



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

**Análisis de la temperatura del suelo y la atmosférica en
relación con su distribución en el gradiente altitudinal
y la cubierta del suelo en el Parque Natural del
Moncayo.**

Autor/es

Jaime Langa Aguirre

Director

Dr. Martín de Luis Arrillaga

Facultad de Filosofía y Letras

2016

Resumen:

Se analizan los datos de temperatura de suelo y atmosféricos, del aire a 1 m. de altura, en relación con su distribución en el gradiente altitudinal y la cubierta del suelo.

En todos ellos se estudia las correlaciones existentes entre la temperatura del aire y la del suelo a 10 cm. de profundidad bajo diferentes tipos de cubierta vegetal.

Obteniendo como resultado la existencia de una serie de gradientes similares entre la temperatura del suelo y la atmosférica en relación con las variables analizadas. Además de un comportamiento diferente de las temperaturas para cada una de estas coberturas de vegetación en idénticos puntos geográficos dentro de la zona de estudio.

Palabras clave: Parque Natural del Moncayo, variabilidad de las temperaturas, temperatura atmosférica, temperatura de suelo y cubierta vegetal.

Abstract

The soil and atmospheric temperature data of the air are analyzed at 1 m. Of height, in relation to its distribution in the altitudinal gradient and the ground cover.

In all of them, the correlation between air temperature and soil temperature is studied at 10 cm. Of depth, in spite of not counting all of them with the same type of vegetal cover.

As a result, the existence of a series of similar gradients between the temperature of the soil and the atmosphere in relation to the variables analyzed. In addition to a different behavior of temperatures for each of these vegetation coverages in identical geographic points within the study area.

Key words: Natural Park of the Moncayo, variability of the temperatures, atmospheric temperature, temperature of soil and vegetal cover.

Agradecimientos

Mi más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me han ayudado a estar donde estoy hoy en día, finalizando una etapa de mi vida, especialmente a todas aquellas personas sin las cuales no hubiera podido llevar a cabo este proyecto, y que posteriormente menciono.

En primer lugar, a mis padres, hermanos y familiares por hacer todo lo posible para que llegara a donde he llegado, ya que sin todo vuestro esfuerzo y apoyo esto no habría sido posible.

A mi tutor, Martín de Luis Arillaga, por sus consejos, enseñanzas y apoyo durante la realización de este Proyecto; y por descubrirme una disciplina que a día de hoy me apasiona.

Al profesor Luis Alberto Longares y al Dpto de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza, por guiarme y facilitarme toda la información que he precisado en la realización de este Trabajo Fin de Grado, a la vez de contagiarme la pasión que sienten por su trabajo. Además de por enseñarme, ayudarme y apoyarme a lo largo de todo el proyecto, dando lugar a día de hoy a una formación mucha más completa, lo cual sin su ayuda hubiera sido imposible.

A todos ellos mi gratitud y reconocimiento.

Índice

Índice de figuras	5
Introducción y justificación del proyecto	7
Introducción	7
Justificación del proyecto.....	9
Localización del área de estudio.	10
Objetivos	13
Metodología	13
Revisión bibliográfica	15
Delimitación de la zona de estudio	15
Tratamiento de datos	16
Creación malla de puntos y extracción de los valores.....	21
Predicción de las temperaturas	21
Resultados	22
Análisis de las temperaturas del suelo.....	22
Análisis de correlación	25
Variables físicas y temperaturas.....	26
Cubierta vegetal y temperaturas	28
Suelo desnudo	28
<i>Pinus uncinata</i> y <i>Pinus sylvestris</i> (PIUN & PISY)	29
<i>Quercus pyrenaica</i> y <i>Fagus sylvatica</i> (QPY y FASY)	31
Modelos de predicciones de las temperaturas del suelo	33
Conclusiones	34
Recursos Bibliográficos	37
Recursos Web	39
Anexos cartográfico	40

Índice de figuras

Figura: 1. Cartografía de la P. Ibérico. Elaboración propia. Fuente: CNIG.....	10
Foto: 1. Vista del macizo del Moncayo en diciembre de 2012. Fotografía: María Royo.....	11
Figura: 2. Climograma S. Ibérico. Elaboración propia. Fuente: AEMET.....	12
Figura: 3. Cartografía de la P. Ibérico. Elaboración propia. Fuente: CNIG.....	14
Figura: 4. Esquema metodológico del TFG. Elaboración propia.....	16
Figura: 5. Mapa de localización y vegetación del P.N. del Moncayo. Elaboración propia, SIG ArcGIS 10.1.....	17
Figura: 6. Hoja de cálculo Excel con la codificación de los diferentes sensores y sus correspondientes datos de las variables analizadas. Elaboración propia.....	18
Figura: 7. Hoja de cálculo Excel con los datos organizados secuencialmente. Elaboración propia.....	19
Figura: 8. Tabla dinámica Excel para la obtención del promedio de temperaturas mensuales. Elaboración propia.....	20
Figura: 9. Tabla final del proyecto. Elaboración propia.....	23
Figura: 10. Evolución de las temperaturas en el suelo desnudo y en la temperatura atmosférica. Elaboración propia.....	24
Figura: 11. Evolución de las temperaturas en el <i>Pinus Sylvestris</i> y <i>Pinus Uncinata</i> . Elaboración propia.....	24
Figura: 12. Evolución de las temperaturas en el <i>Fagus Sylvatica</i> .Elaboración propia.....	25
Figura: 13. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables. Sin diferenciar que sean datos atmosféricos de altura o de suelo.....	27
Figura: 14. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables con los observatorios de suelo (cumbre).....	27
Figura: 15. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables con los sensores de suelo.....	27
Figura: 16. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables con los sensores de temperatura atmosférica.....	27
Figura: 17. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios de suelo desnudo (Todos sensores).....	29

Figura: 18. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios de suelo desnudo (Solo sensores de suelo y cumbre).....	29
Figura: 19. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios de suelo desnudo (Solo sensores de suelo).....	29
Figura: 20. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios PIUN & PISY (Todos sensores).....	30
Figura: 21. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios PIUN & PISY (Solo sensores de suelo y cumbre).....	30
Figura: 22. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios QPY (Solo sensores de suelo y cumbre).....	31
Figura: 23. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios FASY (Solo sensores de suelo y cumbre).....	32
Figura: 24. Evolución de la temperatura media mensual predicha en el suelo desnudo, <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Pinus</i> y temperatura atmosférica.....	36

Introducción y justificación del proyecto

Introducción

La temperatura, su valor en un momento dado, y la variabilidad espacial y temporal que muestra, es un factor primordial para la caracterización del medio físico, por ser determinante de las velocidades y direcciones de los procesos físicos y de los cambios de masa y energía con la atmósfera (evaporación de agua, aireación...). Por su parte, la temperatura del suelo gobierna los tipos y velocidades de las reacciones químicas que tienen lugar en el mismo e influye fuertemente sobre procesos biológicos tales como la germinación y emergencia de semillas, el crecimiento de plantas, el desarrollo de las raíces y la actividad microbiana (HILLEL, 1980).

Los medios de montaña son espacios de transición entre ecosistemas y ambientes bioclimáticos diferentes, por lo que se muestran sensibles a cualquier tipo de variación de las condiciones climáticas. Su menor grado de antropización, su función refugio para especies extintas en otros lugares o de distribución limitada por la altitud, la existencia de marcados gradientes altitudinales y su fragilidad frente a los cambios ambientales hacen de estos espacios excelentes lugares para analizar los efectos del clima, como por ejemplo las variaciones en las masas forestales en función de los límites altitudinales o de las tendencias termopluviométricas observadas o de su capacidad de adaptación a eventos ambientales extremos.

En el Parque Natural del Moncayo (en adelante PNM) hay instalados una pequeña red de estaciones termopluviométricas distribuidas en altura, así como sensores de temperatura del suelo. La existencia de esta red, ha permitido contar con datos para la realización de este trabajo, en el que se presentan los resultados obtenidos para el periodo de tiempo que transcurre desde el 9 de septiembre del año 2012 al 5 de octubre del año 2015. La información obtenida en estos 36 meses ofrece datos interesantes sobre la existencia de diferentes gradientes de temperatura dentro de la ladera norte del Moncayo, información fundamental para la caracterización climática de este espacio, permitiendo comprender los gradientes altitudinales existentes y aportar información para analizar sus efectos en la cubierta vegetal del espacio protegido.

Por ello, el presente Trabajo Fin de Grado (en adelante TFG), analiza la relación entre las variables conocidas (altitud, orientación, cubierta vegetal) y su distribución geográfica (latitud y longitud) y el aumento y/o disminución de las temperaturas y los gradientes de temperatura que se generan.

Los datos para el trabajo han sido recogidos mediante una red de sensores localizados en el Parque Natural del Moncayo. Para los datos relativos a la temperatura del aire, se cuenta con la información generada por la red de seguimiento ecológico (variable climática) del Parque Natural del Moncayo, gestionada por investigadores del Dpto de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza, en tres ubicaciones “Majada Baja”, “Centro de Interpretación de Agramonte” y el municipio de “Calcena”. Mientras que los sensores de suelo, enterrados a 10 cm. de profundidad, en diferentes tipos de cubierta vegetal y altitudes gestionados también por los dichos investigadores pertenecientes al grupo de investigación consolidado del Gobierno de Aragón y del IUCA (Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de la Universidad de Zaragoza) “Clima, agua, cambio global y sistemas naturales”. Del mismo modo, se ha contado también con la información cedida por el proyecto GLORIA* para los cuatro observatorios ubicados en las cumbre: Peña Negrilla (NEG), Peña Lobera (LOB), Morca (MOR) (Alto del Corralejo o del Collado de las Piedras) y Moncayo o Pico de San Miguel (MON).

Toda esta información, nos ha permitido contar con una importante variedad de datos sobre las temperaturas en el espacio del PNM en diferentes gradientes altitudinales y coberturas vegetales, con el fin de comprobar la existencia de gradientes de temperatura y la variabilidad frente a cubiertas vegetales diferentes.

GLORIA*: Global Observation Research Initiative In Alpine Environment
<https://jolube.wordpress.com/proyecto-gloria/>

Justificación del proyecto.

Estudios precedentes para la Península Ibérica, señalan un aumento de las temperaturas durante el siglo XX en España, aunque se han identificado diferencias en el comportamiento estacional así como entre máximas y mínimas (González-Hidalgo et al., 2015). Dentro de este contexto, son escasos los trabajos que analizan en detalle esta situación y todavía menos los que confrontan estas variaciones con variables físicas (altitud, orientación, latitud, longitud y cubierta vegetal) en áreas de montaña, no existiendo ningún tipo de trabajo en esta línea para el Sistema Ibérico y mucho menos para el macizo del Moncayo.

Hasta el momento, los trabajos desarrollados en la zona han cuantificado el gradiente climáticos en la vertiente norte del macizo del Moncayo, afirmando la presencia de situaciones de inversión térmica dentro de la ladera norte del Moncayo y una notable variabilidad de la precipitación, aunque se trata de un estudio que cuenta únicamente de un año de registros y por lo tanto de unos resultados de escasa significación estadística (Martínez del Castillo et al., 2012).

La disponibilidad en el PNM de la red de observatorios anteriormente citada, con registros quinceminutales a lo largo del gradiente altitudinal del Moncayo, desde el mes de septiembre del año 2012 hasta principios del mes de octubre del año 2015, nos permitió abordar el presente Trabajo Fin de Grado, con el objetivo de detectar posibles variaciones y diferencias de la distribución de las temperaturas como consecuencia de la altitud, orientación, latitud o longitud y de la propia cubierta vegetal existente en cada uno de ellos.

Localización del área de estudio.

El área de estudio abarca el territorio delimitado por el Parque Natural del Moncayo, ubicado en el sector central del Sistema Ibérico. (Fig. 1)



Figura: 1. Cartografía de la P. Ibérico. Elaboración propia. Fuente: CNIG.

El macizo del Moncayo (Foto 1) se localiza en el sector central de la Cordillera Ibérica, entre las provincias de Zaragoza y Soria. Su pico más alto es el de San Miguel con 2.315 metros de altura.

Declarado Parque Natural en 1998 (BOA 13/04/1998), el Moncayo (Fig.1) cuenta con diversas figuras de protección desde 1927, momento en el que la Dehesa del Moncayo fue declarada Sitio Natural de Interés Nacional. En la actualidad, tras su ampliación (BOA 17/11/2014), el Parque Natural se extiende sobre 11.144 hectáreas pertenecientes a las localidades de Añón, Calcena, Litago, Lituénigo, Purujosa, San Martín de la Virgen del Moncayo, Talamantes, Tarazona y Trasmoz (Gobierno de Aragón, 2013, p. 4).



Foto: 1. Vista del macizo del Moncayo en diciembre de 2012. Fotografía: María Royo.

El Sistema Ibérico es un sistema montañoso complejo en el que se suceden elevados conjuntos de sierras intercalados con depresiones de litologías muy variadas (Pellicer (1984). Se extiende en dirección noroeste-sureste entre la Depresión del Ebro y la Meseta, por lo que el clima varía considerablemente desde el punto más occidental al más oriental, debido a la mayor o menor influencia mediterránea u oceánica.

