,75	1,24	0,25
CICE	7,06	13,60	9,51	2,28	3,05	6,15	4,17	0,78
Ca/Mg	0,97	1,38	1,19	0,16	1,18	3,98	2,54	0,84
K/Mg	0,36	0,66	0,49	0,11	0,35	0,79	0,57	0,13
AR	62,84	82,37	76,71	6,54	47,19	85,75	63,21	11,64
LIM	11,45	29,79	16,75	6,38	10,47	34,01	22,61	7,58
ARC	5,04	8,21	6,54	0,99	11,27	21,03	17,29	2,92
Bouyoucos	84,34	91,47	88,00	2,26	93,46	97,49	96,16	1,33
PMP	6,31	7,98	7,11	0,57	9,32	13,35	11,63	1,21
CC	15,14	19,45	16,38	1,45	17,95	24,73	21,81	2,41
Saturación	36,43	39,71	37,97	1,05	41,28	46,04	44,20	1,78
Tasa Drenaje	3,80	6,37	4,99	0,89	0,64	2,28	1,16	0,48
Disponibilidad Agua	8,40	11,50	9,27	1,06	7,40	12,54	10,17	1,51
Da	1,60	1,68	1,64	0,03	1,43	1,56	1,48	0,05

Siendo St: desviación estándar; IF: Índice de forma; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; CICE: Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva; AR: Arena; LIM: limo; ARC: arcilla; PMP: Punto de Marchitez Permanente; CC: Capacidad de campo; Da: densidad aparente.

Tabla 4.1: continuación horizontes B y C

	HORIZONTE B				HORIZONTE C			
	Mínimo	Máximo	Media	St	Mínimo	Máximo	Media	St
IF	10,35	24,67	17,72	4,53	16,18	20,82	18,50	3,28
pH	4,33	5,68	5,02	0,53	5,15	5,52	5,34	0,26
CE	0,02	0,24	0,07	0,08	0,02	0,03	0,03	0,01
MO	5,31	8,37	7,06	1,17	4,96	5,59	5,28	0,45
C	3,08	4,86	4,10	0,68	2,88	3,24	3,06	0,25
N	0,24	0,61	0,34	0,13	0,10	0,21	0,16	0,08
C/N	5,05	17,36	13,47	4,25	15,36	27,69	21,53	8,72
P	1,67	6,46	4,23	1,69	2,40	2,63	2,52	0,16
Ca	0,83	1,20	1,08	0,12	0,80	0,83	0,81	0,02
Mg	0,21	0,37	0,27	0,08	0,20	0,25	0,23	0,03
K	0,10	0,26	0,17	0,06	0,13	0,14	0,13	0,01
Na	0,57	1,17	0,78	0,23	0,60	0,67	0,63	0,05
Al	1,04	1,39	1,24	0,16	1,03	1,04	1,04	0,01
CICE	3,15	4,03	3,55	0,33	2,84	2,85	2,84	0,01
Ca/Mg	2,95	5,19	4,13	0,90	3,31	3,94	3,62	0,45
K/Mg	0,35	0,85	0,65	0,20	0,51	0,69	0,60	0,13
AR	44,71	73,43	61,10	10,02	64,77	69,33	67,05	3,22
LIM	10,63	28,96	19,62	6,18	18,40	21,42	19,91	2,14
ARC	13,28	26,98	19,28	6,06	12,27	13,81	13,04	1,09
Bouyoucos	94,90	98,30	96,45	1,43	94,35	95,31	94,83	0,68
PMP	10,21	15,74	12,64	2,42	9,78	10,42	10,10	0,46
CC	20,00	27,49	22,85	3,21	19,47	20,61	20,04	0,81
Saturación	42,60	48,00	44,92	2,33	42,06	43,05	42,56	0,70
Tasa Drenaje	0,38	1,68	1,00	0,57	1,56	1,94	1,75	0,27
Disponibilidad Agua	8,70	12,16	10,21	1,14	9,70	10,19	9,95	0,35
Da	1,38	1,52	1,46	0,06	1,45	1,54	1,49	0,06

- **pH del suelo**

El pH del suelo es definido como el logaritmo negativo de la concentración del ión (H^+) y sirve para expresar su grado de acidez o basicidad. El pH tiene una gran importancia en las propiedades físicas y químicas de los suelos. La asimilación de nutrientes del suelo está influenciada por él, ya que determinados nutrientes se pueden bloquear en determinadas condiciones de pH y no son asimilable para las plantas.

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- Para el horizonte humífero el pH oscilo entre 2,86 y 5,22, presentando un valor medio de 5,22 (suelo fuertemente acido).
- Para el horizonte A el pH oscilo entre 3,72 y 5,32, presentando un valor medio de 4,57 (suelo muy fuertemente acido).
- Para el horizonte B el pH oscilo entre 4,33 y 5,68, presentando un valor medio de 5,02 (suelo fuertemente acido).
- Para el horizonte C el pH oscilo entre 5,15 y 5,52, presentando un valor medio de 5,33 (suelo fuertemente acido).

Se puede ver como los resultados obtenidos de pH del suelo van aumentando (suelos más ácidos) a medida que incrementa la profundidad de los suelos, esto es debido a la mayor acumulación de materia orgánica en los horizontes más superficiales.

La tabla 4.2 presenta los distintos efectos del pH sobre la disponibilidad de los nutrientes del suelo y la figura 4.1 presenta en suelos minerales la movilidad de los elementos en función del pH.

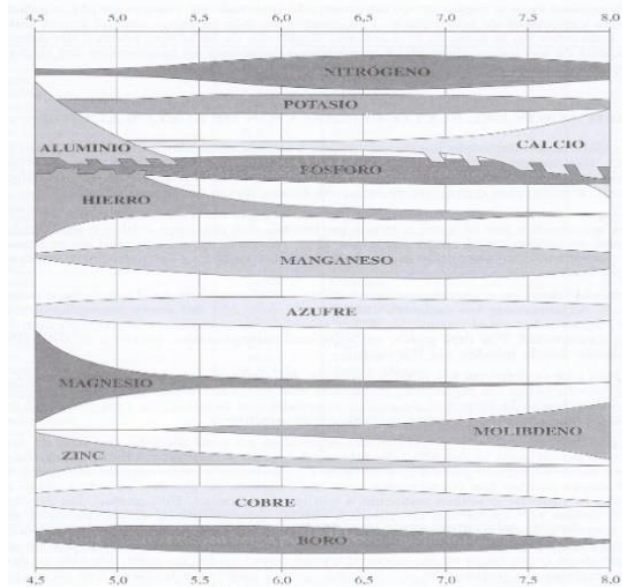


Figura 4.1 La movilidad de los elementos en el suelo varía en función del pH

Tabla 4.2: Evaluación del pH y sus efectos

pH	Evaluación	Efectos en el intervalo
<4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5-5	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al ³⁺ y exceso de Co, Cu, Fe, Mn, Zn;
5,1-5,5	Fuertemente ácido	deficiencia en Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Escasa actividad bacteriana.
5,6-6	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos; máxima
6,1-6,5	Ligeramente ácido	disponibilidad de nutrientes (por debajo de pH 7 el CaCO ₃
6,6-7,3	Neutro	no es estable)
7,4-7,8	Medianamente básico	Suelos generalmente con CaCO ₃ ; disminuye la disponibilidad
7,9-8,4	Básico	de P y B; deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn, Zn
8,5-9,0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, el pH alto puede deberse al MgCO ₃ , si no hay Na intercambiable
9,1-10	Alcalino	Presencia de carbonato sódico; elevado porcentaje de Na intercambiable (ESP>15%); toxicidad Na, B; escasa actividad
>10	Fuertemente alcalino	microbiana; micronutrientes poco disponibles excepto Mo

• **Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica se mide en los análisis de suelo para conocer si dicho suelo es o no salino. El efecto principal de la salinidad es hacerle más difícil a las plantas la absorción del agua del suelo. En suelos no salinos, sólo la atracción del agua por las partículas del suelo contribuye al potencial de agua total. En suelos salinos, el agua también es atraída por los iones en solución, por lo que hay menos agua disponible para las plantas.

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- Los valores de la CE en el horizonte húmico oscilaron entre un valor mínimo de (0,22 dS/m) y uno máximo de (0,66 dS/m), con un valor medio de (0,45 dS/m). Por ello la evaluación del suelo sería LIGERAMENTE SALINO.

- Los valores de la CE en el horizonte A oscilaron entre un valor mínimo de (0,03 dS/m) y uno máximo de (0,15 dS/m), con un valor medio de (0,072 dS/m). Por ello la evaluación del suelo sería NO SALINO.
- Los valores de la CE en el horizonte B oscilaron entre un valor mínimo de (0,02 dS/m) y uno máximo de (0,24 dS/m), con un valor medio de (0,07 dS/m). Por ello la evaluación del suelo sería NO SALINO.
- Los valores de la CE en el horizonte C oscilaron entre un valor mínimo de (0,02 dS/m) y uno máximo de (0,03 dS/m), con un valor medio de (0,027 dS/m). Por ello la evaluación del suelo sería NO SALINO.

Se pueden ver las diferencias obvias del horizonte humífero con los horizontes minerales A, B y C. Por lo que en los horizontes minerales los suelos son no salinos.

La tabla 4.3 muestra presenta los diferentes efectos la CE sobre la disponibilidad de los nutrientes del suelo.

Tabla 4.3 Evaluación de los niveles orientativos de la CE (dS/m) en el suelo.

CE (dS/m)	EVALUACIÓN
<0,35	NO SALINO
0,36-0,65	LIGERAMENTE SALINO
0,66-1,15	SALINO
>1,16	MUY SALINO

- **Materia orgánica (MO)**

La materia orgánica es esa porción del suelo que incluye restos de animales y plantas en varios estados de descomposición. En los bosques proviene de las hojas caídas, troncos de árboles muertos y de raíces de árboles. Está compuesta de complejos compuestos que contiene carbono. Los átomos de carbono, al contrario que otros elementos, forman cadenas largas de forma natural. Estas proporcionan un almacén al que se adhieren otros elementos como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, para constituir la amplia serie de compuestos orgánicos necesarios para la vida.

Los bosques generan materia orgánica como residuos en la superficie del suelo. Ésta se descompone en una delgada capa de materia orgánica, el horizonte O, en la superficie.

Los insectos, gusanos, y otros animales mezclan el material en los pocos centímetros superiores del suelo, conformando un horizonte A poco profundo y rico en humus.

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- El porcentaje medio de materia orgánica que tenemos en el horizonte humífero como cabe esperar es de 58,69, teniéndose un valor mínimo de 26,38 % y un máximo de 85,58 %. Esto es debido a una acumulación de materia orgánica depositada en la superficie del suelo.
- El porcentaje medio de materia orgánica que tenemos en el horizonte A es de 12,31%, siendo un valor de materia orgánica MUY ALTO, teniéndose un valor mínimo de 8,22% y un máximo de 18,77%. Los valores de materia orgánica estudiados son todos MUY ALTOS.
- El porcentaje medio de materia orgánica que tenemos en el horizonte B es de 7,05%, siendo un valor de materia orgánica MUY ALTO, teniéndose un valor mínimo de 5,31% y un máximo de 8,37%. Los valores de materia orgánica estudiados son todos MUY ALTOS.
- El porcentaje medio de materia orgánica que tenemos en el horizonte C es de 5,27%, siendo un valor de materia orgánica MUY ALTO, teniéndose un valor mínimo de 4,96 % y un máximo de 5,59%. Los valores de materia orgánica estudiados son todos MUY ALTOS.

En todos los horizontes el porcentaje de materia orgánica es muy alto, lo que puede inducir al taponamiento de los macroporos, lo que produce una menor tasa de difusión del oxígeno, estresando las raíces que no pueden absorber agua al disminuirse la respiración y la energía necesaria para tal proceso.

La tabla 4.4 muestra presenta la evaluación de la materia orgánica.

Tabla 4.4: Evaluación de niveles de materia orgánica (%) en los suelos.

MO (%)	EVALUACIÓN
0-1,0	MUY BAJO
1,0-2,0	BAJO
2,0-2,5	NORMAL
2,5-3,5	ALTO
>3,5	MUY ALTO

- **Nitrógeno Kjeldahl (N)**

El nitrógeno es el elemento que más facilita el crecimiento vegetativo. Las plantas necesitan mucha cantidad de nitrógeno porque forma parte de muchos compuestos importantes, incluyendo la proteína y la clorofila. En el suelo del 97% al 99% del nitrógeno se encuentra en la materia orgánica. En cualquier momento solo un pequeño porcentaje del nitrógeno es mineralizado a formas aptas para su empleo.

La siguiente tabla muestra unos niveles orientativos de los valores de nitrógeno según el método Kjeldahl que fue el método usado en el laboratorio.