En general, en el contexto en el que se ubica nuestra área de estudio, la precipitación media anual es de 520 mm. Las mayores precipitaciones tienen lugar en los meses de primavera y otoño (sus dos máximos) (Fig.2), con frecuentes tormentas; durante el invierno las precipitaciones se producen por lo general en forma de nieve debido a su elevada altitud media

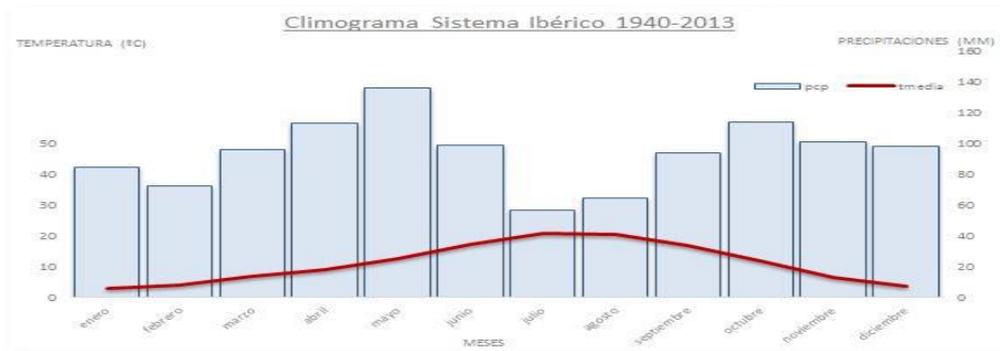


Figura: 2. Climograma S. Ibérico. Elaboración propia. Fuente: AEMET.

Confluyen en el macizo del Moncayo y en concreto en el PNM, hasta cuatro pisos de vegetación, desde el termomediterráneo en las partes más bajas hasta el oromediterráneo en las zonas más elevadas, con pinares de *Pinus uncinata* y formaciones rastreras de *Juniperus*, que dan paso a los pastos de cumbre de *Festuca sp.* Entre ellas el mesomediterráneo, con predominio de los pinares de repoblación y

encinares, y el supramediterráneo en el que conviven especies de ámbitos y regiones contrastadas como *Quercus pyrenaica*, *Fagus sylvatica* y *Pinus sylvestris*. Esta diversidad de ambientes y especies, con formaciones que en muchos casos se encuentran en el límite de distribución natural, le otorgan valores biogeográficos y ecológicos excepcionales, constituyendo un espacio singular y de elevado interés para la detección de señales de cambios ambientales y la aplicación de políticas de gestión adaptativas desde el adecuado conocimiento de la respuesta de los sistemas forestales (Longares, 2014)

Ante esta diversidad de ambientes, los sensores que han permitido contar con información de la temperatura atmosférica y de suelo a este TFG, fueron colocados tratando de abarcar en la mayor medida posible el gradiente altitudinal y la variabilidad de cubiertas vegetales presentes en el PNM (Fig.3).

De esta forma se ha contado con información procedente de tres estaciones termopluviométricas Cambell ubicadas en: (Centro de Interpretación de Agramonte, 1.084 m., Refugio de Majada Baja 1.796 m. y Centro de Interpretación de Calcena 813 m.), así como un total de 39 sensores repartidos por el gradiente altitudinal y diferente cobertura vegetal del Parque.

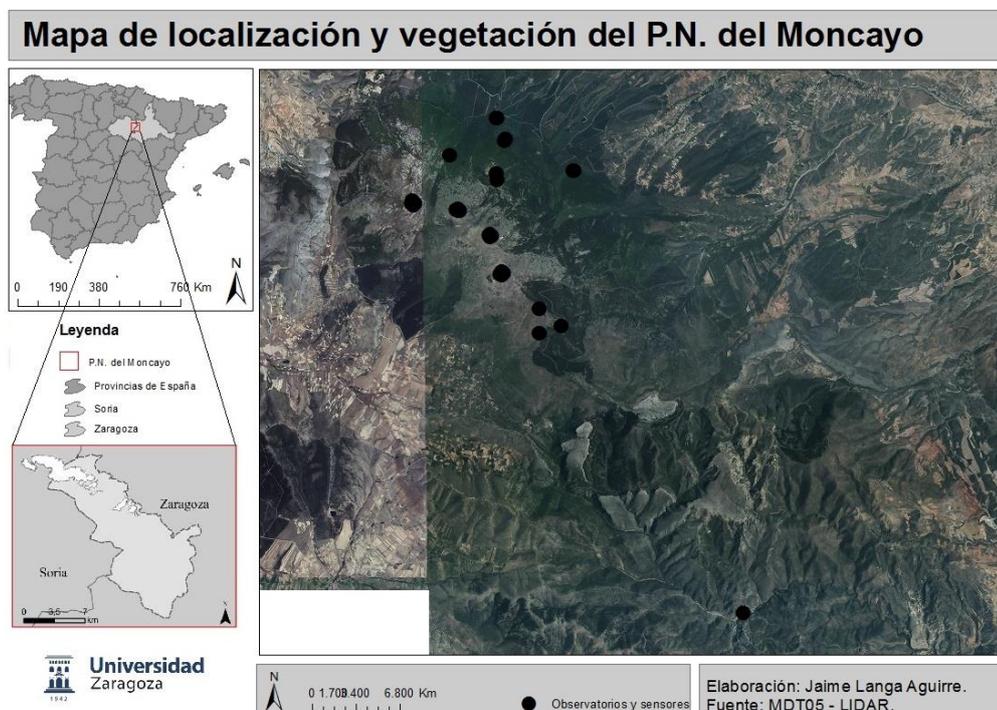


Figura: 3. Cartografía de la P. Ibérico. Elaboración propia. Fuente: CNIG

Objetivos

Las comunidades forestales del Sistema Ibérico, por tratarse de un territorio de transición y para algunas de ellas áreas de límite de distribución, están muy expuestas a los efectos del cambio climático, al aumento de las temperaturas y a eventos climáticos extremos (IPCC, 2007). Las diferentes cubiertas vegetales sufren cambios en su crecimiento, productividad, distribución, estructura, debido a los efectos del cambio climático. Obtener las respuestas a estos cambios es complejo, ya que interactúan con otros factores y en la mayoría de las ocasiones no se tienen datos suficientes para ello.

En nuestro caso, la disponibilidad de datos de temperatura atmosférica y de suelo para un mismo territorio nos ha hecho plantearnos los siguientes objetivos en relación con lo expuesto en el párrafo anterior.

- Conocer cómo influyen las variables físicas en la distribución de las temperaturas en zonas de montaña.
- Conocer la respuesta de las temperaturas del suelo en diferentes tipologías a de las cubiertas vegetales;
- Una predicción climática para las temperaturas del suelo en función de la tipología de bosque como herramienta de gestión forestal;

Metodología

El proceso metodológico seguido en este TFG, se expone en el siguiente esquema (Fig. 4) En él se pueden observar cuatro fases diferentes del trabajo que van desde la revisión bibliográfica al análisis de los datos, pasando por el tratamiento de la información y la creación de cartografías y análisis geoespacial.

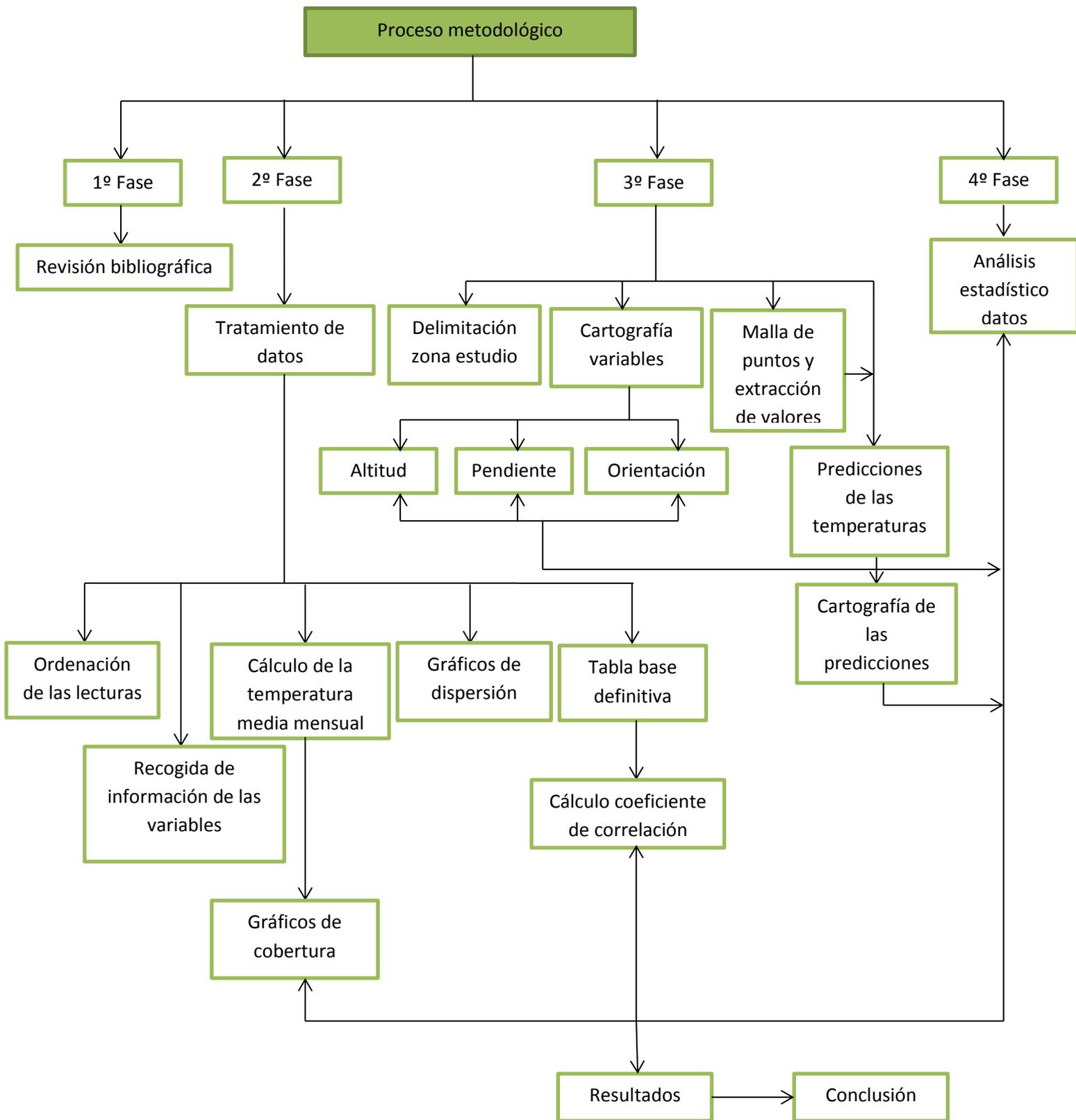


Figura: 4. Esquema metodológico del TFG. Elaboración propia.

Revisión bibliográfica

El proceso de revisión bibliográfica comenzó con la búsqueda de artículos científicos o libros relacionados con el tema de estudio.

La revisión bibliográfica se ha realizado principalmente a través de varios motores de búsqueda online como son Google Scholar, Zeguan (Repositorio Institucional de Documentos de la Universidad de Zaragoza), Dialnet y Scopus. También se ha podido consultar informes del Gobierno de Aragón y del Ministerio de Medio Ambiente, completándose con las consultas en la bibliografía disponible de la biblioteca María Moliner de la Universidad de Zaragoza.

El principal criterio de búsqueda de esta bibliografía, ha sido la localización de trabajos que describan la correlación de la temperatura, tanto de la Península Ibérica como en el resto de Europa o del mundo, así como el comportamiento de la temperatura a nivel de suelo.

Delimitación de la zona de estudio

Una vez definida el área de estudio en el contexto del macizo del Moncayo, se ha procedido a la delimitación del objeto de estudio, en este caso el Parque Natural del Moncayo, por contar con información más detallada y precisa asegurando de esta forma la consecución de los objetivos del TFG y usando como base el límite del Espacio Natural Protegido del Parque Natural del Moncayo (Fig. 5)

En esta fase del trabajo, una vez delimitada la zona de estudio, se ha procedido a la obtención de las variables físicas. Se han seleccionado tres variables físicas independientes del uso antrópico del territorio, para comprobar si existe relación entre la distribución de las temperaturas y éstas. Las variables son: altitud, pendiente y orientación (Anexos cartográfico).

La fuente de información de la que se obtienen dichas variables es el Modelo Digital del Terreno (MDT) derivado de la cobertura LIDAR del Plan Nacional de Observación del Territorio (LIDAR PNOA), resolución 0.5 m, disponible a través de la página web del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). En este caso se

descargaron los ficheros MDT05/MDT05-LIDAR de las hojas del mapa topográfico nacional números 351, 352 y 382.