Tabla 4.5 :Evaluación de los niveles de nitrógeno (%), Método Kjeldahl

N (%)	EVALUACIÓN
<0,05	MUY BAJO
0,06-0,10	BAJO
0,11-0,20	NORMAL
0,21-0,40	ALTO
>0,41	MUY ALTO

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- El valor medio de nitrógeno del horizonte humífero es de 2,38 % que resulta ser un valor MUY ALTO, un valor mínimo de 0,84% y un máximo de 5,90%.
- El valor medio de nitrógeno del horizonte A es 0,47% que resulta ser un valor MUY ALTO, un valor mínimo de 0,22 % y un máximo de 1,23%.
- El valor medio de nitrógeno del horizonte B es 0,33% que resulta ser un valor ALTO, un valor mínimo de 0,24% y un máximo de 0,61%.
- El valor medio de nitrógeno del horizonte C es de 0,15% que resulta ser un valor NORMAL, un valor mínimo de 0,10% y un máximo de 0,21%.

Se debe incidir en que en el conjunto de los horizontes y parcelas se encontraron valores que oscilaron desde niveles normales a niveles muy altos, por lo que cabe destacar la gran variabilidad en los niveles de Nitrógeno en toda la superficie estudiada. En el horizonte humífero, el contenido de nitrógeno es muy alto comparado con los horizontes minerales. Este resultado se debe al muy alto contenido de materia orgánica en los horizontes minerales, pero en especial en el horizonte humífero.

- **Relación carbono/nitrógeno (C/N)**

De los muchos elementos requeridos para la descomposición microbiana de la materia orgánica, el carbono y el nitrógeno son los mayoritarios. La relación C/N es un parámetro que evalúa la calidad de los restos orgánicos de los suelos, es decir, determina el grado de mineralización de la materia orgánica que existe en el suelo, así como el tipo de humus que se encuentra en él.

En realidad, el umbral de mineralización del N se sitúa en una relación C/N igual a 25. Es decir, cuando más baja es la relación C/N mejor mineralización de la materia orgánica y, por tanto, la calidad edáfica será superior.

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- En el horizonte húmico tenemos una relación media de 16,83 lo cual es un valor ADECUADO, un valor mínimo de 8,42 y un máximo de 22,35.
- En el horizonte A tenemos una relación media de 16,10 lo cual es un valor ADECUADO, un valor mínimo de 8,85 y un máximo de 23,07.
- En el horizonte B tenemos una relación media de 13,57 lo cual es un valor ADECUADO, un valor mínimo de 5,05 y un máximo de 17,36.
- En el horizonte C tenemos una relación media de 21,52 lo cual es un valor ADECUADO, un valor mínimo de 15,36 y un máximo de 27,69.

En el conjunto de horizontes de las parcelas se dieron valores adecuados.

En la tabla 4.6 se detalla la evaluación de la relación C/N en las parcelas de estudio.

Tabla 4.6: Distribución de la relación C/N en las parcelas objeto de estudio

C/N	EVALUACIÓN
<8	MUY BAJA
8-12	BAJA
12-25	ADECUADA
25-30	ELEVADA
>30	MUY ELEVADA

- **Fósforo disponible extraído por el método de Mehlich 3 (PM3)**

El núcleo de cada célula de la planta contiene fósforo, por lo que la división y crecimiento celular dependen de las cantidades adecuadas de él. El fósforo forma parte de todos los tejidos de la planta, en una proporción cuyo valor medio es de 0,5 a 1% de la materia seca (expresada esa proporción en P_2O_5).

Su deficiencia ocasiona un crecimiento débil del sistema radical y de las partes aéreas. Las hojas más viejas son las que presentan mayores síntomas de deficiencia (menor tamaño con tonalidad azul verdosa), debido a que este elemento se mueve con rapidez desde las hojas más viejas a las más jóvenes.

En muchos suelos de cultivos las plantas no pueden sacar las provisiones del suelo lo suficientemente rápido como para producir una cosecha completa. Por esa razón, los agricultores fertilizan el suelo con fosfato para compensar por fijación. En la naturaleza, muchas, o incluso la mayoría de las plantas, poseen adaptaciones a suelos con bajo contenido de fósforo, incluyendo la asociación con hongos de micorrizas. Se presenta una tabla orientativa de los niveles críticos de fósforo en el suelo.

Tabla 4.7: Niveles críticos del fosforo

NIVELES CRITICOS	
$P < 30 \text{ mg kg}^{-1}$	probablemente exista respuesta al abonado con P
$30 \text{ mg kg}^{-1} < P < 40 \text{ mg kg}^{-1}$	la respuesta al abonado con P puede depender de otras propiedades del suelo y de la planta
$P > 40 \text{ mg kg}^{-1}$	probablemente no exista respuesta al abonado

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- En horizonte humífero el P osciló entre un valor mínimo de 12,19 ppm y uno máximo de 67,50 ppm, presentando un valor medio de 40,77 ppm. Se supera el nivel crítico de 30 mg/Kg, así que es de esperar que en ellas no exista respuesta al abonado fosfatado.
- En horizonte A el P osciló entre un valor mínimo de 2,50 ppm y uno máximo de 11,88 ppm, presentando un valor medio de 6,33 ppm; con lo que probablemente exista respuesta al abonado con P.

- En horizonte B el P osciló entre un valor mínimo de 1,67 ppm y uno máximo de 6,46 ppm, presentando un valor medio de 4,23 ppm; con lo que probablemente exista respuesta al abonado con P.
- En horizonte C el P osciló entre un valor mínimo de 2,40 ppm y uno máximo de 2,63 ppm, presentando un valor medio de 2,51 ppm; con lo que probablemente exista respuesta al abonado con P.

En la mayoría de las parcelas de los horizontes minerales, se podría esperar una respuesta positiva en caso de abonado fosfatado; aunque como se mencionó anteriormente en la naturaleza (en nuestro caso), la mayoría de las plantas poseen adaptaciones a suelos con bajo contenido de fósforo (asociación con hongos de micorrizas).

- **Textura**

La textura es una expresión cualitativa y cuantitativa del tamaño de las partículas. Cualitativa ya que se refiere al comportamiento que resulta del tamaño y de la naturaleza de los constituyentes del suelo, y cuantitativa por ser una expresión porcentual de sus partículas (arena, limo y arcilla) (Honorato, 2000).

Las posibles combinaciones entre estos porcentajes determinan la clase textural del suelo, la cuales presentan un comportamiento determinado. La textura es una de las propiedades físicas más importantes del suelo, pues afecta esencialmente a las demás propiedades físicas y a muchas propiedades químicas y biológicas que se correlacionan con ella.

Así pues, la textura influye sobre las siguientes características: porosidad, aireación, retención y movimiento de agua, escorrentía superficial e infiltración, drenaje y permeabilidad, desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados, susceptibilidad a la erosión, fertilidad y contenido de materia orgánica (Honorato, 2000). Gracias a el triángulo de clases texturales desarrollado por USDA (Figura 4.2), los suelos objeto de nuestro estudio se clasifican en las diferentes texturas detalladas en la tabla 4.8.

Debemos tener en cuenta que los suelos francos son aquellos que se muestran equilibrados con propiedades compensadas. Un exceso de arcilla los hace ricos en nutrientes pero impermeables y asfixiantes; los suelos limosos presentan una mala aireación y aquellos con un alto porcentaje de arenas son inertes desde el punto de vista químico y muestran una nula retención de agua.

A continuación, se detallan los resultados de la textura en los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- En el horizonte humífero observamos cantidades de arena muy elevadas, predominio de suelos arenoso-francos. Con un porcentaje medio de 76,71 %, 17,75 % y 6,54 % de arena, limo y arcilla respectivamente.
- En el horizonte A observamos cantidades de arena elevadas, predominio de suelos franco-arenosos. Con un porcentaje medio de 63,21 %, 22,61 % y 17,29 % de arena, limo y arcilla respectivamente.
-
- En el horizonte B observamos cantidades medias a elevadas de arena con predominio de suelos franco-arenosos. Con un porcentaje medio de 61,10%, 19,62 % y 19,28 % de arena, limo y arcilla respectivamente.
- En el horizonte C observamos predominio de suelos franco-arenosos con cantidades elevadas de arena. Con un porcentaje medio de 67,05 %, 19,91 % y 13,04 % de arena, limo y arcilla respectivamente.

En los horizontes minerales hay predominio de Arenas y los bosques mixtos prefieren suelos franco-arenosos, por lo que podríamos considerar adecuados los suelos analizados para el desarrollo de este tipo de bosques. En el horizonte humífero el contenido de MO es muy alto, por lo que afecta a la lenta mineralización de los suelos que repercute en el exceso de arenas y una nula retención de agua.

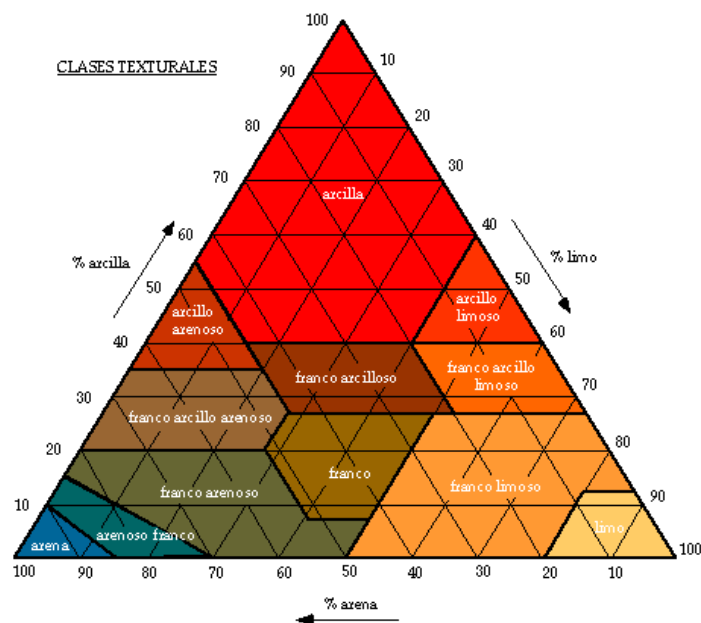


Figura 4.2: Diagrama triangular de clases texturales (USDA).

Tabla 4.8: Nombre textural y proporción de arena, limo y arcilla para todos los horizontes.

Horizonte	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nombre textural
humífero	71,02	23,15	5,83	Arenoso Franco
	79,28	13,57	7,15	Arenoso Franco
	80,46	13,37	6,17	Arenoso Franco
	78,26	13,53	8,21	Arenoso Franco
	82,37	11,45	6,18	Arenoso Franco
	78,94	16,02	5,04	Arenoso Franco
	80,51	13,11	6,38	Arenoso Franco
	62,84	29,79	7,37	Franco arenoso
A	47,19	34,01	18,8	Franco
	52,65	28,59	18,76	Franco arenoso
	62,76	20,96	16,28	Franco arenoso
	60,21	18,76	21,03	Franco arcilloso arenoso
	63,48	17,02	19,5	Franco arenoso
	85,75	31,34	17,09	Arenoso Franco
	51,85	28,77	19,38	Franco
	74,29	10,47	15,24	Franco arenoso
	73,7	15,03	11,27	Franco arenoso
	54,55	26,36	19,09	Franco arenoso
	68,83	17,45	13,72	Franco arenoso
B	44,71	28,96	26,33	Franco
	50,54	22,48	26,98	Franco arcillo arenoso
	63,62	12,97	23,41	Franco arcillo arenoso
	73,43	10,63	15,94	Franco arenoso
	67,67	19,05	13,28	Franco arenoso
	65,44	21,05	13,51	Franco arenoso
	62,29	22,17	15,54	Franco arenoso
C	64,77	21,42	13,81	Franco arenoso
	69,33	18,4	12,27	Franco arenoso

- **El Sodio (Na)**

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- Horizonte humífero: se obtuvo un valor medio de 1,24 cmol (+) /kg y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,78 cmol (+) /kg y uno máximo de 1,72 cmol (+)/kg. La valoración del Na para los suelos objeto de estudio es baja.

- Horizonte A: se obtuvo un valor medio de 0,76 cmol(+)/kg y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,44 cmol(+)/kg y uno máximo de 1,25 cmol(+)/kg. La valoración del Na para los suelos objeto de estudio es baja.
- Horizonte B: se obtuvo un valor medio de 1,24 cmol(+)/kg y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,57 cmol(+)/kg y uno máximo de 1,17 cmol(+)/kg. La valoración del Na para los suelos objeto de estudio es baja.
- Horizonte C: Se obtuvo un valor medio de 0,63 cmol (+) /kg y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,60 cmol(+)/kg y uno máximo de 0,67 cmol(+)/kg. La valoración del Na para los suelos objeto de estudio es baja.

Tabla 4.9: Valoración del contenido en Na (cmol (+) /kg)

Na (cmol₍₊₎ /kg)	VALORACIÓN
<2	BAJO
2	NORMAL
2-4,5	ALTO
>4,5	MUY ALTO

• **El calcio (Ca)**

El calcio es importante en los suelos porque facilita la absorción de otros nutrientes (P, Mo), neutraliza el aluminio y el manganeso, y activa la vida microbiana, al modificar el pH. En el caso de los suelos en estudio (suelos ácidos) sus reservas de calcio se hallan en forma de silicatos. La tabla 4.10 Interpreta el contenido del calcio.