La organización de estos ficheros y su adecuación al área de estudio, permitieron obtener los datos de altitud para el área de estudio y de él se derivaron las variables pendiente y orientaciones (Anexo cartográfico) a través del SIG ArcGis 10.1

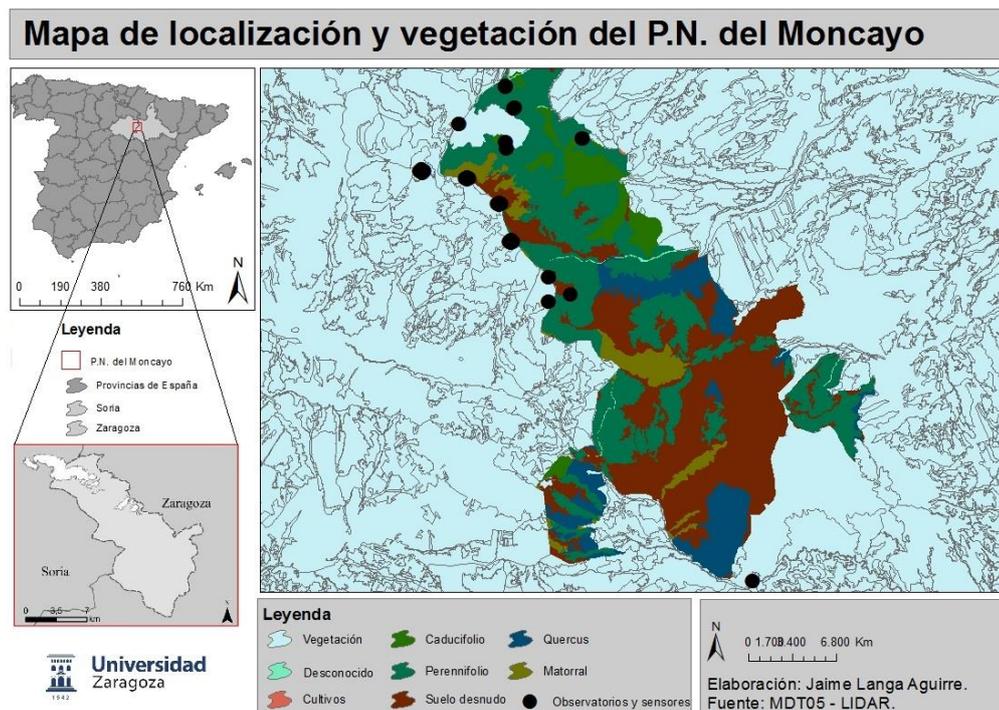


Figura: 5. Mapa de localización y vegetación del P.N. del Moncayo. Elaboración propia, SIG ArcGIS 10.1

Tratamiento de datos

Los datos analizados, son fruto de una serie de transformaciones realizadas de los datos brutos obtenidos mediante los sensores. Los observatorios y sensores a los que se refiere el estudio están localizados a diferente altitud, los observatorios están localizados todos ellos por encima de los 2.100 m. de altitud, más concretamente se encuentran comprendidos entre valores de altitud que oscilan entre los 2.016 m del observatorio de “Peña Negrilla” y los 2.314 m. del observatorio de “Moncayo o Pico de San Miguel”. Establecer que todos ellos, tanto sensores como observatorios, cuentan con lecturas diarias de la temperatura del aire y del suelo.

En este caso en cada una de las cimas, seguido de la abreviatura se añade la orientación en la que se sitúa cada sensor, por lo tanto cada cima tiene cuatro sensores. Dando lugar a que en total contemos para la realización de este proyecto con 20 sensores de suelo localizados a diferente altitud, 16 sensores de cumbre y 3 sensores de temperatura del aire.

Los datos facilitados en bruto, han sido tratados mediante hojas de cálculo. (Figura: 6), teniendo como punto de partida la hoja de referencia en la que se encuentran los datos de ubicación de cada sensor, junto con la categoría de cada una de las variables analizadas: altitud (m), orientación, cubierta vegetal y profundidad (Suelo/Aire).

	A	B	C	D	E
1	Código	Altitud (m)	Orientación	Cubierta vegetal	Profundidad(Suelo/Aire)
2	Agramonte	1084	60,21891	Pinus sylvestris	2
3	Calceña	813	125,219589	zona urbana	2
4	Majada_Baja	1796	140,534134	Pinus uncinata	2
5	LOB1	2222	12,69	Suelo desnudo	1
6	LOB2	2225	206,582748	Suelo desnudo	1
7	LOB3	2227	9,822152	Suelo desnudo	1
8	LOB4	2223	267,102539	Suelo desnudo	1
9	MON1	2308	4,173171	Suelo desnudo	1
10	MON2	2309	197,887329	Suelo desnudo	1
11	MON3	2309	54,435111	Suelo desnudo	1
12	MON4	2308	265,538788	Suelo desnudo	1
13	MOR1	2266	48,106277	Suelo desnudo	1
14	MOR2	2264	183,481949	Suelo desnudo	1
15	MOR3	2267	43,449074	Suelo desnudo	1
16	MOR4	2268	224,254471	Suelo desnudo	1
17	NEG1	2104	7,0773	Suelo desnudo	1
18	NEG2	2103	160,998672	Suelo desnudo	1
19	NEG3	2101	72,069275	Suelo desnudo	1
20	NEG4	2101	266,620483	Suelo desnudo	1
21	TSUB1_QPY_NF	1012	126,82045	Quercus pyrenaica no resalveado	1
22	TSUB1_QPY_NF	1012	126,82045	Quercus pyrenaica no resalveado	1
23	TSUB1_QPY_R	1009	122,096039	Quercus pyrenaica resalveado	1
24	TSUB1_QPY_R	1009	122,096039	Quercus pyrenaica resalveado	1
25	TSUB1_SB_1	1084	82,135139	Suelo desnudo	1
26	TSUB1_SB_2	1084	82,135139	Suelo desnudo	1
27	TSUB3_FASY_1	1167	69,008133	Fagus sylvatica	1
28	TSUB3_FASY_2	1167	69,008133	Fagus sylvatica	1
29	TSUB3_PISY_1	1156	8,772789	Pinus sylvestris	1
30	TSUB3_PISY_2	1156	8,772789	Pinus sylvestris	1
31	TSUB4_FASY_1	1418	9,535477	Fagus sylvatica	1
32	TSUB4_FASY_2	1418	9,535477	Fagus sylvatica	1
33	TSUB5_FASY_1	1538	68,515961	Fagus sylvatica	1
34	TSUB5_FASY_2	1538	68,515961	Fagus sylvatica	1
35	TSUB5_PISY_1	1558	65,839803	Pinus sylvestris	1
36	TSUB5_PISY_2	1558	65,839803	Pinus sylvestris	1
37	TSUB6_SB_1	1771	198,684738	Suelo desnudo	1
38	TSUB6_SB_2	1771	198,684738	Suelo desnudo	1
39	TSUB7_PIUN_1	1973	147,810135	Pinus uncinata	1
40	TSUB7_PIUN_2	1973	147,810135	Pinus uncinata	1

Figura: 6. Hoja de cálculo Excel con la codificación de los diferentes sensores y sus correspondientes datos de las variables analizadas. Elaboración propia.

A continuación se procedió a ordenar las lecturas de temperatura del aire y del suelo por estaciones del año, fecha, año y mes pudiendo de esta forma encontrar toda la información de temperaturas del proyecto de manera secuencial.

	A	B	C	D	E	F	G
1	SITE	SEASON	DATE	YEAR	MONTH	YEAR MONTH	TEMP
2	NEG1	Verano	2012-09-01	2012	9	2012_9	5,7
3	NEG1	Verano	2012-09-02	2012	9	2012_9	4,74
4	NEG1	Verano	2012-09-03	2012	9	2012_9	5,84
5	NEG1	Verano	2012-09-04	2012	9	2012_9	6,43
6	NEG1	Verano	2012-09-05	2012	9	2012_9	7,86
7	NEG1	Verano	2012-09-06	2012	9	2012_9	10,2
8	NEG1	Verano	2012-09-07	2012	9	2012_9	12,22
9	NEG1	Verano	2012-09-08	2012	9	2012_9	12,69
10	NEG1	Verano	2012-09-09	2012	9	2012_9	12,96
11	NEG1	Verano	2012-09-10	2012	9	2012_9	11,93
12	NEG1	Verano	2012-09-11	2012	9	2012_9	12,35
13	NEG1	Verano	2012-09-12	2012	9	2012_9	11,59
14	NEG1	Verano	2012-09-13	2012	9	2012_9	6,37
15	NEG1	Verano	2012-09-14	2012	9	2012_9	5,61
16	NEG1	Verano	2012-09-15	2012	9	2012_9	9,73
17	NEG1	Verano	2012-09-16	2012	9	2012_9	16,92
18	NEG1	Verano	2012-09-17	2012	9	2012_9	15,15
19	NEG1	Verano	2012-09-18	2012	9	2012_9	13,56
20	NEG1	Verano	2012-09-19	2012	9	2012_9	11,31
21	NEG1	Verano	2012-09-20	2012	9	2012_9	12,61
22	NEG1	Otoño	2012-09-21	2012	9	2012_9	13,9
23	NEG1	Otoño	2012-09-22	2012	9	2012_9	14,02
24	NEG1	Otoño	2012-09-23	2012	9	2012_9	11,42
25	NEG1	Otoño	2012-09-24	2012	9	2012_9	6,11
26	NEG1	Otoño	2012-09-25	2012	9	2012_9	3,85
27	NEG1	Otoño	2012-09-26	2012	9	2012_9	1,81
28	NEG1	Otoño	2012-09-27	2012	9	2012_9	3,28
29	NEG1	Otoño	2012-09-28	2012	9	2012_9	7,39
30	NEG1	Otoño	2012-09-29	2012	9	2012_9	4,41
31	NEG1	Otoño	2012-09-30	2012	9	2012_9	3,36
32	NEG1	Otoño	2012-10-01	2012	10	2012_10	3,81
33	NEG1	Otoño	2012-10-02	2012	10	2012_10	6,78
34	NEG1	Otoño	2012-10-03	2012	10	2012_10	8,96
35	NEG1	Otoño	2012-10-04	2012	10	2012_10	9,19
36	NEG1	Otoño	2012-10-05	2012	10	2012_10	10,53
37	NEG1	Otoño	2012-10-06	2012	10	2012_10	10,81
38	NEG1	Otoño	2012-10-07	2012	10	2012_10	9,35
39	NEG1	Otoño	2012-10-08	2012	10	2012_10	13,37
40	NEG1	Otoño	2012-10-09	2012	10	2012_10	11,9

Figura: 7. Hoja de cálculo Excel con los datos organizados secuencialmente.

Elaboración propia.

La obtención de las variables físicas para cada uno de los puntos de localización de los sensores, se ha realizado mediante Sistemas de Información Geográfica en concreto a través del software ArcGIS 10.1, que nos ha permitido capturar la información puntual de los puntos a partir de información raster existente o derivada para el propósito de este TFG.

Una vez recopilada, ordenada y transformada la información se ha procedido mediante una tabla dinámica a obtener los promedios de temperaturas mensuales de cada uno de los sensores y observatorios de este estudio (Figura: 8). Información a partir de la cual se procedió a la realización de una serie de gráficos que representan la

información mensual de la temperatura de los sensores y observatorios del suelo y del aire agrupadas en grupos de idéntica cubierta vegetal.

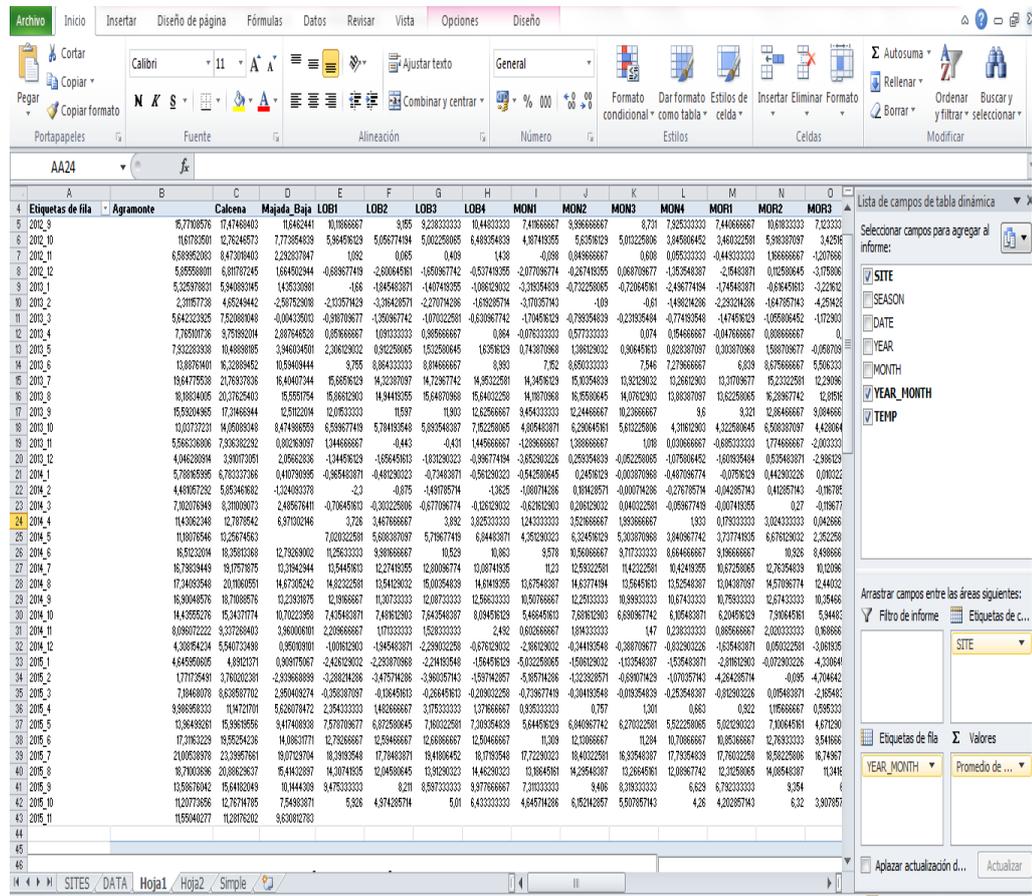


Figura: 8. Tabla dinámica Excel para la obtención del promedio de temperaturas mensuales. Elaboración propia.