Tabla 4.10: Interpretación del contenido del Ca (cmol(+) /kg)

Calcio asimilable	Interpretación
< 4,5	Muy bajo
4,5-9	Bajo
9-10,5	Correcto
10,5-12	Alto
> 12	Excesivo

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- En el horizonte humífero nos encontramos con un valor medio de 3,19 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 2,11 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 5,54 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Nos encontramos con valores de bajos a muy bajos.
- En el horizonte A nos encontramos con un valor medio de 1,26 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 1,05 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 1,86 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Nos encontramos con valores muy bajos.
- En el horizonte B nos encontramos con un valor medio de 1,082 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,83 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 1,20 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Nos encontramos con valores muy bajos.
- En el horizonte C nos encontramos con un valor medio de 0,81 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,8 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 0,83 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Nos encontramos con valores muy bajos.

• El magnesio (Mg)

El magnesio se encuentra en el suelo formando parte de silicatos y carbonatos y desempeña un papel importante en la fisiología de la planta: por su presencia en la clorofila; interviene en el metabolismo del P; y en la síntesis de glúcidos, prótidos y grasas.

Tabla 4.11: Interpretación del contenido de Mg ($\text{cmol}_{(+)} / \text{kg}$).

Magnesio ($\text{cmol}_{(+)} / \text{kg}$)	Interpretación
< 0,75	Muy bajo
0,75-1,5	Bajo
1,5-2,25	Correcto
2,25-3	Alto
> 3	Excesivo

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- El horizonte humífero tiene un valor medio de 2,63 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 1,94 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 4,01 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Estamos ante un nivel ALTO de magnesio.
- El horizonte A tiene un valor medio de 0,58 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,29 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 1,58 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Estamos ante un nivel MUY BAJO de magnesio.
- El horizonte B (3) tiene un valor medio de 0,27 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,21 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 0,37 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Estamos ante un nivel MUY BAJO de magnesio.
- El horizonte C (4) tiene un valor medio de 0,58 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,29 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 1,58 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Estamos ante un nivel MUY BAJO de magnesio. En una parcela hay un nivel correcto de magnesio.

Dentro de los niveles correctos nos encontramos muy pocas parcelas. En varias encontramos valores bajos, por debajo de 0,75 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$.

• El potasio (K)

El potasio se encuentra en minerales (feldespatos, mica e illita), disuelto en agua y en estado cambiante y no cambiante. El K disuelto en agua y el cambiante son los que mejor se asimilan, y el no cambiante actúa como reserva. El papel de este elemento en la fisiología de las plantas es importante, está relacionado con la síntesis de glúcidos y prótidos y con la resistencia que presentan las distintas especies vegetales a las heladas y a las enfermedades.

Los árboles pueden absorber entre 6 y 30 Kg. /Ha. y año de potasio, retornando un 50% con las hojas caídas.

Tabla 4.12 Interpretación del potasio asimilable en suelos (E.U.I.T.A., Lugo, 1986).

Potasio asimilable ($\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$)	INTERPRETACIÓN
< 0,25	Muy bajo
0,25 – 0,50	Bajo
0,50 – 0,75	Normal
0,75 – 1,00	Alto

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- Horizonte humífero: con un valor medio de 1,24 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 1,02 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 1,46 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Con lo que tenemos niveles altos para todas las parcelas.
- Horizonte A: con un valor medio de 0,32 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,14 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 0,69 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Tenemos mucha variabilidad en el contenido en K en las diferentes parcelas. La gran mayoría se encuentran entre normales.
- Horizonte B: con un valor medio de 0,17 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,10 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 0,26 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Con los que tenemos niveles muy bajos en la mayoría de las parcelas.
- Horizonte C: con un valor medio de 0,13 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y valores que oscilaron entre un valor mínimo de 0,13 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ y uno máximo de 0,14 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Con los que tenemos niveles muy bajos en todas las parcelas.

A medida que aumenta la profundidad (Horizonte humífero a horizonte C) el contenido de K disminuye hasta tener valores muy bajos en el horizonte C.

• **Relación Ca/Mg**

En la tabla se detalla la valoración de esta relación.

Tabla 4.13: Valoración de la relación Ca/Mg

Relación Ca/Mg	Valoración
<1	Deficiencia de calcio
Entre 1 y 2	Bajo nivel del calcio respecto al magnesio
Entre 2 y 5	Ideal
>5	Deficiencia de magnesio

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- En el horizonte humífero el valor medio es 1,18 y tiene un mínimo de 0,97 y un máximo de 1,38; por lo que se considera un bajo nivel de calcio respecto al magnesio.
- En el horizonte A el valor medio es 2,54 y tiene un mínimo de 1,18 y un máximo de 3,98; por lo que se considera una proporción ideal de ambos elementos.
- En el horizonte B el valor medio es 4,13 y tiene un mínimo de 2,95 y un máximo de 5,19; por lo que se considera una proporción ideal de ambos elementos.
- En el horizonte C el valor medio es 3,62 y tiene un mínimo de 3,31 y un máximo de 3,94; por lo que se considera una proporción ideal de ambos elementos.

Por lo que en todos los horizontes menos el horizonte humífero tienen un valor adecuado de esta relación.

• **Relación Mg/K**

En la tabla se detalla la valoración de esta relación

Tabla 4.14: Valoración de la relación Mg/K

Relación Mg/K	Valoración
<1	Deficiencia de magnesio
Entre 1 y 3	Aceptable
3	Ideal
Entre 3 y 18	Aceptable
>18	Deficiencia de potasio

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- En el horizonte humífero (1) el valor medio es 0,49 y tiene un mínimo de 0,36 y un máximo de 0,66; por lo que se considera un bajo nivel de magnesio.
- En el horizonte A (2) el valor medio es 0,56 y tiene un mínimo de 0,35 y un máximo de 0,79; por lo que se considera un bajo nivel de magnesio (deficiencia).
- En el horizonte B (3) el valor medio es 0,65 y tiene un mínimo de 0,35 y un máximo de 0,85; por lo que se considera un bajo nivel de magnesio (deficiencia).

- En el horizonte C (4) el valor medio es 0,59 y tiene un mínimo de 0,51 y un máximo de 0,69; por lo que se considera bajo nivel de magnesio (deficiencia).

En todos los horizontes hay deficiencia de magnesio.

- **Acidez intercambiable (aluminio)**

El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra en forma de aluminosilicatos y conforme el pH del suelo disminuye se solubiliza.

La toxicidad del aluminio ha sido reconocida como el factor limitante más importante para la producción en suelos ácidos. El síntoma principal de la toxicidad por aluminio es la inhibición del crecimiento de las raíces. El aluminio también tiene un efecto importante antagónico sobre la absorción de Mg por la planta. Esta relación es de mayor importancia en condiciones de suelos ácidos. Cuando baja el pH la solubilidad aumenta, y así la actividad de aluminio se incrementa.

Observamos que, en nuestras parcelas, al obtener valores de pH muy ácidos el contenido en Al es de normal a alto.

- **Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)**

Es la cantidad de cationes adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de peso del suelo seco, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada, en el sistema se establece un equilibrio dinámico entre los cationes de la solución externa y los que ocupan sedes de intercambio.

En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes. Los principales cambiadores son las arcillas y la materia orgánica (los dos materiales presentan propiedades coloidales). En cuanto a los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios.

- Tamaño de las partículas. Cuanto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio.
- Naturaleza de las partículas. La composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes.
- Tipo de cationes cambiables. La capacidad de cambio de cationes representa el total de cargas negativas, o lo que es lo mismo el número de cargas positivas que incorporan los cationes que vienen a fijarse.

- pH. Los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH. A pH bajos los hidrogeniones están fuertemente retenidos en las superficies de las partículas, pero a pH altos los H de los grupos carboxílicos primero y de los OH después, se disocian y los H⁺ pueden ser intercambiados por cationes. Esto es la consecuencia de que la capacidad de cambio de cationes aumente con el pH.

Los agrónomos adquieren la costumbre de medir la capacidad de cambio a pH 7 con ayuda de disoluciones tamponadas, ya que la finalidad era realizar la capacidad de intercambio catiónico para el cálculo de la necesidad de cal con el fin de llevar el pH del suelo a la neutralidad. Por el contrario, para definir el estado actual del complejo absorbente de un suelo ácido, es preferible medir la CIC al pH del suelo usando una disolución no tamponada, obteniéndose valores claramente inferiores que si utilizamos soluciones tamponadas a mayor pH. Esta medida al pH del suelo se utiliza para el estudio de los suelos ácidos forestales, como en nuestro caso, y se denomina capacidad de intercambio catiónico efectiva.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva tiene una gran importancia entre otras cosas por:

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

Para la caracterización de este parámetro se va a tomar como referencia la siguiente tabla:

Tabla 4.15: Interpretación de la CICE

CICE (cmol₍₊₎ /kg)	Interpretación
<6	Muy bajo
6 – 12	Bajo
12 – 25	Medio
25– 40	Alto
>40	Muy alto

A continuación, se detallan los resultados de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

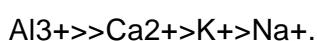
- En el horizonte humífero la media obtenida fue 9,50 de $\text{cmol}_{(+)} / \text{kg}$ lo que es un nivel bajo. Tenemos un nivel máximo de 13,60 $\text{cmol} (+) / \text{kg}$ y un mínimo de 7,06 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$.
- En el horizonte A la media obtenida fue 4,17 de $\text{cmol} (+) / \text{kg}$ lo que es un nivel muy bajo. Tenemos un nivel máximo de 6,15 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ y un mínimo de 3,05 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. En casi todas las parcelas no se supera el nivel de 6 $\text{cmol} (+) / \text{kg}$, se trata de un nivel muy bajo.
- En el horizonte B la media obtenida fue de 3,55 $\text{cmol} (+) / \text{kg}$ lo que es un nivel muy bajo. Tenemos un nivel máximo de 4,03 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ y un mínimo de 3,15 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. En todas las parcelas no se supera el nivel de 6 $\text{cmol} (+) / \text{kg}$, se trata de un nivel muy bajo.
- En el horizonte C la media obtenida fue de 2,84 $\text{cmol} (+) / \text{kg}$ lo que es un nivel muy bajo. Tenemos un nivel máximo de 2,85 $\text{cmol} (+) / \text{kg}$ y un mínimo de 2,84 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. En todas las parcelas no se supera el nivel de 6 $\text{cmol} (+) / \text{kg}$, se trata de un nivel muy bajo.

- **Cationes intercambiables**

Los cationes intercambiables más frecuentes son menos de diez. La presencia y predominio de uno u otros dependerá de las condiciones del medio y de las interacciones en la interfase.

Los cationes intercambiables se hallan en una proporción considerablemente mayor que los cationes en solución. Estos representan un 1% o menos (excepto en suelos salinos).

Los iones básicos se clasifican, por lo que respecta a la fuerza de intercambio de la siguiente forma:



- **Índice de bouyoucos**

El Índice de Bouyoucos es un índice de erosionabilidad del suelo que va en función de la textura, los suelos más susceptibles a la erosión tendrán un valor de Bouyoucos alto y los menos susceptibles tendrán un valor bajo.

En nuestro caso, los horizontes humíferos son muy susceptibles a la erosión (valores que van de 18,84 a 11,18) y para los horizontes minerales A, B y C a mayor valor de Bouyoucos más susceptible el suelo a la erosión.

• **Propiedades hídricas del suelo**

- **Capacidad de campo (CC)**: se refiere la cantidad relativamente constante de agua y corresponde al agua que queda en el suelo tras haber drenado el agua cuando se encontraba saturado, después de unas 48 horas. Los resultados adimensionales muestran una media de 16.38 (horizonte humífero), 21.81 (Horizonte A), 22.85 (Horizonte B) y 20.04 (Horizonte C).
- **Punto de Marchitez Permanente (PMP)**: nivel en el que, aun conteniendo cierta cantidad de agua en el suelo, las raíces de las plantas no pueden extraer más agua del suelo. Los resultados adimensionales muestran una media de 7.11 (horizonte humífero), 11.63 (Horizonte A), 12.64 (Horizonte B) y 10.10 (Horizonte C).
- **Disponibilidad de agua o capacidad de retención de agua disponible (CRAD)**: es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). Es la cantidad de agua que está disponible para la planta. Debemos saber que cuando esta cantidad se acerca al PMP, la planta empieza a sufrir estrés hídrico, por lo que en los planes de riego no se puede agotar la disponibilidad de agua para empezar a regar. Los resultados adimensionales muestran una media de 9.27 (horizonte humífero), 10.17 (Horizonte A), 10.21 (Horizonte B) y 9.95 (Horizonte C).
- **Grado de saturación del suelo**: cantidad máxima de agua que contiene un suelo cuando todos los poros están llenos de agua.

En suelos bien estructurados, el agua empieza a drenar desde los poros grandes hacia capas inferiores, gracias al efecto de la gravedad. Los resultados adimensionales muestran una media de 37.97 (horizonte humífero), 44.20 (Horizonte A), 44.92 (Horizonte B) y 42,56 (Horizonte C).

- **Densidad aparente (Da)**: es un valor que varía con la textura, representa un índice de la masa seca de partículas en un volumen total de suelo, que incluye partículas y poros. Valores de Da para suelos no compactados son:
 - En suelos arenosos de 1,65 g/cm³
 - Para suelos franco arenoso, 1,5 g/cm³
 - Suelos de textura Franca, 1,4 g/cm³
 - Franco Arcilloso, 1,33 g/cm³
 - Arcillo Arenoso, 1,3 g/cm³
 - Suelos Arcillosos, 1,25 g/cm³

La Da es un parámetro importante para considerar en la clasificación de calidad de un suelo. Suelos con valores altos de Da determinan un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, debido a la poca aireación y una baja infiltración del agua en el suelo (FAO, 2009).

En los horizontes húmíferos la media de la densidad aparente es de 1.64 g/cm³, coincide con el nombre textural determinado anteriormente. En el resto de los horizontes minerales (A, B y C) la media está en 1,48 g/cm³, por lo que también coincide con el nombre textural.

- **Tasa de drenaje (TD)**: capacidad del suelo de eliminar el exceso de agua deprimiendo los niveles freáticos, mejorando la aireación y el acceso de nutrientes, también facilita la remoción de sales y evita la desalinización de los suelos. Cuanto más grande sea este valor, más rápido se drenará el suelo.

Los resultados en cm/hr muestran una media de 4.99 (horizonte húmífero), 1.16 (Horizonte A), 1 (Horizonte B) y 1.75 (Horizonte C).

- **Datos dasométricos**

- **El índice de forma (IF)**

Los parámetros inmediatos que expresan la forma y desarrollo de las especies o masas arbóreas son el volumen, el diámetro y la altura. Los dos primeros están influidos por el grado de espesura, por tanto, el mejor indicador de la calidad es a la altura dominante al no verse modificada por cortas de mejora o intermedias. (Serrada, 1998). Para su determinación se ha usado la ecuación de Bertalanffy-Richards (B-R) (Aguirre, y otros, 2022).

A continuación, se detallan los resultados del Índice de Forma de los horizontes de estudio para las 11 parcelas:

- En las 11 parcelas el IF a 20 cm de diámetro, oscilo entre 10,35 m y 24,67 m, con una media de 18 m.

La figura 4.3 representa la familia de curvas del índice de forma (línea discontinua, verde oscuro, verde claro y naranja) y los puntos corresponden al IF de las parcelas de estudio. Se puede prever que aquellas parcelas que se localizan gráficamente encima de las curvas de los diferentes índices de forma sigan esa evolución.

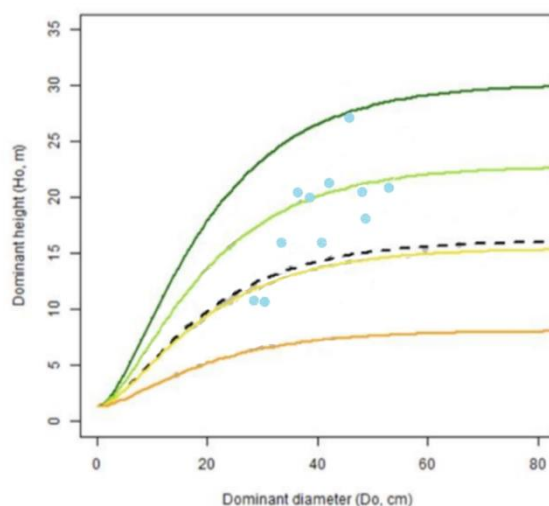


Figura 4.3: Curvas de índice de forma para los bosques mixtos. La línea discontinua, la línea verde oscuro, la línea verde claro y la línea naranja representan la media, el máximo, tercer cuartil y mínimo respectivamente. Los puntos de color azul corresponden a las parcelas de estudio. (Aguirre, y otros, 2022)

La tabla 4.16 concreta los resultados de este apartado, evalúa el valor del índice de forma (calidad de estación).

Tabla 4.16: Descripción calidad de estación en función IF

Número parcelas	Descripción Calidad estación	Valor de SF
4	Optima	Mayor tercer cuartil IF
5	Intermedia-Alta	Entre media y tercer cuartil
2	Intermedia-Baja	Entre primer cuartil y media
0	Mala	Menor primer cuartil

Se demuestra que 4 de las 11 parcelas se encuentran por encima de la curva del tercer cuartil, por lo que se considera una calidad de estación optima; sin embargo, dos de las 11 parcelas se encuentran por debajo de la media, lo que quiere decir que la calidad de estación es intermedia-baja. Por lo tanto, se puede concluir que los resultados en este apartado han sido muy buenos.

4.2. Correlaciones Pearson estadísticamente significativas entre índice de forma y las propiedades del suelo

Las correlaciones miden como están relacionadas las variables continuas. Una correlación positiva entre dos variables indica que cuando aumenta una, lo hace también la otra, mientras que una correlación negativa indica que una variable disminuye a medida que aumenta la otra. En este caso, para el horizonte humífero no hay correlaciones entre el IF y las propiedades del suelo y para el horizonte C, solo hay dos en todas las parcelas y no hay correlaciones.

Las correlaciones Pearson realizadas entre el Índice de forma (IF) y las propiedades del suelo para los horizontes 2 y 3 (horizontes minerales) arrojaron los valores detallados en las tablas 4.17 y 4.18.

Tabla 4.17: Correlaciones de Pearson entre el IF y los parámetros edáficos para el horizonte A. *: Significativo el nivel $P < 0,05$; **: Significativo el nivel $P < 0,01$; ***: Significativo el nivel $P < 0,001$.

	K	Na
IF	0,636*	-0,604*

Tabla 4.18: Correlaciones de Pearson entre el IF y los parámetros edáficos para el horizonte B. *: Significativo el nivel $P < 0,05$; **: Significativo el nivel $P < 0,01$; ***: Significativo el nivel $P < 0,001$

	N	CN	Mg	Ca/Mg
IF	0,787*	-0,891**	0,779*	-0,795*

A continuación, se detallan los resultados de las correlaciones de estudio de los horizontes A y B las 11 parcelas:

- En el horizonte A, el índice de forma (IF) está correlacionado significativa y positivamente con el contenido de K y negativamente con el contenido de Na, es decir, a mayor contenido de K, el IF muestra mejor calidad de estación y al contrario, a menor contenido de Na, el IF muestra mejor calidad de estación.
- En el horizonte B, el Índice de forma (IF) tiene correlación positiva con el contenido de N total y el Mg y negativa con la relación C/N y la relación Ca/Mg, es decir, a menor valor relación C/N, el IF muestra mejor calidad de estación al igual que una baja relación Ca/Mg.

4.3. Test de Tukey

Este test indica las diferencias significativas entre las propiedades del suelo en relación con los diferentes horizontes. Para este análisis estadístico de un factor

consideramos el horizonte humífero y los horizontes minerales (horizonte A y B). El Horizonte C se elimina ya que solo hay datos de dos parcelas, por lo que no es significativo.

La tabla 4.19 muestra las diferencias significativas en la comparación de Tukey. Se puede ver como en el pH, CE, MO, PM3, Na, CICE, Ca/Mg, arena, arcilla, PMP, CC, Saturación, Tasa de drenaje, y densidad aparente hay una diferencia significativa entre el horizonte humífero y el resto de los horizontes minerales (A y B).

También se aprecia diferencias significativas entre los horizontes minerales (A y B) en el contenido de N, Ca, Mg, K y relación Ca/Mg.

Tabla 4.19: Diferencias significativas en la comparación de Tukey para los diferentes horizontes y las propiedades de los suelos

HORIZONTES	PROPIEDADES DE LOS SUELOS			
	pH (H ₂ O 1:2,5)	CE (dS/m)	MO (%)	N total (%)
Humífero	4,2 b (0,75)	0,45 a (0,16)	58,69 a (21,36)	0,34 b (1,67)
A	4,57 ab (0,49)	0,072 b (0,04)	12,32 b (3,51)	0,47 b (0,26)
B	5,02 a (0,53)	0,07 b (0,08)	7,06 b (1,17)	2,39 a (0,13)
	PM3 (mg/kg)	Ca (cmol./kg)	Mg (cmol./kg)	K (cmol./kg)
Humífero	40,77 a (19,64)	1,082 b (1,24)	0,27 b (0,72)	0,17b (0,15)
A	6,33b (3,18)	1,26 b (0,22)	0,58 b (0,36)	0,32 b (0,16)
B	4,23 b (1,68)	3,19 a (0,12)	2,63 a (0,76)	1,24 a (0,59)
	Na ((cmol./kg)	CICE (cmol./kg)	Ca/Mg	Arena (%)
Humífero	1,24 a (0,33)	9,51 a (2,28)	1,18 b (0,16)	76,71 a (6,54)
A	0,77 b (0,22)	4,17 b (0,78)	2,54 a (0,84)	63,20 b (11,64)
B	0,78 b (0,23)	3,55 b (0,33)	4,13 c (0,89)	61,10 b (10,02)
	Arcilla (%)	PMP (%)	CC (%)	Saturación (%)
Humífero	6,54 b (0,99)	7,11 b (0,57)	16,38 b (1,45)	33,97 b (1,05)
A	17,29 a (2,92)	11,63 a (1,21)	21,80 a (2,41)	44,20 a (1,78)
B	19,28 a (6,06)	12,64 a (2,42)	22,85 a (3,21)	44,92 a (2,33)
	Tasa de drenaje (cm/hora)	Densidad aparente (g/cm ³)		
Humífero	4,99 a (0,89)	1,64 a (0,028)		
A	1,16 b (0,48)	1,48 b (0,047)		
B	1 b (0,57)	1,46 b (0,063)		

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas, siendo a>b>c (test de Tukey a un nivel de probabilidad de 0.05, p<0.05) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis.

4.4. Regresión lineal múltiple

Para analizar los resultados de la regresión lineal múltiple se hace un desglose para todos los horizontes, excepto el C, puesto que solo está representado en dos parcelas.

A continuación, se detalla los resultados para los horizontes en cuestión, se emplean ecuaciones que a su vez están representadas de forma gráfica (Figura 4.4, 4.5, 4.6).

- Horizonte humífero: tomando como variable la relación K/Mg con una varianza explicada del 82% se llega a una varianza del 93% considerando el contenido de Ca. Se predice que el IF disminuye y por tanto la calidad de estación empeora al aumentar el contenido de la relación K/Mg y del Ca. Es decir, para una mejor calidad de estación en este tipo de bosques, los suelos tienen que tener un carácter ácido (menor contenido de Ca legado a los carbonatos) y una mayor concentración de Mg que hace disminuir la relación K/Mg.
 - Ecuaciones de regresión:
 - $IF=34,83-34,01K/Mg$; R^2 ajustado=0,845 (ecuación 1)
 - $IF=51,46-53,79K/Mg-2,15Ca$; R^2 ajustado=0,93

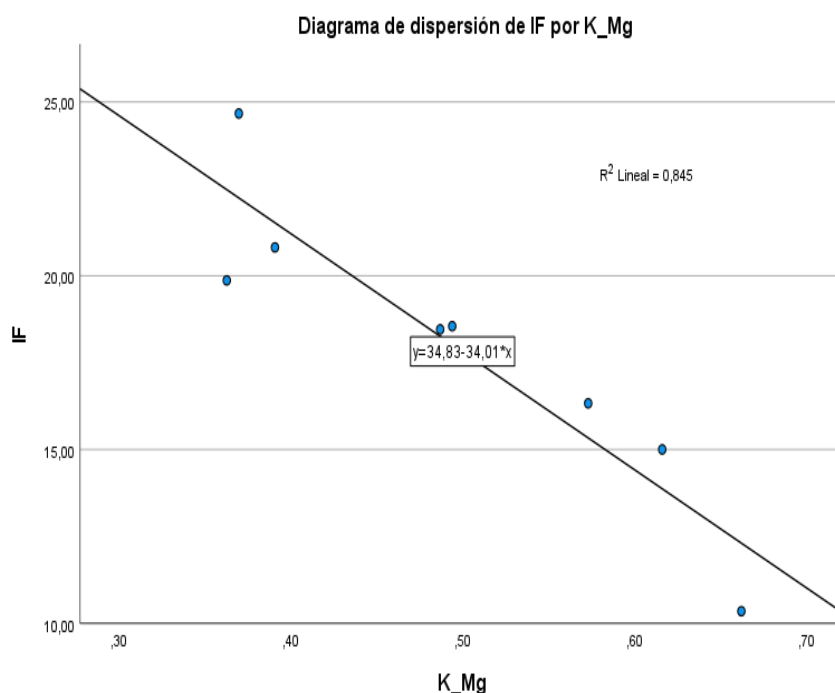


Figura 4.4 Diagrama de dispersión ecuación 1. Horizonte humífero

- Horizonte A: tomando como variable K con una varianza explicada del 34% se llega a una varianza del 50% considerando el contenido de materia orgánica (MO). En las ecuaciones observamos que a medida que aumenta el contenido de K el IF aumenta, produciendo una mejora en la calidad de estación de los bosques mixtos estudiados. Por otra parte, el alto contenido de materia orgánica puede afectar negativamente a la calidad de estación por asfixia radicular, dificultando la respiración de la planta a través de las raíces.