Posteriormente se procedió al análisis de correlación entre las diferentes variables del medio y los datos de temperatura atmosférica y del suelo, elaborando para su comprensión diferentes gráficos de dispersión de la temperatura mensual por grupos de idéntica cubierta vegetal.

Finalmente, mediante la elaboración de todos estos pasos se obtuvo la (Fig: 9). Tabla que se obtiene al realizar el cálculo definitivo de la información de las temperaturas. Proceso que consiste en la realización de una única tabla que recoja la temperatura media mensual agrupada únicamente en doce meses. Lo cual nos permitirá realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson de cada una de las diferentes variables del estudio para cada uno de estos sensores y observatorios. Diferenciando dos grupos de correlaciones diferentes, el 1º grupo formado por cuatro

tablas en las cuales se analiza la correlación existente de manera general en todos los sensores y observatorios; y el 2º grupo formado por siete tablas en la que se analiza la correlación de Pearson en función del tipo de cubierta vegetal existente en cada uno de estos sensores y observatorios.

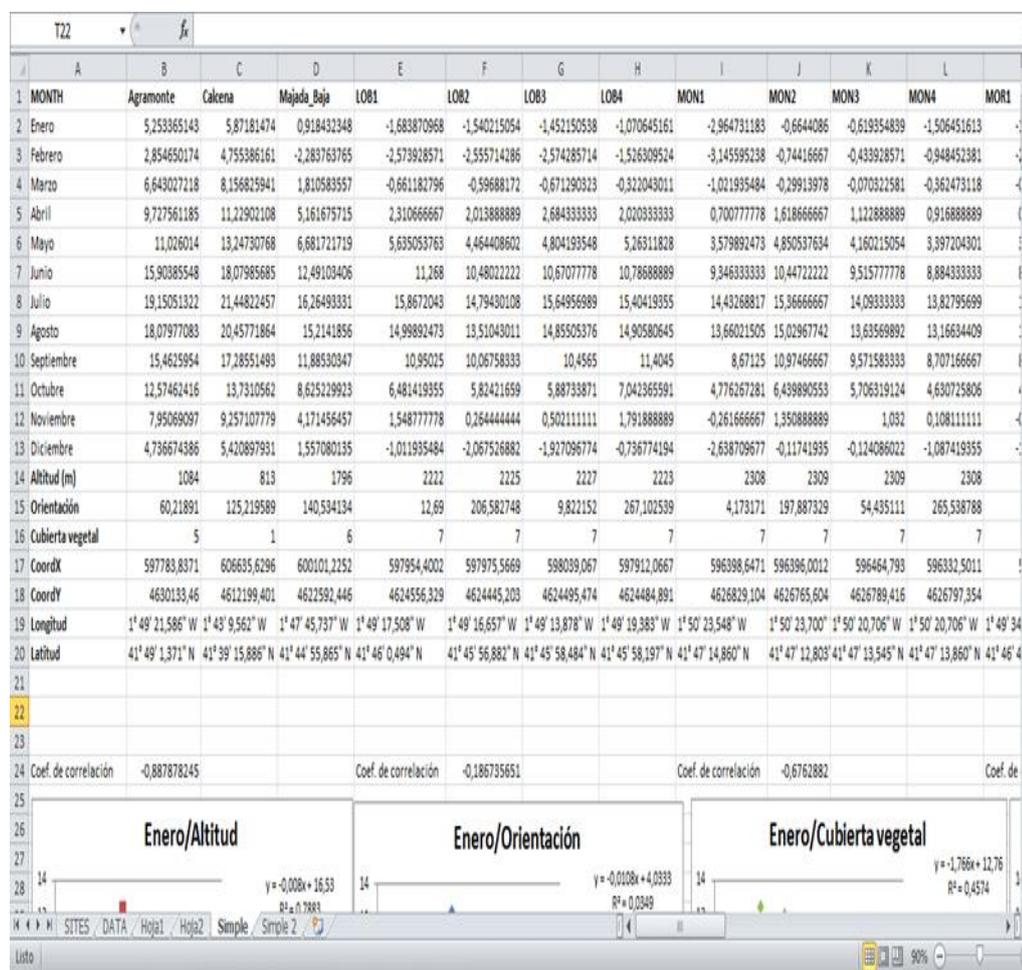


Figura: 9. Tabla final del proyecto. Elaboración propia.

Creación malla de puntos y extracción de los valores

Para el análisis es necesario contar con una buena representación de puntos en los que poder obtener el valor concreto de cada una de las variables del medio físico a analizar y sobre los que calcular los valores de temperatura de suelo y aire en relación con los valores de correlación obtenidos. Este proceso de extracción de los valores de las variables físicas, se ha realizado a través de una malla de puntos generada a una distancia equidistante de 250 metros y que abarca toda nuestra zona de estudio.

Se realizó mediante la herramienta "Create Fishnet" de ArcGIS 10.1. y con ella se obtuvieron un total de 1790 puntos que permitieron abarcar una buena muestra del rango de valores presentes para cada una de las variables analizadas en toda el área de estudio.

Una vez creada la malla se procedió a la obtención del valor de las variables creadas anteriormente para cada punto de la malla. Para ello se utiliza la herramienta "Extract Values to Points" y se extraen los valores de orientación, pendiente, altitud, longitud, latitud y vegetación. Los datos son exportados en formato tabla para su posterior análisis.

Predicción de las temperaturas

La realización de este proceso es compleja debido a que el proceso de reconstrucción del dato climático para un punto debe contemplar numerosas variables como las estaciones meteorológicas o sensores de suelo más cercanos, la distancia entre estos, el manejo de dato diario, etc... Para este proceso se análisis es necesario contar con el software RStudio, con mayor capacidad y velocidad de cálculo que el software hasta ahora utilizado. El desarrollo de la formulación de predicción, desborda los conocimientos adquiridos durante el Grado, por lo que se utilizó el script creado por los miembros del grupo de investigación "Clima, Agua y Sistemas Naturales" para su cálculo.

Una vez explicada por los tutores la secuencia de inicio y proceso del script comentado, procedimos a organización de los datos correctamente para su introducción en RStudio y su posterior funcionamiento para obtener las predicciones mensuales de

temperaturas en cada uno de los puntos de la malla de trabajo en función de las diferentes coberturas vegetales del suelo para toda nuestra zona de estudio.

Estos resultados, nos ofrecen la posibilidad de modelar el comportamiento de la temperatura del suelo como si en todos puntos de esta zona de estudio encontráramos una sola tipología de cubierta vegetal: o bien de caducifolias (“*Fagus sylvatica*, *Quercus pyrenaica* y *Q. petraea*”) o bien perennifolias (“*Pinus sylvestris*, *P. uncinata* y *Juniperus sp.*”), o “suelo desnudo”. Pudiendo entender mejor de esta manera el comportamiento de la temperatura a lo largo de un año en todos los puntos del Parque Natural del Moncayo en función de la misma tipología de cubierta vegetal, permitiéndonos observar diferentes comportamientos en idénticos puntos geográficos en el mismo periodo temporal.

Resultados

Análisis de las temperaturas del suelo.

La temperatura media mensual del suelo relativa al periodo 2012-2015 en las diferentes cubiertas vegetales queda reflejada en las siguientes figuras (Figuras. 10. y 11.). Las figuras muestran la existencia de un gradiente de temperaturas así como un comportamiento térmico muy similar entre todas las cubiertas vegetales, a pesar de ser muy distintas, localizándose a diferencia rangos altitudinales unas de otras.

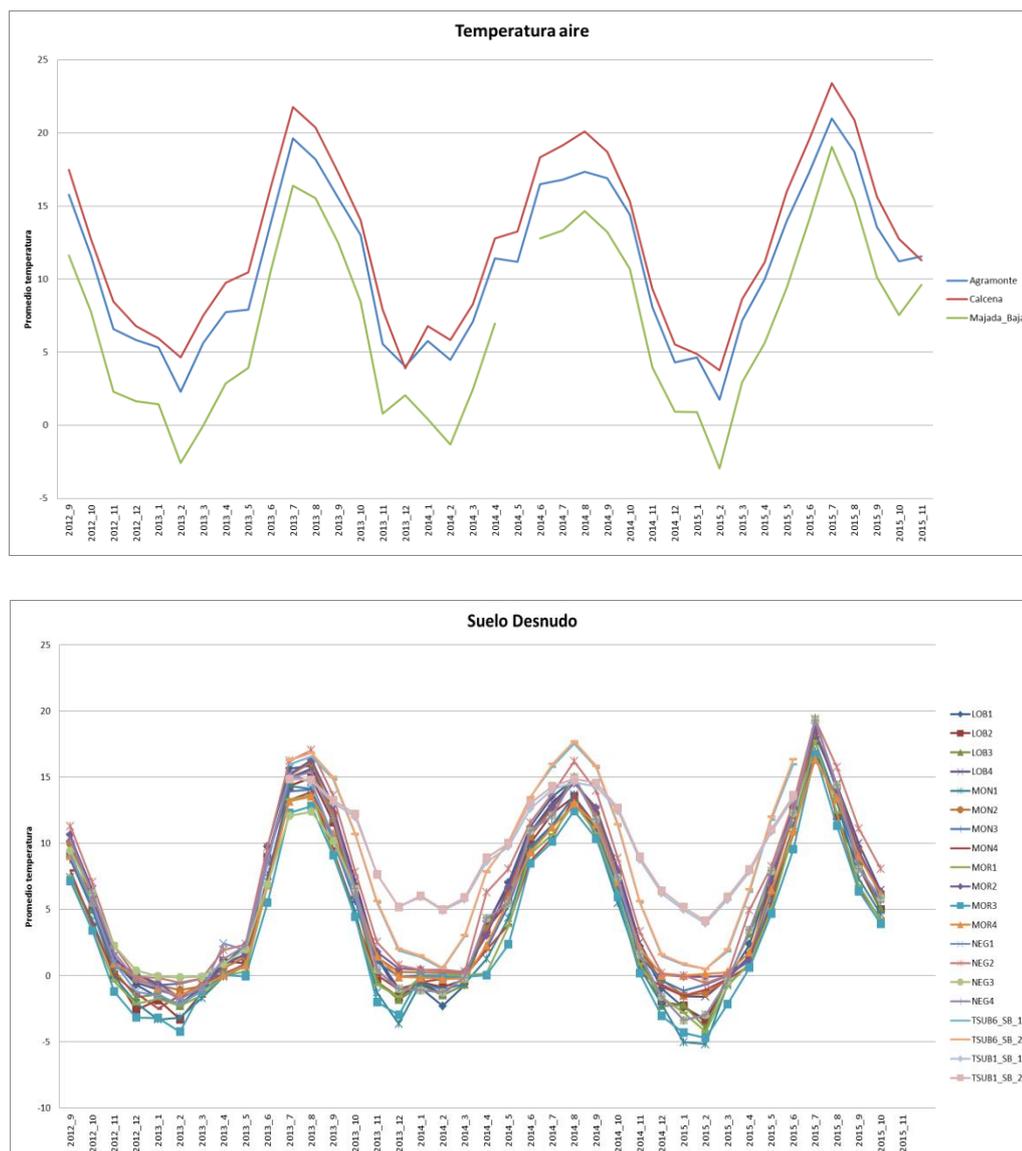


Figura: 10. Evolución de las temperaturas en el suelo desnudo y en la temperatura atmosférica. Elaboración propia.

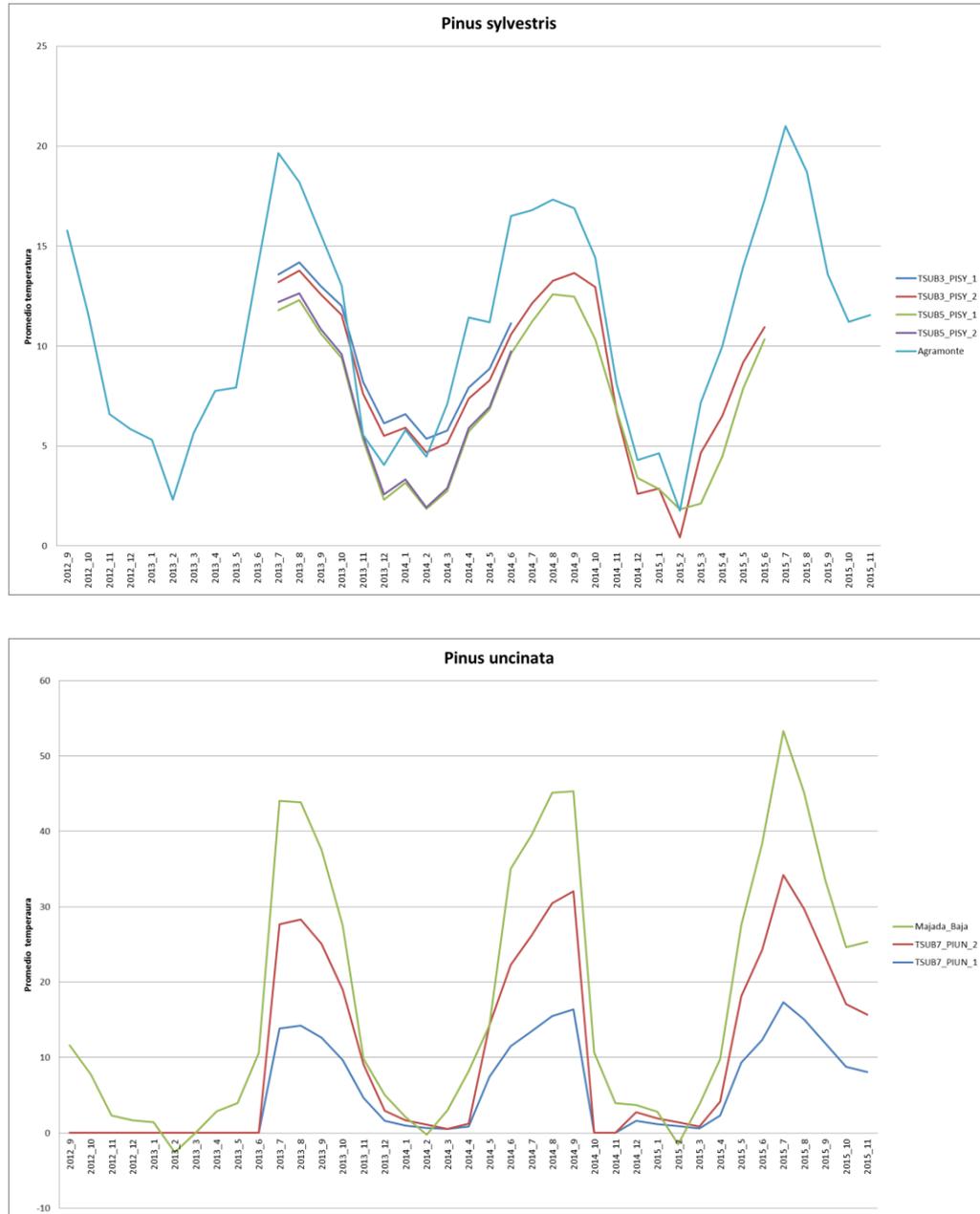


Figura: 11. Evolución de las temperaturas en el *Pinus Sylvestris* y *Pinus Uncinata*.
Elaboración propia.

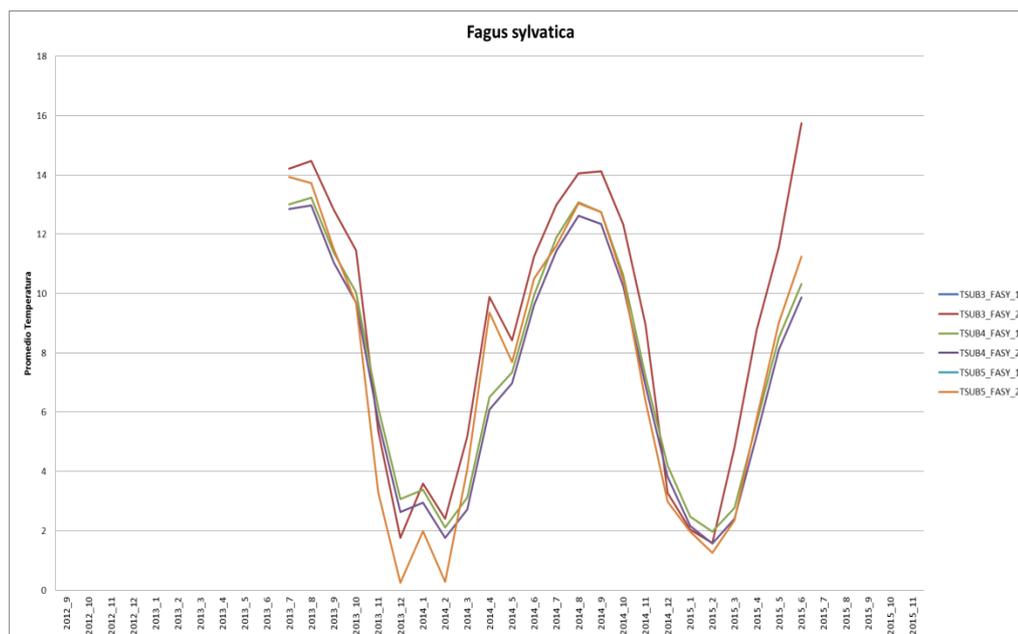


Figura: 12. Evolución de las temperaturas en el *Fagus Sylvatica*. Elaboración propia.

Los datos muestran como la vegetación desempeña un papel importante en la suavización de las temperaturas del suelo, al mismo tiempo que no todas las cubiertas vegetales se comportan de la misma manera.

Análisis de correlación

El análisis de correlación de Pearson es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Por ello en este proyecto, hemos seleccionado este tipo de análisis para observar la relación existente entre las diferentes variables del medio, con los valores de temperatura para el suelo y el aire.

Las tablas de correlación de Pearson obtenidas se han agrupado en dos categorías en relación de la información utilizada. El primer grupo estaría formado por cuatro tablas en las cuales se analiza la correlación existente entre las variables físicas analizadas y los datos de temperatura de suelo y aire. Mientras que el segundo grupo estaría formado por siete tablas, en las que se obtiene la correlación de Pearson en función del tipo de cubierta vegetal. Para todos estos análisis, se ha considerado como valores significativos a todos aquellos valores que superan la cifra de 0.499999 y -0.499999 .

Variables físicas y temperaturas

De manera general, se puede afirmar que existe una correlación negativa muy alta entre la variable altitud y el promedio mensual de las temperaturas, siendo muy destacado principalmente en los meses que transcurren de noviembre hasta mayo. Coincidiendo en tres de los cuatro casos observados. Esto quiere decir que a medida que aumentamos en altitud las temperaturas descienden en una proporción más constante en estos meses.

Pero esta no es la única correlación existente dentro de este primer grupo, ya que también se aprecia una ligera correlación entre la variable orientación y el promedio mensual de las temperaturas. Correlación que se produce en dos de las cuatro tablas analizadas, correlaciones a su vez contrapuestas en estos dos casos. Ya que la primera de ellas es positiva, afectando a varios meses de la estación del año de verano. Mientras que la segunda de ellas es negativa, afectando a varios meses de la estación del año de invierno. La positiva como se puede apreciar en la fig. 15, corresponde con la tabla que muestra el coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables físicas con los datos de temperatura de suelo en área forestal, excluyendo a los observatorios de cumbre. Mientras que la correlación negativa corresponde con la fig. 16, tabla que muestra el coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables físicas con los datos de temperatura atmosférica.

Para finalizar se aprecia una serie de correlaciones negativas y positivas interesantes en el caso de las figuras 15 y 16, lo cual quiere decir que la longitud (Coord X) y la latitud (Coord Y) también se encuentran relacionadas de manera directa con la variable promedio mensual de las temperaturas. Porque a medida que nos desplazamos hacia latitudes más altas encontramos temperaturas más altas en los meses de invierno, y temperaturas más altas a medida que nos desplazamos hacia latitudes más bajas en el caso de los meses del verano, síntoma que es parecido en el caso de la longitud, ya que a mayor longitud nos encontramos temperaturas más altas, y viceversa en el caso de los meses de verano.

A continuación se muestra las tablas resúmenes de los coeficientes de correlación pertenecientes al 1º grupo (Fig. 13; 14; 15; y 16)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,888	-0,861	-0,879	-0,803	-0,681	-0,560	-0,415	-0,441	-0,522	-0,764	-0,780	-0,853
Orientación	-0,187	-0,129	-0,163	-0,141	-0,036	0,020	0,064	0,049	0,014	-0,125	-0,128	-0,146
Cubierta vegetal	-0,676	-0,674	-0,694	-0,631	-0,515	-0,398	-0,333	-0,351	-0,411	-0,584	-0,605	-0,646
CoordX	0,457	0,448	0,486	0,403	0,435	0,403	0,387	0,373	0,392	0,392	0,434	0,432
CoordY	0,310	0,307	0,262	0,228	0,094	0,015	-0,073	-0,039	0,016	0,224	0,195	0,291

Figura: 13. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables. Sin diferenciar que sean datos atmosféricos de altura o de suelo.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,014	0,029	-0,227	-0,855	-0,615	-0,528	-0,517	-0,496	-0,417	-0,579	-0,470	-0,154
Orientación	0,461	0,513	0,494	0,076	0,198	0,132	0,051	0,156	0,350	0,328	0,350	0,453
Cubierta vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CoordX	0,002	-0,262	-0,353	-0,557	-0,330	-0,187	-0,236	-0,324	-0,115	-0,299	-0,323	-0,283
CoordY	-0,001	0,354	0,255	0,113	-0,051	-0,200	-0,124	0,012	-0,182	-0,033	0,073	0,249

Figura: 14. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables con los observatorios de suelo (cumbre).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,757	-0,767	-0,744	-0,512	-0,079	0,081	0,408	0,422	0,368	-0,278	-0,291	-0,679
Orientación	-0,155	-0,059	-0,024	0,077	0,424	0,474	0,576	0,579	0,544	0,210	0,147	-0,060
Cubierta vegetal	-0,337	-0,372	-0,383	-0,277	0,016	0,146	0,211	0,218	0,193	-0,114	-0,129	-0,300
CoordX	0,253	0,359	0,331	0,222	0,377	0,325	0,381	0,367	0,368	0,258	0,287	0,279
CoordY	0,555	0,505	0,466	0,270	-0,212	-0,332	-0,589	-0,606	-0,555	0,037	0,076	0,436

Figura: 15. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables con los sensores de suelo.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,988	-1,000	-0,999	-1,000	-0,998	-0,992	-0,982	-0,980	-0,998	-0,999	-1,000	-0,995
Orientación	-0,556	-0,426	-0,456	-0,448	-0,357	-0,303	-0,243	-0,232	-0,358	-0,467	-0,439	-0,512
Cubierta vegetal	-0,737	-0,829	-0,810	-0,815	-0,869	-0,896	-0,922	-0,926	-0,868	-0,802	-0,821	-0,771
CoordX	0,374	0,508	0,478	0,487	0,571	0,617	0,664	0,673	0,570	0,467	0,495	0,422
CoordY	-0,205	-0,348	-0,316	-0,325	-0,417	-0,469	-0,522	-0,532	-0,417	-0,304	-0,335	-0,255

Figura: 16. Coeficiente de correlación significativa mensual de las diferentes variables con los sensores de temperatura atmosférica.

Cubierta vegetal y temperaturas

Este segundo grupo, integrado por tablas de información de correlación de Pearson, es diferente al anterior, porque este únicamente se centra en el análisis de la correlación en relación con la cubierta vegetal. Donde cada grupo ha sido analizado teniendo en cuenta tres factores: información obtenida de sensores de suelo, suelo-cumbre y aire. Dando a lugar a que existan otros tres subgrupos dentro de este apartado.

Suelo desnudo

De manera general, se puede afirmar que existe una correlación significativa negativa entre la variable altitud y el promedio de las temperaturas mensuales. Correlación que es muy significativa a lo largo de los doce meses del año, sin diferenciar la estación del año en la que se encuentre.

Por otro lado, también se observan dos correlaciones significativas tanto positivas como negativas, entre las variables latitud, longitud y el promedio de las temperaturas mensuales. Pudiendo observar dos tendencias en cada una de ellas. En el caso de la longitud, diferenciar que existe una correlación significativa positiva en los meses pertenecientes a las estaciones de primavera y verano en dos de los tres casos observados, mientras que en los meses de otoño e invierno sucede todo lo contrario encontrándonos una correlación negativa significativa en la fig. 19.

Mientras que en el caso de la latitud sucede todo lo contrario, ya que la correlación significativa negativa la encontraríamos en los meses de las estaciones de primavera y verano; y la correlación significativa positiva en los meses pertenecientes a las estaciones de otoño e invierno.

A continuación se muestran la tabla resumen de los diferentes coeficientes de correlación pertenecientes al 2º grupo, apartado suelo desnudo (Figuras: 17; 18; 19).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,654	-0,635	-0,744	-0,758	-0,719	-0,698	-0,685	-0,664	-0,677	-0,698	-0,724	-0,657
Orientación	0,055	0,007	0,132	0,138	0,133	0,147	0,153	0,137	0,114	0,127	0,106	0,043
Cubierta veg	-0,290	-0,305	-0,345	-0,212	-0,125	-0,089	-0,076	-0,040	-0,055	-0,095	-0,196	-0,236
CoordX	0,234	0,214	0,333	0,300	0,281	0,273	0,262	0,240	0,240	0,225	0,258	0,198
CoordY	-0,073	-0,063	-0,157	-0,116	-0,080	-0,068	-0,062	-0,039	-0,034	-0,022	-0,069	-0,034

Figura: 17. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios de suelo desnudo (Todos sensores)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,959	-0,937	-0,981	-0,936	-0,875	-0,842	-0,841	-0,816	-0,845	-0,923	-0,960	-0,963
Orientación	-0,009	0,026	-0,020	0,044	0,094	0,102	0,094	0,119	0,128	0,074	0,046	0,022
Cubierta veg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CoordX	0,326	0,247	0,377	0,425	0,512	0,543	0,536	0,536	0,545	0,487	0,427	0,305
CoordY	0,484	0,546	0,390	0,130	-0,003	-0,067	-0,065	-0,098	-0,057	0,105	0,237	0,457

Figura: 18. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios de suelo desnudo (Solo sensores de suelo y cumbre)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-1,000	-1,000	-0,999	-0,988	0,952	0,989	0,991	0,996	0,992	-0,991	-0,999	-1,000
Orientación	-1,000	-1,000	-0,999	-0,988	0,952	0,989	0,991	0,996	0,992	-0,991	-0,999	-1,000
Cubierta veg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CoordX	-1,000	-1,000	-0,999	-0,988	0,952	0,989	0,991	0,996	0,992	-0,991	-0,999	-1,000
CoordY	1,000	1,000	0,999	0,988	-0,952	-0,989	-0,991	-0,996	-0,992	0,991	0,999	1,000

Figura: 19. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios de suelo desnudo (Solo sensores de suelo)

***Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* (PIUN & PISY)**

De manera general, se puede afirmar que existe una correlación significativa entre todas las variables y el promedio mensual de las temperaturas, donde en algunos casos es positiva y en otros negativa entre las mismas variables.