- Ecuaciones de regresión:

- $IF=11,7 + 18,02K$; R^2 ajustado=0,34 (ecuación 2)
- $IF=17,39 + 26,68 K - 0,69MO$; R^2 ajustado=0,50

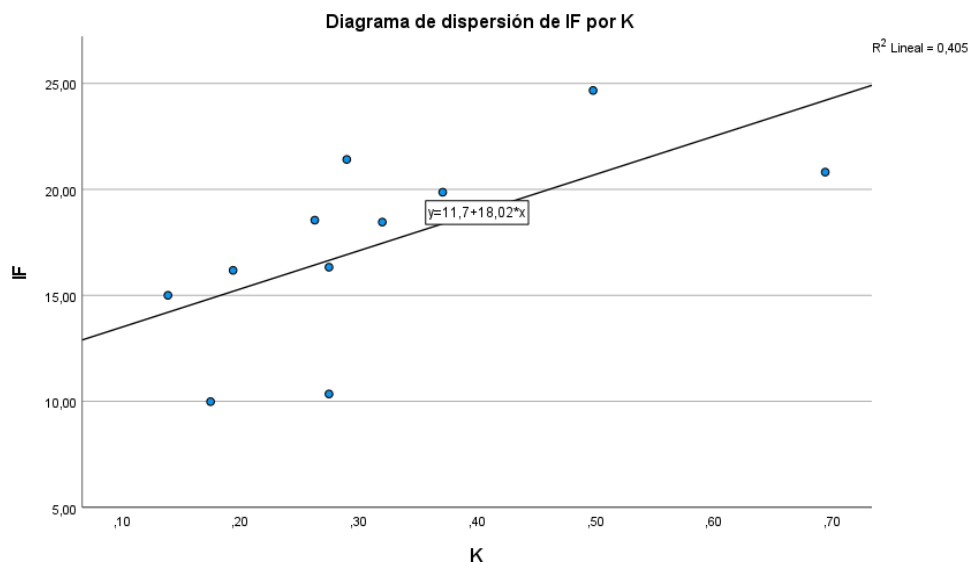


Figura 4.5 Diagrama de dispersión ecuación 2. Horizonte A

- Horizonte B: para este horizonte solo tenemos la siguiente ecuación:
 - $IF= 30,53 - 0,95 C/N$; R^2 ajustado=0,75 (ecuación 3)

Se observa que la calidad de estación aumenta cuando la relación C/N es más baja indicando una buena mineralización de la MO.

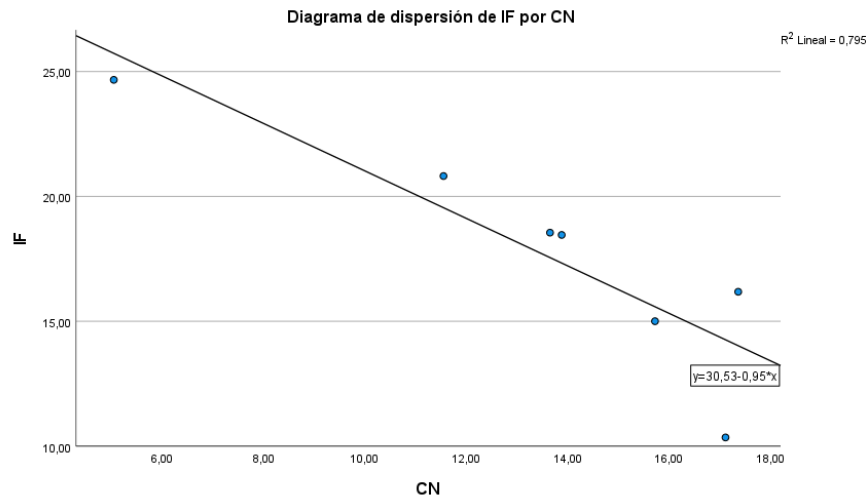


Figura 4.6 Diagrama de dispersión ecuación 3. Horizonte B

- Para el horizonte C no hay ninguna ecuación.
- Conjunto de horizontes minerales (Horizonte A, B y C): tomando como variable la relación Ca/Mg con una varianza explicada del 17% se llega a una varianza del 53% considerando el contenido de MO y al 67% incluyendo además el contenido de K. Se predice que a medida que disminuye la relación Ca/Mg, el contenido de MO y aumenta el contenido de K, el IF aumenta y la calidad de estación mejora.
 - Ecuaciones de regresión:
 - $IF = 23,25 - 1,75Ca/Mg$; R^2 ajustado = 0,17
 - $IF = 39,38 - 4,02Ca/Mg - 0,91MO$; R^2 ajustado = 0,53
 - $IF = 32,75 - 2,72 Ca/Mg - 1,14MO + 19,02K$; R^2 ajustado = 0,67

5. CONCLUSIONES

En cada una de las 11 parcelas se determinó el índice de forma y se llevó a cabo un análisis de las propiedades del suelo para los horizontes humíferos y minerales (A, B y C). Los resultados permiten concluir que los diferentes horizontes del suelo presentan un carácter fuertemente ácido, los horizontes minerales no son salinos, los contenidos de materia orgánica son muy altos, existe un predominio de suelos arenosos y bajo contenido en P disponible. El nivel del nitrógeno es muy alto, además la relación carbono/nitrógeno es adecuada. El Índice de forma (IF) asegura que en la mayoría de las parcelas de estudio hay una buena calidad de estación.

En el horizonte A, el K está correlacionado positivamente con el IF, y, al contrario, a mayor contenido de Na, el IF muestra peor calidad de estación, ya que el Na está correlacionado negativamente con el IF. En el horizonte B la relación Ca/Mg y la relación Carbono-Nitrógeno (C/N), están correlacionadas negativamente con el Índice de forma; sin embargo, el contenido de Magnesio (Mg) y el Nitrógeno (N) muestra una correlación positiva con el IF.

El test de Tukey, se observa diferencias significativas entre los horizontes minerales A y B en los contenidos de N, Ca, Mg y K. Para el resto de los parámetros del suelo la diferencia significativa está presente en el horizonte humífero sobre el resto de los horizontes minerales (A, B y C).

En el horizonte humífero se predijo el comportamiento del IF en función de la relación K/Mg con una varianza explicada del 82% y del 93% si se añade el contenido de Ca. A medida que disminuye el contenido de Ca y la relación K/Mg, el IF y por consiguiente la calidad de estación empeora. En el resto de los horizontes minerales (A, B y C) se predijo el comportamiento del IF en función de la relación Ca/Mg con una varianza explicada del 17%, llegando al 67% si también consideramos el contenido de MO y de K; a medida que disminuye la relación Ca/Mg y el % de MO y aumenta el contenido de K, el IF aumenta y la calidad de estación mejora. Es relevante comentar que el muy alto contenido de MO puede afectar negativamente a la calidad de estación por asfixia radicular, dificultando la respiración de la planta a través de las raíces; además en el horizonte humífero, la relación K/Mg, es crítica para garantizar una buena calidad de estación, con un mayor contenido de Mg disminuye la relación K/Mg y así mejorar la calidad de estación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, A., Moreno-Fernandez, D., Iciar Alberdi, Hernandez, L., Adame, P., Montes, F., & Cañellas, I. (2022). Mapping forest site quality at national level. *Elsevier*.
- Attiwill, P., & Adams, M. (1993). Nutrient cycling in forests. *New Phytologist*, 561-582.
- Ballard, R. (1980). The role of phosphorus in agriculture. En R. Ballard, *The role of phosphorus in agriculture* (págs. 763-804). Madison: ASA-CSSA-SSSA.
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, 8-15.
- Bauhus, J., Forrester, D., & Pretzsch, H. (2017). *Mixed-Species Forests: Ecology and management*. Freiburg: Springer.
- Bengoa, J. (1993). Crecimiento de las masas de rebollo de la rioja: bases para su modelización. 467-472.
- Blanco, E., Casado, M., Costa, M., Escribano, R., García, M., Gévora, M., . . . Sainz, H. (1997). *Los bosques ibéricos*. Barcelona: Planeta.
- Brady, N. (1984). *The nature and properties of soils*. New York: New York, London, Macmillan. Collier Macmillan.
- Cardona Trujillo, H. (2011). Gestión de los servicios ecosistémicos que presta la flora de los agroecosistemas de la cuenca del Río La Vieja, Eje Cafetero, Colombia. En H. Cardona Trujillo. Bogotá.
- Caro-Caro, C., & Torres-Mora, M. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia*, 237-252.
- FAO. (2009). "Guía para la descripción de los suelos." Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. En "Guía para la descripción de los suelos." *Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación* (págs. 21-66). Roma.
- Felicesimo Perez, Á. (1994). *El clima de Asturias. Geografía de Asturias. Enciclopedia temática de Asturias*. Gijón.

- García Abril, A. D., Irastorza Vaca, P., & García Cañete, J. (1996). Las masas irregulares y mixtas: ¿ Un objetivo fundamental de la gestión forestal futura? *Cuaderno de la Sociedad Española de Forestales*, 139-145.
- Honorato, R. (2000). *Manual de edafología*. Chile: Ediciones Alfaomega.
- Jorgensen, J., Wells, C., & Metz, L. (1975). The Nutrient Cycle: Key to Continuous Forest Production. *Journal of Forestry*, 400-403.
- Kimmins, J. (1996). *Forest ecology: A foundation for sustainable management*. New Jersey, USA: Prentice-Hall.
- Landis, T. (1989). Nutrientes minerales y fertilización. En T. Landis, *The container tree nursery manual* (pág. Capítulo 1). Oregon.
- Marschner, H. (1986). *Mineral nutrition of higher plants*. New York: Academic Press.
- Moreno Fernández, D., Álvarez Álvarez, J. G., Rodríguez, R., & Pérez Cruzado, C. (2018). Mapas nacionales de calidad de estación para *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Fagus sylvatica* y *Quercus pyrenaica*. *Colaboración técnica*.
- Pagano, M., & Gauvreau, K. (2001). *Bioestadística*. México: Thomson Learning.
- Plaster, E. (2000). *La ciencia del suelo y su manejo*. Madrid: Paraninfo.
- Porta, J., López-Acebedo, M., & Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ranger, J., & Turpault, M.-P. (1999). Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. *Forest ecology and management*, 139-154.
- Ruiz De la Torre, J. (1990). *Mapa Forestal de España*. MAPA.
- Ruiz Luna, A., & Camacho Valdéz, V. (2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Biociencias*.
- Serrada Hierro, R. (2004). *Apuntes de silvicultura*.
- Tellez, P. (2002). *Ciclo hidrológico y de nutrientes solubles en ecosistemas de selva tropical húmeda de la Amazonía Colombiana*. Colombia: Foro estudiantil: La investigación en la Amazonia: Procesos, resultados y futuro.

Tomeo Perucha, V., & Uña Juárez, I. (2003). *Lecciones de Estadística descriptiva. Curso teórico-práctico*. Colombia: Thomson.

Vacek, Z., Prokúpková, A., Vacek, S., Bulušek, D., Šimůnek, V., Hájek, V., & Králíček, I. (2021). Mixed vs. monospecific mountain forests in response to climate change: structural and growth perspectives of Norway spruce and European beech. *Forest Ecology and Management*.

7. ANEXO I

7.1. Protocolo del laboratorio

Esta serie de procedimientos fueron llevados a cabo en el laboratorio de Ingeniería Agroforestal del Campus de Mieres, para obtener detalladamente los valores correspondientes a las características de los diferentes suelos con los que nos encontramos en nuestras parcelas de ensayo.

A continuación, se describirán dichos procedimientos utilizados para la determinación de pH y conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno por el método Kjeldahl, fósforo, textura y capacidad de intercambio catiónico efectiva.

DETERMINACIÓN DE PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN AGUA

- *Proceso para la determinación del pH en agua.*
 - Relación suelo: disolución 1:2,5
 - Se colocaron 10 g de suelo en una lecherita de 60 ml.
 - Se añadieron 25 ml de agua desionizada.
 - Se agitó la suspensión 3 veces, una vez cada 5 minutos. Por último, se dejó que la suspensión sedimentase.
 - Se procedió a la calibración del pH-metro: se usaron dos disoluciones tampón pH 7 y 4,1.
 - Se introdujo el electrodo del pH-metro en la disolución de forma que quedase bien sumergido sin tocar el fondo y se anotó la lectura que marcaba el pH-metro.
- La misma suspensión realizada para cada muestra, se utilizó para determinar la *conductividad eléctrica (C.E.)* en el extracto 1:5, la cual se llevó a cabo, en la lecherita anterior, de la siguiente manera:
 - Se añadieron 25 ml de agua desionizada.
 - Se agitó en total 3 veces: una vez cada 5 minutos.
 - Se dejó que la suspensión sedimentase unos minutos y se centrifugó la lecherita durante 5 minutos a 3000 rpm aprox.
 - Se calibró el conductímetro usando cloruro de potasio (KCl 0,01 M).
 - Se midió la conductividad eléctrica con el conductímetro en el sobrenadante (dS m⁻¹), teniendo en cuenta que la lectura se refiere siempre a 25° C.

Se tiró por último la suspensión y se limpiaron bien los vasos de precipitados y la mesa de trabajo.