En el caso de la altitud y la vegetación encontramos dos tendencias diferentes dentro de esta correlación, una positiva y otra negativa. La correlación significativa positiva sería aquella que hace referencia a la estación de verano, mientras que la correlación significativa negativa sería aquella que hace referencia a los meses que transcurren desde diciembre hasta abril y septiembre.

A continuación se muestran la tabla resumen de los diferentes coeficientes de correlación pertenecientes al 2º grupo, apartado *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* (PIUN & PISY) (Figuras: 20; 21)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,845	-0,716	-0,910	-0,833	0,160	0,364	0,639	0,619	0,573	-0,025	0,049	-0,753
Orientación	-0,928	-0,854	-0,891	-0,836	0,075	0,330	0,610	0,563	0,498	-0,168	-0,088	-0,843
Cubierta veg	-0,834	-0,776	-0,793	-0,794	0,145	0,372	0,656	0,611	0,557	-0,072	0,005	-0,702
CoordX	-0,768	-0,807	-0,677	-0,675	-0,011	0,209	0,454	0,407	0,354	-0,169	-0,139	-0,652
CoordY	0,861	0,813	0,846	0,807	-0,085	-0,311	-0,590	-0,554	-0,501	0,101	0,044	0,748

Figura: 20. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios PIUN & PISY (Todos sensores)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,920	-0,938	-0,909	-0,835	0,316	0,509	0,783	0,765	0,728	-0,013	0,157	-0,832
Orientación	-0,914	-0,922	-0,899	-0,845	0,356	0,545	0,827	0,808	0,774	0,018	0,201	-0,809
Cubierta veg	-0,790	-0,756	-0,762	-0,796	0,496	0,646	0,932	0,912	0,889	0,152	0,371	-0,626
CoordX	-0,694	-0,642	-0,661	-0,731	0,530	0,655	0,927	0,908	0,891	0,203	0,425	-0,512
CoordY	0,864	0,848	0,841	0,836	-0,443	-0,614	-0,905	-0,885	-0,856	-0,095	-0,302	0,724

Figura: 21. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios PIUN & PISY (Solo sensores de suelo y cumbre).

Al igual que sucedía en el caso de las variables altitud y cubierta vegetal, la longitud (Coord X) y la latitud (Coord Y) muestran una doble correlación significativa con la variable promedio de las temperaturas mensuales. Observando dos tendencias en cada una de estas relaciones de correlación, una positiva y otra negativa.

En el caso de la longitud (Coord X) observamos una correlación significativa positiva en los meses de la estación de verano, en uno de los dos casos analizados. Y una correlación significativa negativa entre los meses que transcurren desde diciembre hasta abril y septiembre.

En el caso de la latitud (Coord Y) observamos la misma situación que ocurría con la variable longitud (Coord X) pero a la inversa. Encontrando la correlación significativa positiva en los meses que transcurren desde diciembre hasta abril y septiembre. Mientras que la correlación significativa negativa la encontramos en los meses de la estación de verano. Destacar que en este caso concreto esta situación se observa en los dos casos estudiados.

***Quercus pyrenaica* y *Fagus sylvatica* (QPY y FASY)**

De manera general, afirmar que la correlación significativa existente entre estos dos casos es muy diferente una de la otra, porque se trata de dos cubiertas vegetales muy distintas, que no presenta ningún tipo de patrón similar en el comportamiento de la temperatura con las diferentes variables analizadas en el proyecto.

En el caso del *Quercus pyrenaica* encontramos una correlación alta entre todas las variables y el promedio mensual de las temperaturas. Afirmando que se trata de un tipo de cubierta vegetal que se encuentra fuertemente limitada por la altitud, orientación, latitud (Coord X), longitud (Coord Y) y las temperaturas.

La correlación significativa existente entre esta cubierta vegetal y el promedio mensual de las temperaturas es negativa en la mayor parte de sus casos, donde la única variable que muestra una correlación significativa positiva es la latitud (Coord Y). Esto quiere decir que se trata de una cubierta vegetal que se localiza en altitudes bajas, en el caso de la alta montaña (< 1.100 m.), soportando temperaturas suaves a lo largo de todo el año. Localizadas en el parte más noroeste del Parque Natural del Moncayo.

A continuación se muestran la tabla resumen de los diferentes coeficientes de correlación pertenecientes al 2º grupo, apartado *Quercus pyrenaica* (QPY) (Figura: 22).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	-0,578	-0,622	-0,651	-0,608	-0,562	-0,555	-0,678	-0,678	-0,675	-0,611	-0,589	-0,578
Orientación	-0,578	-0,622	-0,651	-0,608	-0,562	-0,555	-0,678	-0,678	-0,675	-0,611	-0,589	-0,578
Cubierta veg	-0,578	-0,622	-0,651	-0,608	-0,562	-0,555	-0,678	-0,678	-0,675	-0,611	-0,589	-0,578
CoordX	-0,578	-0,622	-0,651	-0,608	-0,562	-0,555	-0,678	-0,678	-0,675	-0,611	-0,589	-0,578
CoordY	0,578	0,622	0,651	0,608	0,562	0,555	0,678	0,678	0,675	0,611	0,589	0,578

Figura: 22. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios QPY (Solo sensores de suelo y cumbre)

En el caso del *Fagus sylvatica* no se aprecia ningún tipo de correlación significativa, ni positiva ni negativa. Ya que se observan algún dato aislado. Señalando el caso de la baja correlación significativa negativa entre la variable longitud (Coord X) y el promedio mensual de las temperaturas en los meses de diciembre, enero y febrero. Lo cual, viene a decir que un posible aumento o disminución de la longitud se ve reflejado en el promedio mensual de las temperaturas de los meses de invierno.

A continuación se muestran la tabla resumen de los diferentes coeficientes de correlación pertenecientes al 2º grupo, apartado *Fagus sylvatica* (FASY) (Figura: 23).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Altitud (m)	0,339	0,010	0,131	0,372	0,438	0,403	0,469	0,474	0,412	0,297	0,299	0,278
Orientación	-0,500	-0,606	-0,007	0,026	-0,165	-0,133	-0,181	-0,202	-0,190	-0,187	-0,454	-0,782
Cubierta veg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CoordX	-0,526	-0,586	-0,024	-0,022	-0,215	-0,180	-0,234	-0,256	-0,236	-0,218	-0,477	-0,790
CoordY	-0,185	0,183	-0,131	-0,386	-0,392	-0,367	-0,419	-0,417	-0,358	-0,242	-0,159	-0,034

Figura: 23. Coeficiente de correlación mensual de las diferentes variables con los sensores y observatorios FASY (Solo sensores de suelo y cumbre)

Modelos de predicciones de las temperaturas del suelo

La información recopilada de los apartados de análisis de las temperaturas del suelo y análisis de la correlación, nos ofrecen una visión del comportamiento de las temperaturas bastante detallado y correcto para cada una de estas cubiertas vegetales, pero no nos permite realizar comparaciones en similares situaciones geográficas, ya que no encontramos estas cubiertas vegetales en idénticas situaciones.

Por ello mediante el software ArcMap 10.1. y el RStudio hemos creado una tabla de datos que recoge modelos de predicciones de temperatura en idénticas situaciones geográficas para estas cuatro cubiertas vegetales: “Suelo desnudo”; “Temperatura atmosférica”; “*Fagus*”; y “*Pinus*”. Información que me permitirá conocer cómo se comportarían estas cubiertas vegetales en estos hipotéticos casos, permitiendo plasmar esta información en una serie de cartografías mensuales para cada una de ellas (Anexos cartográfico).

El comportamiento entre todas las cubiertas vegetales es muy parecido, presentando variaciones en el gradiente de las temperaturas registrado en un año. Existiendo tres periodos temporales, que presentan alteraciones en el gradiente altitudinal de las temperaturas, es decir variaciones en el orden de registro del comportamiento de las temperaturas.

El primer periodo corresponde a los meses pertenecientes a la estación de invierno, donde las cubiertas vegetales de suelo desnudo y “*Pinus*” presentan un comportamiento de las temperaturas similar, registrando las temperaturas más altas entre las diferentes coberturas vegetales. Mientras que en las temperatura atmosférica y el “*Fagus*” nos encontramos las temperaturas más bajas registradas. Llamando la atención las bajas temperaturas que nos encontraríamos en la cobertura de bosque caducifolio.

El segundo periodo se da durante la mayor parte del año, entre los meses que transcurren desde marzo hasta septiembre. Señalando que este sería el patrón predominante es estas situaciones hipotéticas. Registrando las temperaturas máximas en las coberturas vegetales de temperatura atmosférica y suelo desnudo. Mientras que las coberturas boscosas de “*Fagus*” y “*Pinus*” presentarían patrones de temperatura

idénticos, registrándose en ellas las temperaturas más bajas durante este segundo periodo temporal.

El tercer periodo sucede entre los meses de octubre y noviembre. Apreciando una caída brusca de las temperaturas en la cobertura vegetal de la temperatura atmosférica y un similar comportamiento entre el resto de coberturas vegetales. Situación que empieza a cambiar a finales del mes de Noviembre, cuando la cobertura vegetal de los bosques de caducifolios empieza a registrar las temperaturas más bajas de este periodo.

Conclusiones

El estudio del análisis de la temperatura del suelo y la atmosférica en relación con su distribución en el gradiente altitudinal y la cobertura del suelo en el Parque Natural del Moncayo, ha permitido conocer de una manera más completa el comportamiento de la temperatura del suelo entre las distintas coberturas vegetales existentes en él. Los resultados, han puesto de manifiesto el carácter monoespecífico apuntado en numerosos trabajos (Blanco et al, 2009; Costa et al., 1997; Gómez-Manzanedo et al., 2008 y 2009; Longares 2004; Uribe-Echebarría, 2002), mostrando como el número de especies leñosas que se encuentran en esta formación caducifolia son reducidas.

También hemos podido observar que el comportamiento de las diferentes coberturas vegetales se encuentra fuertemente relacionado con las variables analizadas en el proyecto. Porque estas variables van a ser unos de los principales factores que limiten la posibilidad de encontrar estas cubiertas vegetales en determinados puntos geográficos del Parque Natural del Moncayo.

Ya que se puede afirmar la existencia de gradientes de temperaturas muy similares entre estas cubiertas vegetales, principalmente entre la cobertura de suelo desnudo y la temperatura atmosférica, ya que el comportamiento de las temperaturas es muy parejo entre ellas.

En el análisis de la correlación se ha establecido la existencia de una serie de correlaciones significativas, tanto positivas como negativas, entre las diferentes variables y el promedio mensual de las temperaturas. Correlaciones que afectan tanto a las coberturas vegetales por separado como de manera conjunta. Pudiéndose explicar de la siguiente manera.

Es importante destacar que cuando los rayos de sol atraviesan la atmósfera no alteran significativamente su temperatura. Así, esta energía es absorbida por la Tierra haciendo que ésta se caliente e irradie calor de forma gradual. Esto provoca que las capas de aire más cercanas a la superficie estén a mayor temperatura y que disminuya de forma gradual cuando ascendemos.

Pero no se deben únicamente a esta afirmación, ya que sino encontraríamos una correlación negativa perfecta entre la variable altitud y el promedio mensual de las temperaturas en todos los meses del año, y eso no ocurre. Esto se debe también a otros factores como puede ser la existencia o no de cubierta vegetal en estos puntos concretos. Afirmación que explica porque los observatorios de cumbre muestran una correlación negativa significativa en los meses que transcurren desde abril hasta julio y octubre, y no en los meses de finales de otoño, invierno y principios de primavera como sucede en los demás observaciones. Esta situación se debe a que en los observatorios de cumbre encontramos suelos desnudos, suelos que son más vulnerables y por tanto se ven más afectados por las temperaturas más altas del año y con los periodos de fuertes precipitaciones.

Pero esta no es la única correlación existente, ya que también se apreciaba una correlación entre las variables orientación, longitud (Coord X), latitud (Coord Y) y el promedio mensual de las temperaturas. Variables que están fuertemente relacionadas entre sí. Explicándose esta situación como consecuencia directa de la orografía del terreno español, que limita la influencia del mar hacia el interior de la Península Ibérica, revelando porque este territorio presenta un clima de alta montaña influenciado por otro mediterráneo-continental. Clima que va a recoger temperaturas cada vez más extremas a medida que nos desplazamos hacia el interior de la Península Ibérica, en una dirección noroeste, y temperaturas más suaves a medida que nos desplazamos hacia litoral, en una dirección sureste.

Pero establecer, que existe un límite obvio de comparación entre estas coberturas vegetales, ya que presentan valores altitudinales, latitudinales, longitudinales y de orientación muy diferentes unos de otros. Por ello se llevó a cabo la realización de una serie de modelos de predicciones que nos permitan conocer la temperatura necesaria para la existencia de las diferentes coberturas vegetales en los diferentes puntos geográficos del Parque Natural del Moncayo. Datos que nos van a permitir realizar comparaciones más detalladas sobre los comportamientos de estas coberturas.

Para la explicación y análisis de este apartado nos vamos a ayudar de la fig. 24. Evolución de la temperatura media mensual predicha...

Afirmando la presencia de gradientes de temperatura no idénticos, pero muy similares entre estas coberturas vegetales. Coberturas vegetales que se han reducido a cuatro, como consecuencia de la falta de información existente en la cobertura vegetal del "Quercus". Donde los datos muestran tres cambios en el comportamiento anual de estas coberturas vegetales. Esta situación, en dos de los tres casos, es como consecuencia de la existencia de una gran cantidad de hojarasca y materia orgánica en los suelos de las formaciones boscosas caducifolias, además de por la propia estructura de los bosques, ya que son formaciones caducifolias muy homogéneas que limitan la entrada de radiación directa. Mientras que el otro patrón térmico apreciable lo único que muestra es el comportamiento predominante de estas coberturas vegetales ante las temperaturas durante gran parte del periodo temporal. Comportamiento que es coherente y esperado en esta franja temporal.

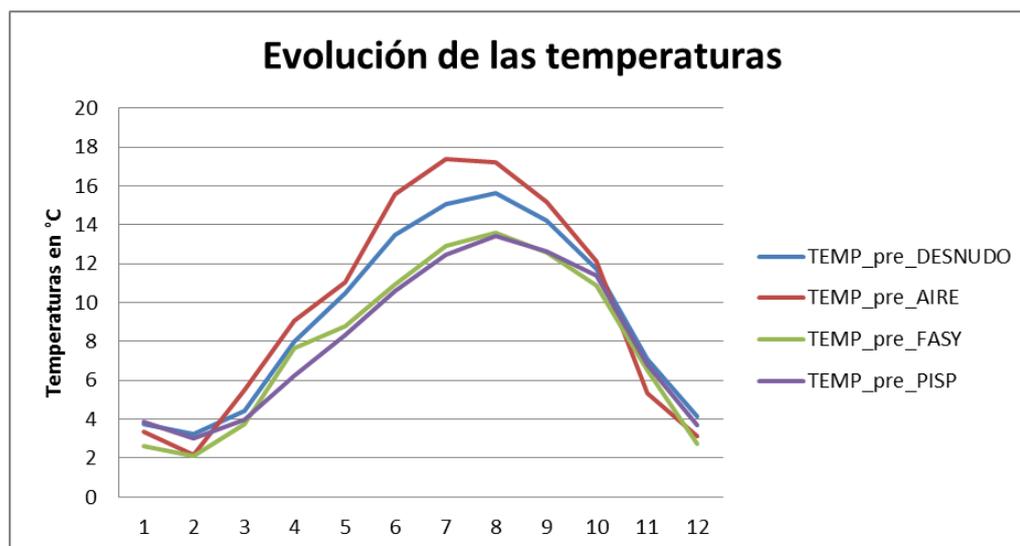


Figura: 24. Evolución de la temperatura media mensual predicha en el suelo desnudo, *Fagus sylvatica*, *Pinus* y temperatura atmosférica

Sirviendo estos resultados como guía ante la idea de realizar cualquier tipo de labor de gestión en cualquiera de estas coberturas vegetales. Ya que se ofrece información visual de cómo se debería comportar la temperatura para la existencia de estas coberturas vegetales en cualquier punto geográfico del Parque Natural del Moncayo. Yendo orientado ante posibles ideas de repoblación o plantación de una determinada cobertura vegetal en un determinado punto geográfico sin conocer las posibles limitaciones existentes entre esa cobertura vegetal y las variables geográficas y climatológicas.

Recursos Bibliográficos

Boletín Oficial de Aragón (BOA): DECRETO 73/1998, de 31 de marzo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Comarca del Moncayo y se declara el Parque del Moncayo, 1998.

Boletín Oficial de Aragón (BOA): DECRETO 177/2014, de 4 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural del Moncayo, 1998.

Arrechea, E. (2002). *La gestión forestal en espacios naturales protegidos: el ejemplo del Parque Natural del Moncayo*. Ecosistemas. Año XI, nº2.

García Bailón, S. (2012). *Análisis dendroclimático de Fagus sylvatica en el Parque Natural del Moncayo*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Zaragoza.

Martínez del Castillo, E., Serrano-Notivoli, R., Novak, K., Longares Aladrén, L.A., Arrechea, E., De Luis Arrillaga, M. y Saz Sánchez, M.A. (2012) *Cuantificación de los gradientes climáticos altitudinales en la vertiente norte del macizo del Moncayo a partir de una nueva red de estaciones automáticas en altura*. Universidad de Zaragoza, Spain; Estación Experimental de Aula Dei CSIC, Spain; Gobierno de Aragón.

Gobierno de Aragón (2013). 8.005. *Parque Nacionales y Parque Naturales*. En: 8.El patrimonio cultural y ambiental. pp. 1-7.

Gómez-Manzanedo, M., Roig, S. y Reque, J.A (2008). *Caracterización selvícola de los hayedos cantábricos: influencia de las condiciones de estación y usos antrópicos*. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos*. 17(2) p 155-167. INIA.

Martínez, E. (2015). *Análisis multitemporal de la cubierta forestal del Parque Natural del Moncayo mediante teledetección e índices de ecología del paisaje*. En: Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, pp. 7-117.

Tejedor, E. (2012). *Modelización de la respuesta climática de Fagus sylvatica en el Parque Natural del Moncayo*. Trabajo Fin de Máster, Universidad de Zaragoza.

Jump, A.S., Hunt, J.M., Peñuelas, J. (2006) *Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of Fagus sylvatica*. *Glob Change Biol* 12:2163–2174.

De Luis, M., Novak, K., Cufar, K., Raventós, J. (2009): Size mediated climate-growth relationships in *Pinus halepensis*. *Trees* 23:1065–1073.

Pellicer, F (1984): *Geomorfología de las cadenas Ibéricas entre el Jalón y el Moncayo*. Cuad. Est. Borjanos, XI –XII, 289 p. Borja (Zaragoza).

De Luis, M., Saz, M.A., Novak, K., Longares, L.A., Raventós, J. (2010): *Creación y análisis de una red dendroclimática de Pinus halepensis mill., en el ámbito*

mediterráneo. Departamento de Geografía y O.T., Universidad de Zaragoza; Departamento de Ecología, Universidad de Alicante.

Longares Aladrén, L.A., (2004): *Variabilidad biogeográfica del territorio aragonés*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. ISBN: 84-96214-29-X.

Longares Aladrén, L.A., (2004): *El paisaje vegetal en el territorio aragonés del Moncayo*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. ISBN: 84-96214-29-X.

Ingelmo, F., Cuadrado, S. y Hernández, J (1986). *Estudio de la conducta térmica del suelo. Correlaciones de su temperatura con la del aire en dos observatorios*. Centro de Edafología y Biología Aplicada (C.S.I.A). Salamanca.

Lizeaga, J., Zapirain, J. y Lizeaga, M. (1992). *Estudio de las temperaturas del suelo a 15,30 y 45 CM. de profundidad en 3ecosistemas (Hayedo, Robredal y Argomal) de Artikutza (Navarra)*. Cuadernos de Sección. Historia 20. (1992) p. 313-325. ISSN: 0212-6397. Donostia: Eusko Ikaskuntza.

Recursos Web

Centro Nacional Información Geográfica (CNIG): www.cnig.es

Instituto Geográfico Nacional (IGN): <http://www.ign.es/>

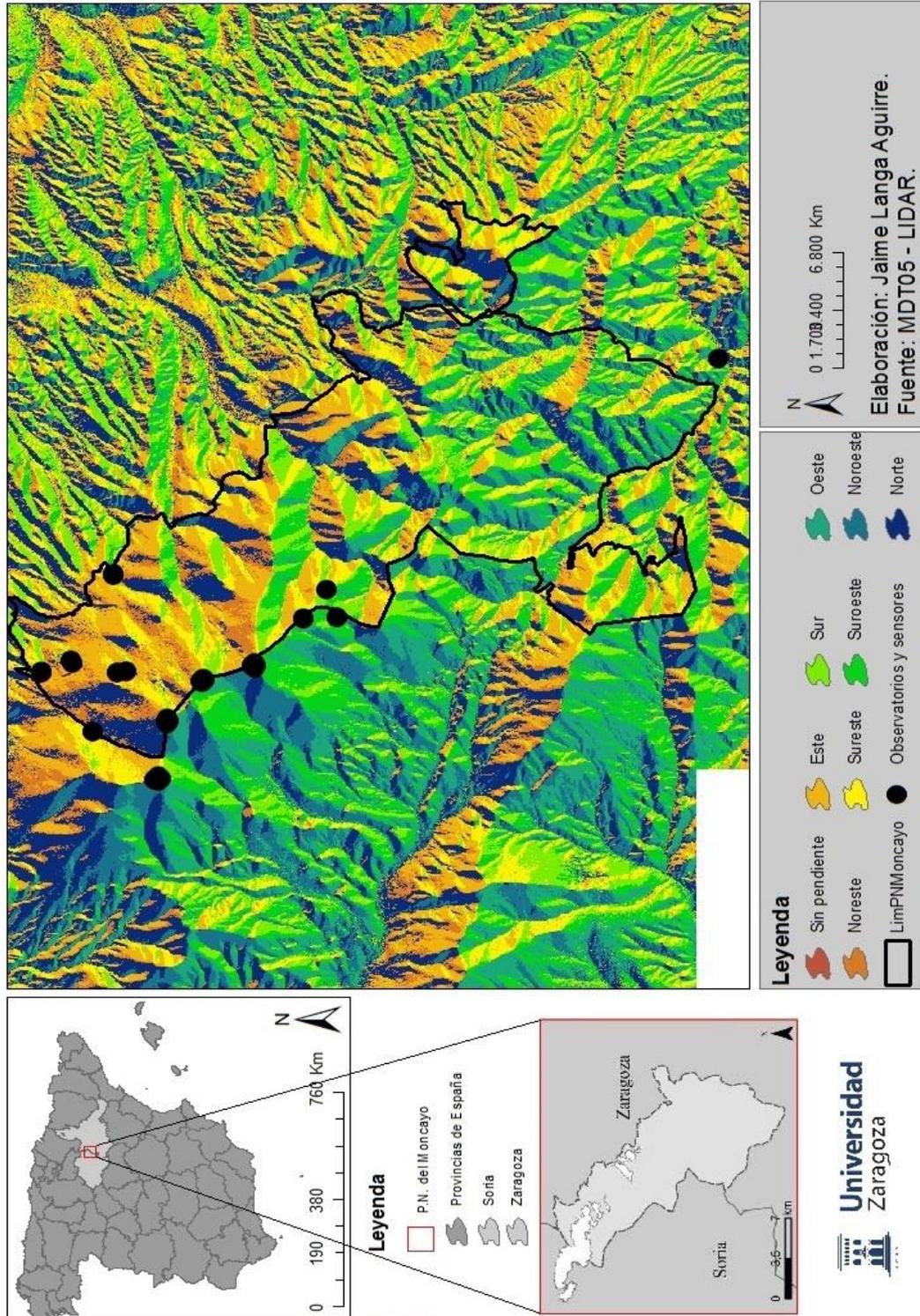
Ministerio de Fomento: <http://www.fomento.gob.es>.

WMS disponible en: <http://www.ign.es/wms-c/PNOA/PNOA>

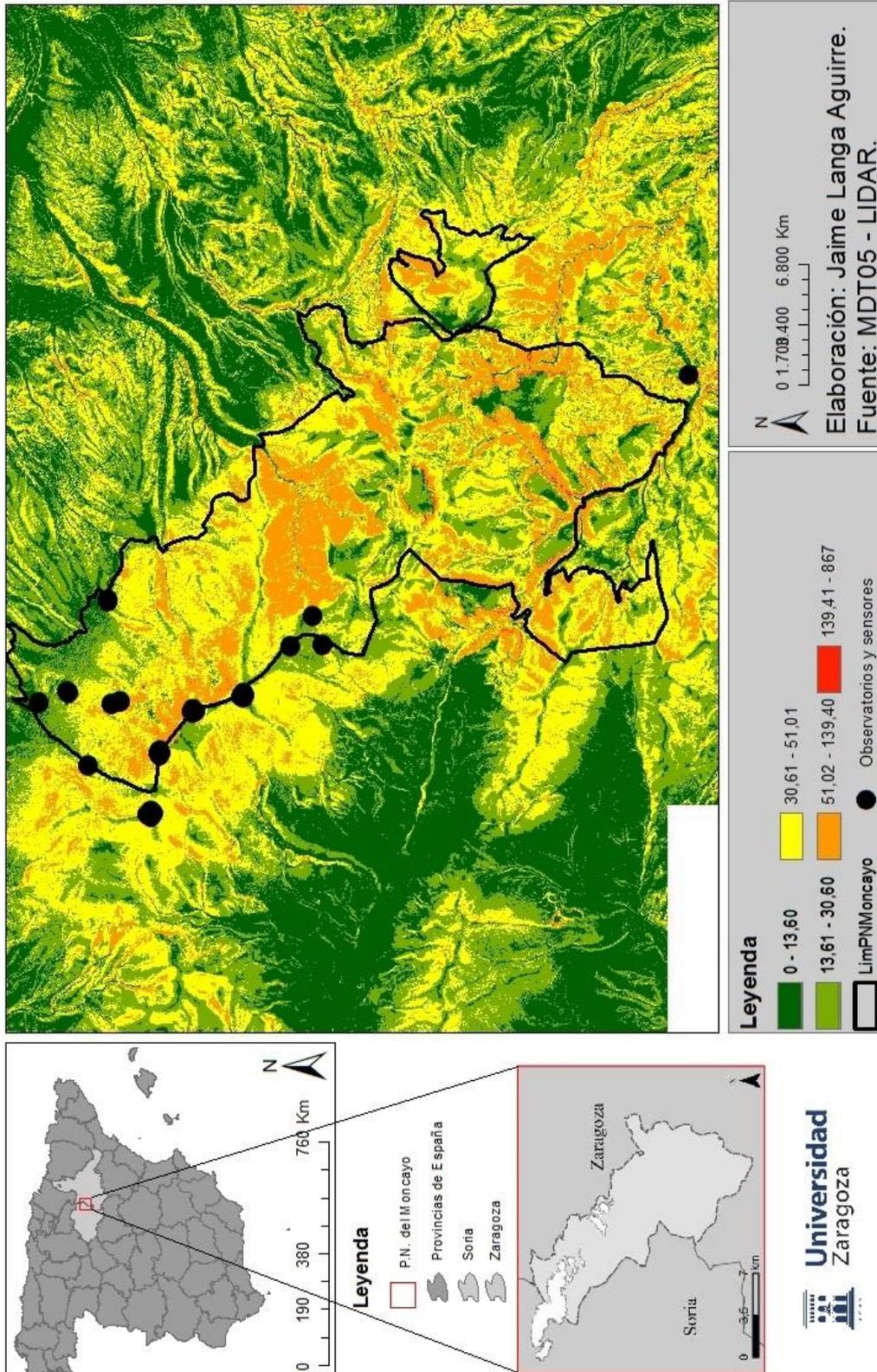
Global Observation Research Initiative In Alpine Environment (GLORIA): <https://jolube.wordpress.com/proyecto-gloria/>