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA

- Se pretendía conocer la distribución (en %) de las partículas individuales del suelo según su tamaño. De ella se deduce la textura del suelo. El método se basa en la diferente velocidad de sedimentación de las partículas según su tamaño en un medio líquido (ley de Stokes).
 - Se pesaron de 20 a 25 g de suelo seco y tamizado en un cuenco de plástico (se apuntó el peso del suelo exacto para tenerlo en cuenta al final).
 - Se añadió poco a poco H₂O₂ 6% para eliminar la materia orgánica. Se removió con una varilla de vidrio de vez en cuando hasta que dejaron de salir burbujas.
 - Una vez oxidada la materia orgánica, se añadieron 50 ml de HCl 1N (41,4 ml de HCl en 0,5 L de agua destilada) para disolver los compuestos de Fe y Al que contribuyen a la agregación. Se revolvió durante 20 minutos de vez en cuando con una varilla de vidrio.
 - Se filtró con la ayuda de unos embudos grandes, lavando con agua destilada hasta que el filtrado fue transparente.
 - Se transfirió el contenido de los filtros (con la tierra ya seca) con la ayuda del frasco lavador, a botellas de plástico de 1 L, procurando no gastar más de 0.5 L de agua destilada.
 - Se añadieron 20 ml de dispersante (Calgón: 35.7 g de hexametáfosfato sódico y 7.94 g de Na₂ CO₃ en 1 L de agua).
 - Se agitó durante 2 horas (aproximadamente a 300 rpm).
 - Se tamizaron las muestras en húmedo para separar la arena del resto de fracciones con un tamiz de 50 µm, procurando gastar menos de 1L de agua destilada. Se realizó con ayuda de un embudo grande colocado encima de una probeta de 1 L.
 - Se transfirió lo que quedaba en el tamiz (la arena) a un crisol y a continuación se introdujo el crisol en la estufa a 110 ° C hasta peso constante.
 - Se enrasó la probeta de plástico a 1 L (contenía lo que pasó por el tamiz, que era limo y arcilla) y se homogenizó (se revolvió con una varilla de vidrio grande). En ese instante se tomó la primera alícuota (20 mL) con una pipeta Robinson. La pipeta se colocó de manera que la marca de los 1000 mL de la probeta coincidía con la marca inferior de la pipeta.

Esta primera alícuota en t=0 cogió el limo grueso “LG” + limo fino “LF” + arcilla”ARC”. Se tomaron otras dos alícuotas; una en t= 4 min.48 seg. (LF +

ARC) y otra a $t= 8$ horas (ARC). Las alícuotas se recogieron en crisoles y se secaron en estufa a 110°C hasta peso constante.

NOTA: Antes de utilizar los crisoles habían sido secados en estufa a 110°C y luego llevados al desecador. Cuando estuvieron fríos se sacaron y sin perder tiempo se pesaron vacíos. Una vez secas las alícuotas se pesó cada crisol.

Las arenas se separaron en arena gruesa "AG" y arena fina "AF" por medio de un tamiz 0.2 mm, pesándolas a continuación.

Calculo:

Para el cálculo se restaron los pesos obtenidos después de secar las alícuotas y los pesos de los crisoles vacíos. Los pesos obtenidos de la arcilla y los limos deben referirse al volumen total, por lo que se multiplicaron por 50 (1000 ml en total/20 ml de alícuota). La suma de todas las fracciones (AG+AF+LG+ LF+ARC) representa el total de las partículas inorgánicas del suelo.

DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGANICA POR IGNICIÓN

- Para determinar la materia orgánica, se siguieron los siguientes pasos:
 - Se secaron los crisoles de ensayo al fuego a 110°C en una estufa de secado con circulación forzada de aire.
 - Al día siguiente se sacaron a un desecador de vidrio (utilizando pinzas) hasta que alcanzaron la temperatura ambiente.
 - Una vez fríos (temperatura ambiente) se pesaron en ellos 10 g de suelo en una balanza de precisión (P1) y se introdujeron de nuevo en la estufa a 110°C durante 24 horas.
 - Al día siguiente (pasadas las 24 horas) se sacaron (utilizando pinzas), se pusieron en un desecador. Una vez fríos se pesaron (P2).
 - Tal y como estaban se metieron en la mufla a 450°C durante una noche (12 horas aprox.).
 - Se sacaron de la mufla al desecador y se pesaron (P3).

Cálculos:

Con los valores de materia orgánica ya determinados en cada una de las 38 muestras, se procedió a realizar los pasos necesarios para calcular la cantidad de carbono presente en las muestras, a partir de la cantidad de materia orgánica de las mismas. Esto se realizó mediante la siguiente fórmula.

$$\%M.O. = 100 \times \frac{P2 - P3}{P2 - P1} \quad \%C.O = \frac{\%M.O}{1,723}$$

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO EFECTIVA (BASES + ALUMINIO DE CAMBIO)

Para llevar a cabo el cálculo de la capacidad de intercambio catiónico se siguió el procedimiento siguiente:

- *Preparación de reactivos*
 - Cloruro de amonio CINH_4 1 N: 106,98 g de CINH_4 en un matraz aforado de 2 L.
 - Cloruro lantano $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1%: 0,98 g de $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 100 ml.
- *Preparación de la muestra*
 - Se cogieron 5 g de suelo y se añadieron 25 ml de CINH_4 1N en un vaso de plástico (lecherita).
 - Se agitó un poco (agitando el vaso cerrado) y se dejó reposar toda una noche.
 - Después de pasarlo por papel de filtro se añadieron 3 alícuotas de 25 ml cada una de CINH_4 , procurando que percolase totalmente una alícuota antes de adicionar la segunda.
- *Determinación de Ca, Mg, Na, K y Al*
 - *Preparación de un patrón de Ca de 20 ppm:* Se llevaron 0.5 ml de la disolución madre de 1000 ppm en un matraz aforado de 25 ml y se enrasó con agua destilada.
 - *Preparación de un patrón de Mg de 1 ppm:* se llevaron 0,5 ml de la disolución madre de 1000 ppm en un matraz aforado de 500 ml y se enrasó con agua destilada.
 - *Preparación de un patrón de K de 10 ppm:* Se llevaron 0,5 ml de la disolución madre de 1000 ppm en un matraz aforado de 50 ml y se enrasó con agua destilada.
 - *Preparación de un patrón de Na de 2 ppm:* se llevaron 0,5 ml de la disolución madre de 1000 ppm en un matraz aforado de 250 ml y se enrasó con agua destilada.
- *Realización de la AA:* En tubos de ensayo de 20 ml de capacidad
 - Blanco: Se colocaron 2 ml de cloruro de lantano + 18 ml de cloruro de amonio.
 - Muestra: 2 ml del extracto de la muestra + 2 ml de cloruro de lantano + 16 ml de agua destilada.

- Patrones Ca:
 - Patrón 1: 1 ml del patrón de 20 ppm Ca + 2 ml de lantano + 17 ml de agua destilada.
 - Patrón 2: 2 ml del patrón de 20 ppm Ca + 2 ml de lantano + 16 ml de agua destilada.
 - Patrón 3: 3 ml del patrón de 20 ppm Ca + 2 ml de lantano + 15 ml de agua destilada.
 - Patrón 4: 4 ml del patrón de 20 ppm Ca + 2 ml de lantano + 14 ml de agua destilada.
 - Patrón 5: 5 ml del patrón de 20 ppm Ca + 2 ml de lantano + 13 ml de agua destilada.
- Patrones Mg
 - Patrón 1: 1 ml del patrón de 1 ppm Mg + 2 ml de lantano + 17 ml de agua destilada.
 - Patrón 2: 2 ml del patrón de 1 ppm Mg + 2 ml de lantano + 16 ml de agua destilada.
 - Patrón 3: 3 ml del patrón de 1 ppm Mg + 2 ml de lantano + 15 ml de agua destilada.
 - Patrón 4: 4 ml del patrón de 1 ppm Mg + 2 ml de lantano + 14 ml de agua destilada.
 - Patrón 5: 5 ml del patrón de 1 ppm Mg + 2 ml de lantano + 13 ml de agua destilada.
- Patrones K
 - Patrón 1: 0,25 ml del patrón de 10 ppm K + 2 ml de lantano + 17,75 ml de agua destilada.
 - Patrón 2: 0,5 ml del patrón de 10 ppm K + 2 ml de lantano + 17,5 ml de agua destilada.
 - Patrón 3: 1 ml del patrón de 10 ppm K + 2 ml de lantano + 17 ml de agua destilada.
 - Patrón 4: 1,5 ml del patrón de 10 ppm K + 2 ml de lantano + 16,5 ml de agua destilada.
 - Patrón 5: 2 ml del patrón de 10 ppm K + 2 ml de lantano + 16 ml de agua destilada.
- Patrones Na

- Patrón 1: 1 ml del patrón de 2 ppm Na + 2 ml de lantano + 17 ml de agua destilada.
 - Patrón 2: 2 ml del patrón de 2 ppm Na + 2 ml de lantano + 16 ml de agua destilada.
 - Patrón 3: 3 ml del patrón de 2 ppm Na + 2 ml de lantano + 15 ml de agua destilada.
 - Patrón 4: 4 ml del patrón de 2 ppm Na + 2 ml de lantano + 14 ml de agua destilada.
 - Patrón 5: 5 ml del patrón de 2 ppm Na + 2 ml de lantano + 13 ml de agua destilada.
- Patrones Al
 - Patrón 1: 0,25 ml del patrón de 1000 ppm Al + 2 ml de lantano + 17,75 ml de agua destilada.
 - Patrón 2: 0,5 ml del patrón de 1000 ppm Al + 2 ml de lantano + 17,5 ml de agua destilada.
 - Patrón 3: 1 ml del patrón de 1000 ppm Al + 2 ml de lantano + 17 ml de agua destilada.
 - Patrón 4: 1,5 ml del patrón de 1000 ppm Al + 2 ml de lantano + 16,5 ml de agua destilada.
 - Patrón 5: 2 ml del patrón de 1000 ppm Al + 2 ml de lantano + 16 ml de agua destilada.

NOTA: Agitar bien los tubos antes de analizar

- *Cálculo de la concentración:* en primer lugar, hay que determinar las concentraciones reales de los elementos en los tubos de ensayo de 20 ml:
 - Ca
 - Patrón 1 = 1 $\mu\text{g Ca ml}^{-1}$
 - Patrón 2 = 2 $\mu\text{g Ca ml}^{-1}$
 - Patrón 3 = 3 $\mu\text{g Ca ml}^{-1}$
 - Patrón 4 = 4 $\mu\text{g Ca ml}^{-1}$
 - Patrón 5 = 5 $\mu\text{g Ca ml}^{-1}$
 - Mg
 - Patrón 1 = 0,05 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 2 = 0,10 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 3 = 0,15 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 4 = 0,20 $\mu\text{g ml}^{-1}$

- Patrón 5 = 0,25 $\mu\text{g ml}^{-1}$
- K
 - Patrón 1 = 0,125 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 2 = 0,250 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 3 = 0,500 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 4 = 0,750 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 5 = 1,000 $\mu\text{g ml}^{-1}$
- Na
 - Patrón 1 = 0,1 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 2 = 0,2 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 3 = 0,3 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 4 = 0,4 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 5 = 0,5 $\mu\text{g ml}^{-1}$
- Al
 - Patrón 1 = 12,5 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 2 = 25,0 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 3 = 50,0 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 4 = 75,0 $\mu\text{g ml}^{-1}$
 - Patrón 5 = 100 $\mu\text{g ml}^{-1}$

Se determinó la curva de absorbancia en el aparato de absorción atómica. Para ello se anotó la absorbancia (A) correspondiente de los diferentes patrones preparados. Así, por ejemplo, y teniendo en cuenta la concentración real del Ca en cada patrón ($\mu\text{g Ca ml}^{-1}$ o ppm de Ca) se realizaron los siguientes cálculos:

Tabla 7.1: Cálculo para determinar la curva de absorbancia

Con. $\mu\text{g ml}^{-1}$ de Ca	Absorbancia (A)	Pendiente
1	A_1	$b_1 = A_1 / 1$
2	A_2	$b_2 = A_2 / 2$
3	A_3	$b_3 = A_3 / 3$
4	A_4	$b_4 = A_4 / 4$
5	A_5	$b_5 = A_5 / 5$

Se calculó la pendiente media: $\bar{b} = \frac{\sum b_i}{n}$, siendo n el número de patrones.

$$\text{Ca (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{A_m}{\bar{b}} \times \frac{20}{2} \times \frac{100}{5} = \frac{A_m}{\bar{b}} \times 200$$

Para expresar el resultado en mg/100g de suelo, hubo que dividir entre 10.

Finalmente para expresarlo en meq /100 g, o lo que es lo mismo, cmol(+) kg⁻¹, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- El peso molecular del calcio es de 40.08 g/mol.
- El Calcio tiene valencia +2
- El peso equivalente del calcio es el peso molecular partido por la valencia, es decir, (40,08 g/mol) / (2 equivalentes/mol) = 20,04 g/eq = 20,04 mg/meq
- Por ejemplo, si un suelo contiene 30 mg Ca/100g ¿cuántos meq/100g contiene? (30 mg Ca/100g) / (20. 04 mg/meq) = 1.50 meq Ca/100g

Tabla 7.2 Calculo para expresar el resultado del intercambio catiónico en meq/100

Elemento	Valencia	Peso molecular (mg/mmol)	Peso equivalente (mg/meq)
Ca	2	40,08	20,04
Mg	2	24,32	12,16
Na	1	22,99	22,99
K	1	39,10	39,10
Al	3	26,98	8,99

DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO MEHLICH 3

- Disolución extractora Mehlich

En un matraz aforado de 2 L se colocaron:

- 30 ml de amonio fluoruro NH₄F 1 M.

- 20 ml de AEDT ácido etilendiaminotetraacético disodium $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$ 0,1 M.
- 26 ml de ácido nítrico HNO_3 1 M.
- 40,025 g de nitrato de amonio NH_4NO_3 .
- 24,02 g de ácido acético $CH_3-COOH + H_2O$ destilada hasta 2 L.
- Cálculo de molaridad
 - Molaridad: es la forma más frecuente de expresar la concentración de las disoluciones en química. Indica el número de moles de soluto disueltos por cada litro de disolución; se representa por la letra M. Una disolución 1 M contendrá un mol de soluto por litro.

$$M = \frac{\frac{(x)g \text{ de soluto}}{P.M}}{V \text{ de la disolución en litros}}$$

- Preparaciones
 - Se pesaron 3,704 g de amonio fluoruro en un matraz aforado de 100 ml y enrasar a 100 ml con agua destilada.
 - Se preparó AEDT 0,1 M: en un matraz aforado de 100 ml se pesó 2,922 g de AEDT y se enrasó a 100 ml con agua destilada.
 - Se llevó a cabo la preparación de ácido nítrico HNO_3 1 M, teniendo en cuenta el porcentaje de pureza: en un matraz aforado de 100 ml se tomaron 9,7 ml de ácido nítrico y posteriormente se enrasó a 100 ml con agua destilada.
- Otra forma de preparar la disolución extractora de Mehlich
 - En un matraz aforado de 2 L añadir y disolver poco a poco: 1,1 g de amonio fluoruro + 0,74 g de AEDT + 2,5 ml de ácido nítrico + 40 g de nitrato de amonio + 24 g de ácido acético + H_2O destilada hasta 2 L.

- Solución A.

En un matraz aforado de 250 ml, se disuelven 12,5 g de molibdato amónico $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ en 100 ml de agua destilada aproximadamente, se añadieron 0,305 g de tartrato de antimonio y potasio $C_8H_4K_2O_{12}Sb_2 \cdot 3H_2O$, se añadieron también en la campana extractora y lentamente 125 ml de ácido sulfúrico H_2SO_4 y se enrasa a 250 ml con agua destilada.

- Solución de trabajo

En un matraz aforado de 500 ml, se pesaron 4,40 g de ácido ascórbico (vitamina C) $C_6H_8O_6$ y se disolvieron en 200 ml de agua destilada aproximadamente, se añadieron 50 ml de solución A y se enrasó a 500 ml con agua destilada.

- Preparación de una disolución madre de 100 ppm de P
 - Utilizamos fosfato de amonio monobásico $NH_4H_2PO_4$.
 - $ppm \text{ (elemento)} = \frac{\text{sal (fuente en ppm (g/1000 l))} \times \text{peso atómico del elemento}}{P.M.}$
 - En un matraz aforado de 1 L se pesaron 0,3714 g de fosfato de amonio monobásico y enrasamos a 1000 ml con agua destilada.
- Preparación de un patrón de P de 10 ppm.
 - Se pesaron 2,5 g de suelo y se colocaron en una lecherita de 60 ml de capacidad.
 - Añadimos 25 ml de disolución extractora Mehlich.
 - Agitamos 5 min. y filtramos pasando el sobrenadante a otra lecherita.
- Realización de la colorimetría.
 - En tubos de ensayo de 25 ml de capacidad:
 - Blanco: se colocaron 5 ml de disolución extractora Mehlich + 5 ml de disolución trabajo + 15 ml de agua destilada. Se tuvo en cuenta la necesidad de tener 2 blancos.
 - Muestra: 2 ml del extracto de la muestra + 5 ml de disolución trabajo + 18 ml de agua destilada.
- Patrones: diferentes concentraciones en ppm de fósforo.
 - Patrón 1: 0,1 ml del patrón de 10 ppm P + 4,9 ml disolución extractora Mehlich + 5 ml de disolución trabajo + 15 ml de agua destilada
 - Patrón 2: 0,25 ml del patrón de 10 ppm P + 4,75 ml disolución extractora Mehlich + 5 ml de disolución trabajo + 15 ml de agua destilada
 - Patrón 3: 0,5 ml del patrón de 10 ppm P + 4,5 ml disolución extractora Mehlich + 5 ml de disolución trabajo + 15 ml de agua destilada
 - Patrón 4: 1 ml del patrón de 10 ppm P + 4 ml disolución extractora Mehlich + 5 ml de disolución trabajo + 15 ml de agua destilada
 - Patrón 5: 2 ml del patrón de 10 ppm P + 3 ml disolución extractora Mehlich + 5 ml de disolución trabajo + 15 ml de agua destilada

- Patrón 6: 3 ml del patrón de 10 ppm P + 2 ml disolución extractora Mehlich + 5 ml de disolución trabajo + 15 ml de agua destilada

Se esperaron 20 minutos para el desarrollo del color y se midió la absorbancia en el fotocolorímetro a 880 nm de longitud de onda.

- Cálculo

En primer lugar, hubo que determinar las concentraciones reales del P en los patrones preparados a medir (en los tubos de ensayo de 25 ml):

- Patrón 1 = $0,04 \mu \text{ P ml}^{-1}$
- Patrón 2 = $0,1 \mu \text{ P ml}^{-1}$
- Patrón 3 = $0,2 \mu \text{ P ml}^{-1}$
- Patrón 4 = $0,4 \mu \text{ P ml}^{-1}$
- Patrón 5 = $0,8 \mu \text{ P ml}^{-1}$
- Patrón 6 = $1,2 \mu \text{ P ml}^{-1}$

Se determinó la recta de absorbancia en el fotocolorímetro. Para ello se anotó la absorbancia (A) correspondiente a 880 nm de los diferentes patrones preparados. Así y teniendo en cuenta la concentración real del P en cada patrón ($\mu\text{g P ml}^{-1}$ o ppm de P) se realizaron los siguientes cálculos:

Tabla 7.3 Cálculos para determinar la Pendiente

Con. $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P	Absorbancia (A)	Pendiente (b)
0	0	
0,04	$A_{0,04}$	$b_{0,04}=A_{0,04}/0,04$
0,1	$A_{0,1}$	$b_{0,1}=A_{0,1}/0,1$
0,2	$A_{0,2}$	$b_{0,2}=A_{0,2}/0,2$
0,4	$A_{0,4}$	$b_{0,4}=A_{0,4}/0,4$
0,8	$A_{0,8}$	$b_{0,8}=A_{0,8}/0,8$
1,2	$A_{1,2}$	$b_{1,2}=A_{1,2}/1,2$

Cálculo de la b media: $\bar{b} = \frac{\sum b_i}{n}$ (siendo n el número de patrones).

Se determinó la señal de absorbancia en la muestra (A_m) utilizando el fotocolorímetro.

Fue determinada la cantidad de P aprovechable por la planta en mg kg⁻¹ o ppm:

$$P(\text{mgkg}^{-1}) = \frac{A_m / \bar{b}(\mu\text{gml}^{-1}) \frac{25\text{ml}}{2\text{ml}} 25\text{ml}}{2,5\text{g}}$$

DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO KJELDAHL EN SUELO (ORGANICO+AMONICAL)

Las formas nitrogenadas son, orgánica, amoniacal y nítrica, siendo la primera de ellas la que se encuentra en mayor proporción.

El método Kjeldahl se basa en la reducción del nitrógeno orgánico a amoniacal. El análisis del amonio resultante se realiza mediante una colorimetría. Dicho proceso se basa en la fijación de un átomo de N con dos moléculas de fenol (Salicilato de sodio) bajo la acción oxidante del Hipoclorito de sodio, obteniéndose un compuesto de color verdáceo, cuya absorbancia se mide en el colorímetro a una $\lambda = 660$ nm. Se utiliza el Nitroprusiato sódico como catalizador.

- Reactivos
 - Preparación de la mezcla catalizadora: Para su obtención se tomó un mortero de porcelana, en el cual se pulverizaron 100 gramos de K₂SO₄ y 2 gramos de Selenio en polvo, obteniendo una mezcla de color grisáceo.
 - Preparación de la disolución tampón: Se vertieron unos 500 ml de agua destilada aproximadamente en un matraz aforado de un litro, el cual se colocó sobre un agitador magnético (900 rpm) para favorecer una mejor disolución de los reactivos. A continuación, se adicionaron 50 gramos de Tartrato sódico potásico tetrahidratado (C₄H₄KNaO₆·4H₂O), 14 gramos de Fosfato disódico (Na₂HPO₄) y 24 gramos de Hidróxido sódico (NaOH). Posteriormente se enrasó el matraz con agua destilada a su volumen final (1 L).

- Preparación del reactivo de salicilato: Se tomaron 150 gramos de Salicilato sódico ($C_7H_5NaO_3$) y 0,30 gramos de Nitroprusiato sódico ($Na_2Fe(CN)_5NO \cdot 2H_2O$) y se disolvieron en unos 500 ml de agua destilada en un matraz aforado de un litro, enrasando a continuación al volumen final con agua destilada.
- Preparación del reactivo de hipoclorito al 5 %: Se tomó un matraz aforado de 100 ml en el cual se vertieron 5 ml de Hipoclorito de sodio (lejía), enrasando a 100 con agua destilada.
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
- Preparación de las soluciones patrón de N (20, 40, 60 80 100, 120 ppm): Se partió de una disolución preparada de 1000 ppm de N, de la cual se tomaron respectivamente 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 ml, llevando cada uno de ellos a un matraz aforado de 25 ml y enrasando con agua destilada, obteniéndose así los patrones deseados.
- Preparación de la muestra
 - Se introdujo en un matraz kjeldahl, totalmente seco, 1 gramo de suelo finamente pulverizado (había pasado previamente por el tamiz de 0,5 mm de luz de malla). Posteriormente se añadió en el matraz 1,50 gramos de la mezcla catalizadora seguido de 5 ml de ácido sulfúrico concentrado, y se agitó ligeramente para que el ácido mojase perfectamente todo el contenido, teniendo en esos momentos la muestra un color oscuro.
 - Se calentó para efectuar la digestión, elevando la temperatura (media hora a $150^\circ C$ y cuatro horas a $350^\circ C$) hasta que el líquido tomó un color claro y se dio por finalizada la mineralización.
 - A continuación, se dejó enfriar el mineralizado hasta temperatura ambiente y se enrasó con agua destilada a 50 ml.
 - Por último, se almacenó la muestra en un bote de plástico o lecherita.
- Realización de la colorimetría
 - Construcción de la curva de calibrado: se tomaron 6 tubos de ensayo perfectamente limpios y secos, los cuales se rotularon como se indica a continuación:
 - Patrón 0 (Blanco): 0.1 ml del blanco + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.
 - Patrón 1: 0.1 ml de patrón de N (20 ppm) + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.

- Patrón 2: 0.1 ml de patrón de N (40 ppm) + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.
 - Patrón 3: 0.1 ml de patrón de N (60 ppm) + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.
 - Patrón 4: 0.1 ml de patrón de N (80 ppm) + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.
 - Patrón 5: 0.1 ml de patrón de N (100 ppm) + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.
 - Patrón 6: 0.1 ml de patrón de N (120 ppm) + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.
 - Una vez obtenidos los patrones, se agitaron los tubos de ensayo para favorecer la homogeneidad de la muestra, y se dejó desarrollar el color durante 30 minutos, procediéndose transcurrido el tiempo a la medición de la absorbancia en el espectrofotómetro a una $\lambda = 660 \text{ nm}$.
- Cálculo de la concentración de N em los tubos de 11,6 ml

Para poder construir la curva de calibrado hemos de conocer la concentración real del N en cada uno de los patrones preparados, las cuales se conocen en función de la siguiente relación:

Concentración tubo = (Volumen de N / Volumen total tubo) x Concentración ($\mu\text{g ml}^{-1}$)

- Patrón 1 = $(0.1 \text{ ml de B} / 11.6 \text{ ml}) \times 20 = 0.172 \mu\text{g ml}^{-1}$
- Patrón 2 = $0.345 \mu\text{g ml}^{-1}$
- Patrón 3 = $0.517 \mu\text{g ml}^{-1}$
- Patrón 4 = $0.690 \mu\text{g ml}^{-1}$
- Patrón 5 = $0.862 \mu\text{g ml}^{-1}$

El espectrofotómetro UV/Vis se encuentra conectado a un ordenador que almacena los datos y nos da la curva de calibrado buscada.

La concentración aparece representada en abscisas, y la absorbancia en ordenadas, apareciendo en ella representados los datos de la siguiente tabla:

Tabla 7.4: Calculo Pendiente Nitrógeno

Concentración $\mu\text{g N ml}^{-1}$	Absorbancia (A)	Pendiente (b)
0	0	
0.172	A _{0.172}	$b_{0.172} = A_{0.172} / 0.172$
0.345	A _{0.345}	$b_{0.345} = A_{0.345} / 0.345$
0.517	A _{0.517}	$b_{0.517} = A_{0.517} / 0.517$
0.690	A _{0.690}	$b_{0.690} = A_{0.690} / 0.690$
0.862	A _{0.862}	$b_{0.862} = A_{0.862} / 0.862$
1.034	A _{1.034}	$b_{1.034} = A_{1.034} / 1.034$

Donde la pendiente media de la curva de calibrado es igual a:

$$b = \Sigma bi / n$$

- Procedimiento de análisis de la muestra:
 - se tomó un tubo de ensayo en el cual se colocaron:
 - Tubo muestra: 0.1 ml de muestra + 5 ml de solución tampón + 4 ml de reactivo de Salicilato + 2.5 ml de reactivo Hipoclorito.
 - Para poder conocer la concentración de N en planta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$N (\text{mg kg}^{-1}) = \frac{A_m}{b} \times \frac{11.6}{0.1} \times \frac{50}{1} = \frac{A_m}{b} \times 5800$$

7.2. Tabla resultados analíticos

Tabla 7.5: resultados analíticos I

Área	Parcela	Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H ₂ O 1:2.5)	CE (dS/m)	MO (%)	C (%)	N (%)	C/N	PM3 (mg/kg)	Ca (cmol+/kg)	Mg (cmol+/kg)	K (cmol+/kg)	Na (cmol+/kg)	IF (metros)
BRANA VIEYA	R2(1)	Humífero	5	4,15	0,469	85,58	49,67	5,900	8,42	67,50	3,861	3,043	1,126	1,528	24,67
BRANA VIEYA		A	41	5,11	0,045	10,94	6,35	0,460	13,80	8,56	1,165	0,632	0,498	0,708	24,67
BRANA VIEYA		B	22	5,3	0,023	5,31	3,08	0,610	5,05	6,19	1,090	0,370	0,243	0,574	24,67
RIO DEL ALBA	R3 (2)	Humífero	6	3,87	0,661	79,35	46,06	3,23	14,26	56,38	4,320	3,160	1,236	1,428	20,81
20,81		A	5	4,38	0,033	18,77	10,89	1,230	8,85	11,35	1,858	1,575	0,694	0,983	20,81
RIO DEL ALBA		B	60	4,88	0,073	7,95	4,62	0,400	11,55	6,46	1,190	0,363	0,259	0,670	20,81
RIO DEL ALBA		C	19	5,15	0,034	4,96	2,88	0,104	27,69	2,40	0,831	0,251	0,127	0,597	20,81
TARNA	R1 (3)	Humífero	3	5,22	0,217	38,34	22,25	1,100	20,23	14,17	5,544	4,013	1,455	1,343	19,87
TARNA		A	32	5,02	0,052	12,73	7,39	0,490	15,08	2,60	1,198	0,586	0,371	0,690	19,87
MONASTERIO DE HERMO	F3 (4)	Humífero	4	2,86	0,35	61,89	35,92	2,110	17,02	49,69	2,112	2,184	1,345	1,722	15,00
MONASTERIO DE HERMO		A	53	4,18	0,065	8,22	4,77	0,342	13,95	2,50	1,165	0,293	0,139	1,247	15,00
MONASTERIO DE HERMO		B	5	4,33	0,242	6,77	3,93	0,250	15,72	1,67	1,132	0,244	0,102	1,169	15,00
CERREDO	F4 (5)	Humífero	10	3,65	0,474	55,41	32,16	1,670	19,26	44,90	2,574	2,547	1,239	0,951	18,46
CERREDO		A	12	3,72	0,153	10,49	6,09	0,310	19,65	4,13	1,363	0,443	0,320	0,635	18,46
CERREDO		B	16	4,38	0,079	5,74	3,33	0,240	13,88	3,23	1,198	0,328	0,114	0,766	18,46
SANGUÑALES	F5 (6)	A	20	4,54	0,106	13,03	7,56	0,400	18,90	11,88	1,396	0,841	0,290	0,571	21,41
EL FORCAO DE CIBEA	F1 (7)	A	21	4,8	0,04	9,18	5,33	0,350	15,23	5,00	1,099	0,314	0,175	0,435	9,99
VILLARINO DE CIBEA	F2 (8)	Humífero	5	4,24	0,279	77,91	45,22	3,040	14,88	31,25	2,363	2,149	1,424	1,264	10,35
VILLARINO DE CIBEA		A	15	3,95	0,072	18,28	10,61	0,460	23,07	4,90	1,099	0,461	0,275	0,745	10,35
VILLARINO DE CIBEA		B	43	5,1	0,028	7,96	4,62	0,270	17,11	3,44	1,069	0,206	0,175	0,716	10,35
PAN DE ZARCO	A1 (9)	Humífero	3	4,84	0,649	26,38	15,31	0,840	18,23	12,19	2,188	1,937	1,110	0,777	16,33
PAN DE ZARCO		A	28	4,57	0,127	11,44	4,64	0,220	21,09	6,35	1,297	0,527	0,275	0,870	16,33
TESO DA VALIÑA	A2 (10)	Humífero	3	4,74	0,497	44,67	25,93	1,160	22,35	50,10	2,620	2,071	1,023	0,936	18,55
TESO DA VALIÑA		A	22	4,71	0,063	8,97	5,21	0,390	13,36	9,06	1,190	0,380	0,263	0,827	18,55
TESO DA VALIÑA		B	23	5,5	0,028	7,29	4,23	0,310	13,65	4,48	1,066	0,206	0,175	0,566	18,55
CABANAVELLA	A3 (11)	A	16	5,32	0,035	13,43	7,8	0,550	14,18	3,33	1,049	0,391	0,194	0,754	16,18
CABANAVELLA		B	18	5,68	0,017	8,37	4,86	0,280	17,36	4,17	0,832	0,206	0,155	1,006	16,18
CABANAVELLA		C	46	5,52	0,019	5,59	3,24	0,211	15,36	2,63	0,797	0,202	0,139	0,670	16,18

Siendo IF: Índice de forma; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; PM3: Fósforo de menlich 3; C: Carbono; N: nitrógeno.

Tabla 7.6: resultados analíticos II

Area	Parcela	Horizonte	Al (cmol+/kg)	CICE	Ca/Mg	K/Mg	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nombre textura	Índice Bouyoucos	PMP (%)	CC (%)	Saturación (%)	TD (cm/h)	Agua disponible (%)	DA (g/cm ³)
BRANA VIEYA	1(R2)	Humífero	1,688	11,245	1,269	0,370	71,02	23,15	5,83	Arenoso Franco	87,818	7,054	17,300	37,820	5,069	10,259	1,650
BRANA VIEYA		A	1,388	4,390	1,845	0,789	47,19	34,01	18,8	Franco	97,490	12,191	24,726	46,037	0,922	12,535	1,430
BRANA VIEYA		B	1,041	3,318	2,947	0,657	44,71	28,96	26,33	Franco	98,302	15,300	27,488	48,000	0,437	12,160	1,376
RIO DEL ALBA	2 (R3)	Humífero	1,254	11,398	1,367	0,391	79,28	13,57	7,15	Arenoso Franco	88,912	7,300	16,100	38,352	4,570	8,792	1,634
RIO DEL ALBA		A	1,041	6,151	1,180	0,441	52,65	28,59	18,76	Franco arenoso	97,193	11,960	23,730	45,440	0,972	11,770	1,441
RIO DEL ALBA		B	1,387	3,869	3,279	0,713	50,54	22,48	26,98	Franco arcilloso arenoso	98,127	15,740	26,790	47,790	0,381	11,050	1,387
RIO DEL ALBA		C	1,041	2,848	3,308	0,507	64,77	21,42	13,81	Franco arenoso	95,310	10,423	20,610	43,050	1,564	10,192	1,445
TARNA	3 (R1)	Humífero	1,241	13,596	1,382	0,363	80,46	13,37	6,17	Arenoso Franco	86,959	6,790	15,489	37,400	5,450	8,690	1,658
TARNA		A	1,385	4,230	2,044	0,632	62,76	20,96	16,28	Arenoso Franco	96,145	11,418	21,620	44,100	1,130	10,203	1,481
MONASTERIO DE HERMO	4 (F3)	Humífero	1,041	8,404	0,967	0,616	78,26	13,53	8,21	Franco arenoso	90,468	7,840	16,684	39,100	3,802	8,840	1,611
MONASTERIO DE HERMO		A	1,750	4,594	3,975	0,475	60,21	18,76	21,03	Franco arcilloso arenoso	97,137	13,350	23,420	45,714	0,640	10,000	1,439
MONASTERIO DE HERMO		B	1,384	4,031	4,634	0,418	63,62	12,97	23,41	Franco arcilloso arenoso	97,282	14,451	23,757	46,060	0,476	9,300	1,429
CERREDO	5 (F4)	Humífero	1,041	8,352	1,011	0,487	82,37	11,45	6,18	Franco arenoso	86,672	6,717	15,136	37,320	5,595	8,400	1,665
CERREDO		A	1,049	3,810	3,076	0,721	63,48	17,02	19,5	Arenoso Franco	96,745	12,774	22,505	45,057	0,750	9,731	1,456
CERREDO		B	1,289	3,694	3,652	0,347	73,43	10,63	15,94	Arenoso Franco	95,393	11,380	20,000	43,219	1,149	8,700	1,513
SANGUÑALES	6 (F5)	A	1,041	4,139	1,660	0,345	85,75	31,34	17,09	Franco arenoso	94,982	10,550	17,950	41,607	1,558	7,400	1,546
EL FORCAO DE CIBEA	7 (F1)	A	1,031	3,053	3,500	0,556	51,85	28,77	19,38	Franco	97,325	12,508	24,140	45,860	0,828	11,630	1,436
VILLARINO DE CIBEA	8 (F2)	Humífero	1,021	8,221	1,099	0,662	78,94	16,02	5,04	Franco arenoso	84,337	6,310	15,300	36,430	6,367	9,020	1,684
VILLARINO DE CIBEA		A	1,484	4,063	2,386	0,596	74,29	10,47	15,24	Arenoso Franco	95,125	11,070	19,745	42,908	1,269	8,660	1,513
VILLARINO DE CIBEA		B	1,388	3,553	5,193	0,848	67,67	19,05	13,28	Arenoso Franco	94,904	10,208	20,000	42,600	1,680	9,800	1,520
PAN DE ZARCO	9 (A1)	Humífero	1,051	7,062	1,130	0,573	80,51	13,11	6,38	Franco arenoso	87,381	6,890	15,560	37,630	5,268	8,675	1,653
PAN DE ZARCO		A	1,041	4,009	2,462	0,521	73,7	15,03	11,27	Arenoso Franco	93,461	9,316	18,400	41,278	2,280	9,200	1,556
TESO DA VALIÑA	10 (A2)	Humífero	1,114	7,764	1,265	0,494	62,84	29,79	7,37	Arenoso Franco	91,474	7,980	19,450	39,712	3,823	11,500	1,598
TESO DA VALIÑA		A	1,388	4,047	3,129	0,691	54,55	26,36	19,09	Arenoso Franco	97,142	12,441	23,645	45,500	0,838	11,200	1,442
TESO DA VALIÑA		B	1,141	3,153	5,178	0,848	65,44	21,05	13,51	Arenoso Franco	95,156	10,302	20,420	42,880	1,630	10,120	1,518
CABANAELLA	11 (A3)	A	1,046	3,434	2,684	0,497	68,83	17,45	13,72	Arenoso Franco	94,983	10,393	19,980	42,720	1,578	9,591	1,518
CABANAELLA		B	1,061	3,260	4,041	0,753	62,29	22,17	15,54	Arenoso Franco	95,992	11,112	21,478	43,886	1,247	10,365	1,487
CABANAELLA		C	1,031	2,839	3,938	0,688	69,33	18,4	12,27	Arenoso Franco	94,350	9,779	19,469	42,060	1,943	9,700	1,535

Siendo CICE: Capacidad de Intercambio Cationico Efectiva; PMP: Punto de Marchitez Permanente; CC: Capacidad de Campo; TD: Tasa de Drenaje; DA: Disponibilidad de Agua.

8. ANEXO II

8.1. Figuras relacionadas con los análisis edáficos en el laboratorio de Ingeniería agroforestal (Campus de Mieres)



Figura 8.1: Secado de muestras, laboratorio ecología. Campus de Mieres. Septiembre 2021.



Figura 8.2 Preparación de las muestras para su posterior paso por laboratorio. Septiembre 2022



Figura 8.3 Preparación de las muestras para cálculo del pH y conductividad eléctrica. Octubre, 2021.



Figura 8.4 Muestras a introducir en horno para determinar materia orgánica (%). Octubre, 2021.



Figura 8.5 Crisoles y horno-mufla. Octubre 2021



Figura 8.6 Espectrómetro y muestras. Noviembre 2021



Figura 8.7 Preparación de las muestras para determinación del nombre textural. Noviembre 2021



Figura 8.8 Determinación de la curva de absorbancia en el aparato de absorción atómica para cálculo de la capacidad de intercambio catiónica efectiva. Enero 2022