Anexos cartográfico

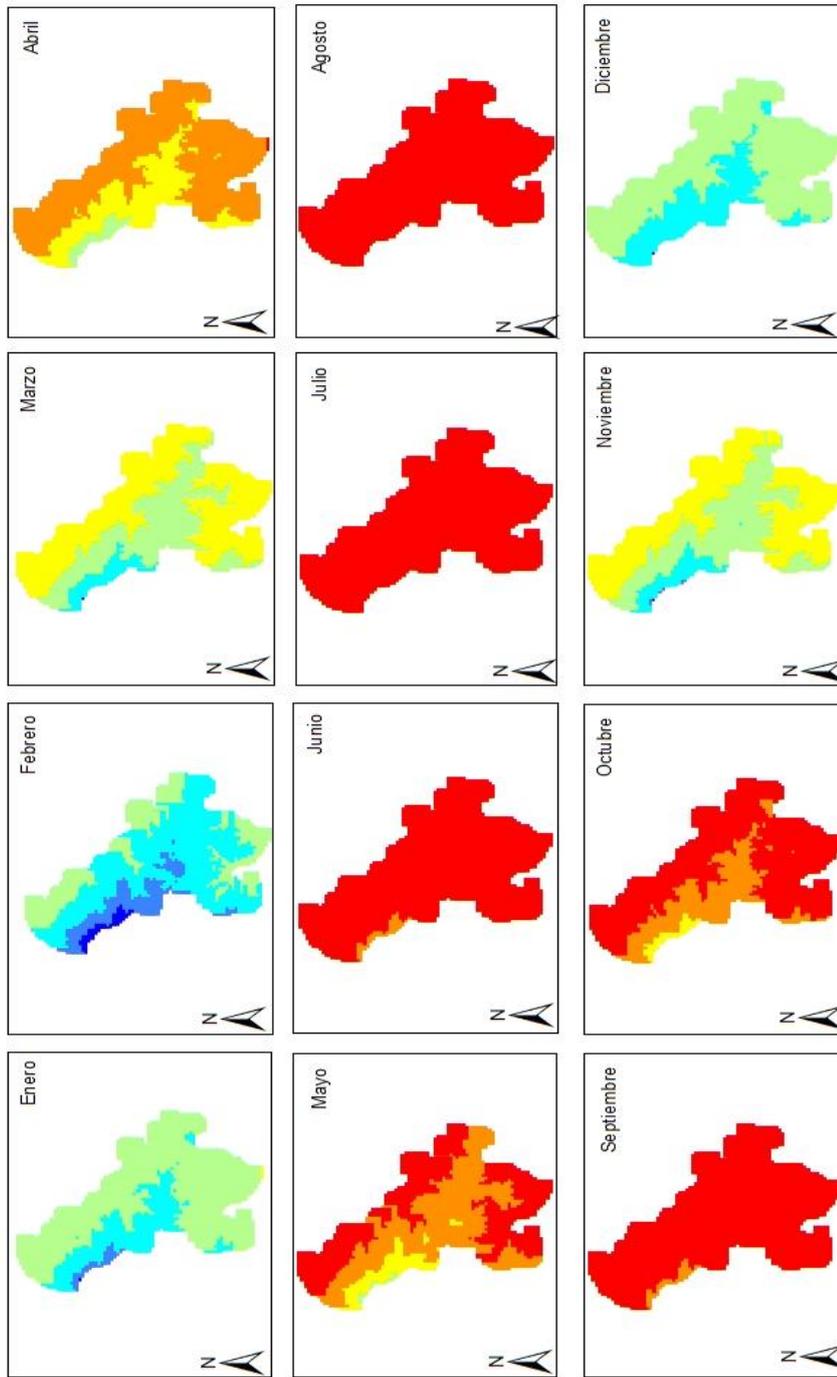
Mapa de pendientes en el P.N. del Moncayo



Mapa de pendientes en el P.N. del Moncayo

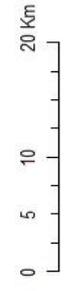


Modelos de predicción de las temperaturas sobre la Temperatura atmosférica en el P.N. del Moncayo



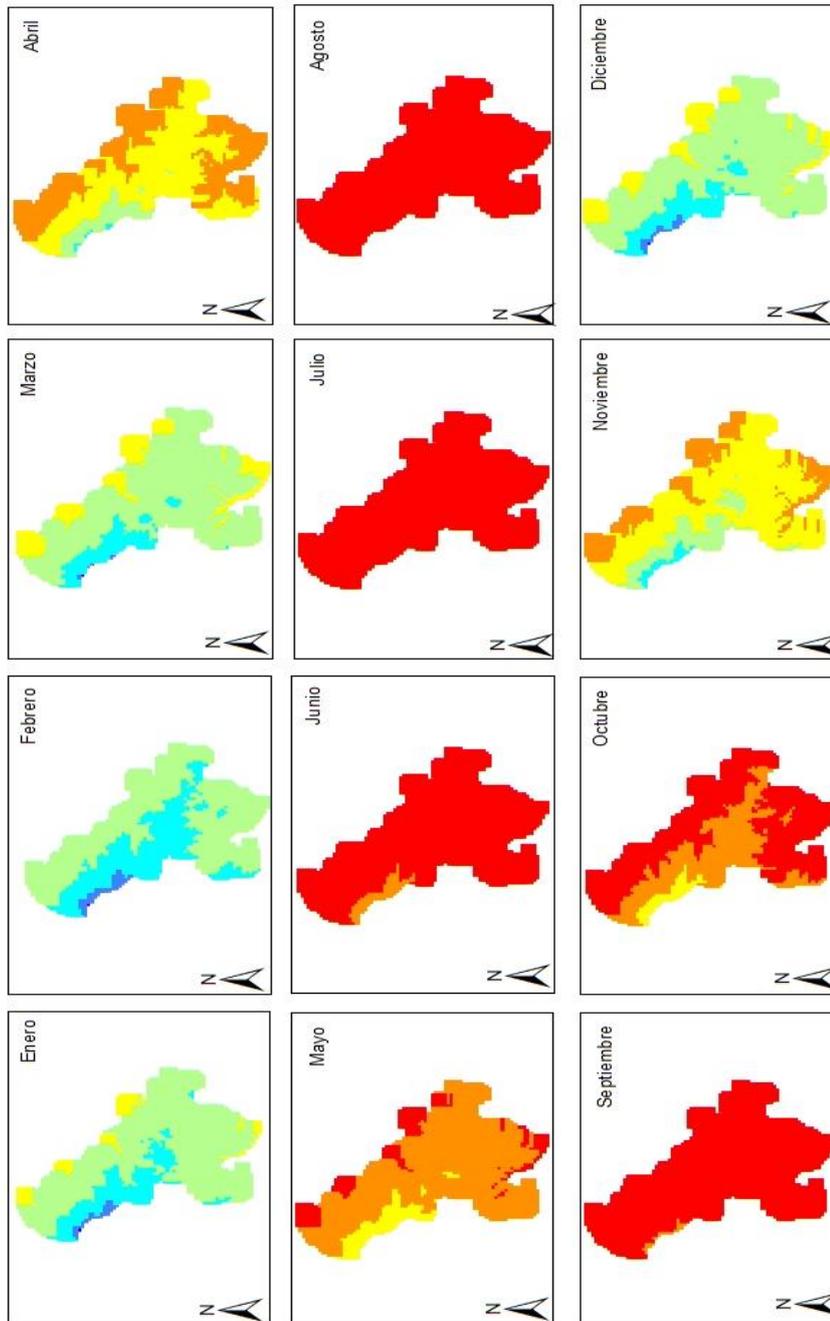
Leyenda

- -6.01 - -3
- -3.01 - 0
- 0,01 - 3
- 3,01 - 6
- 6,01 - 9
- 9,01 - 12
- > 12.01



Elaboración: Jaime Langa Aguirre.
Fuente: Elaboración propia

Modelos de predicción de las temperaturas sobre la Suelo desnudo en el P.N. del Moncayo



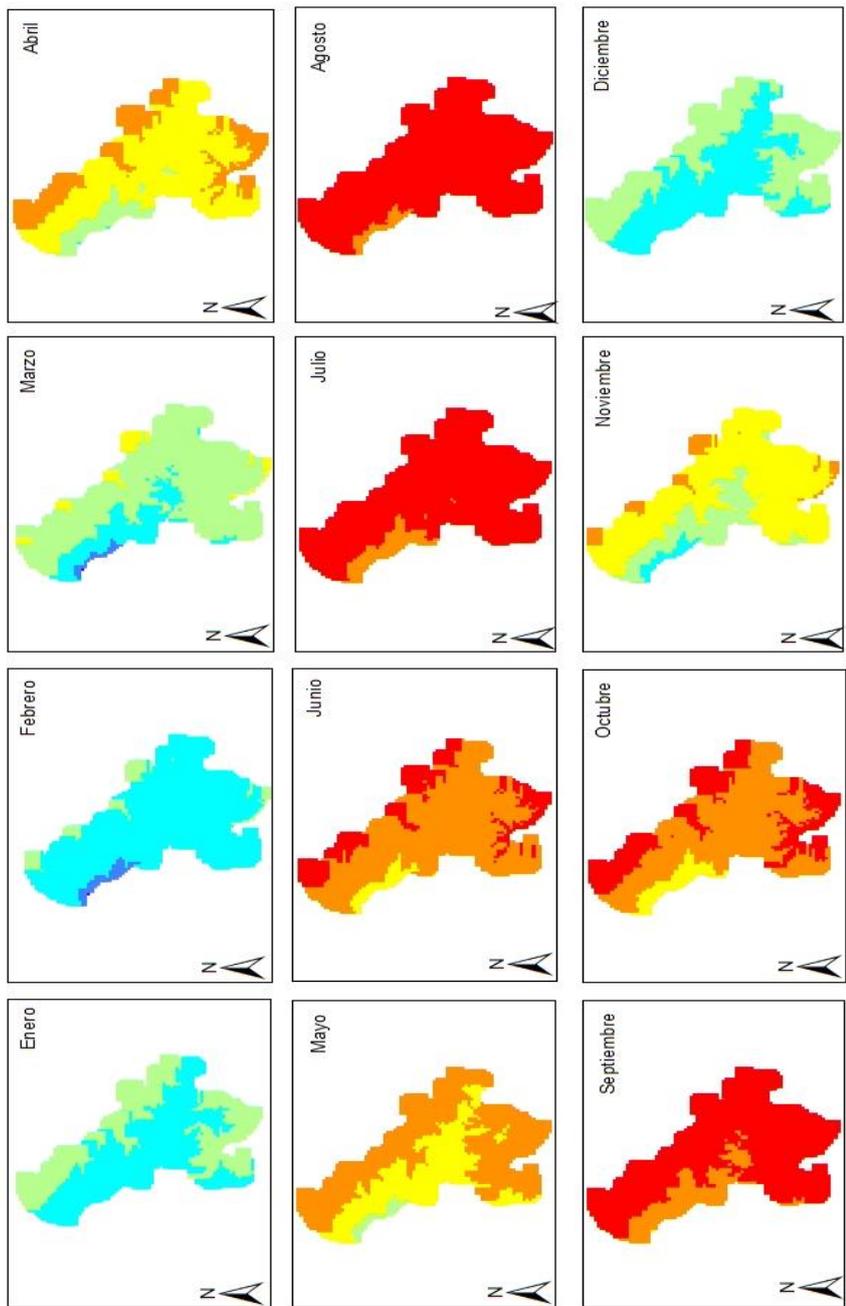
Leyenda

- -6.01 - -3
- -3.01 - 0
- 0,01 - 3
- 6,01 - 9
- 3,01 - 6
- 9,01 - 12
- >12.01

0 5 10 20 Km

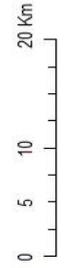
Elaboración: Jaime Langa Aguirre.
Fuente: Elaboración propia

Modelos de predicción de las temperaturas sobre bosques de Fagus en el P.N. del Moncayo



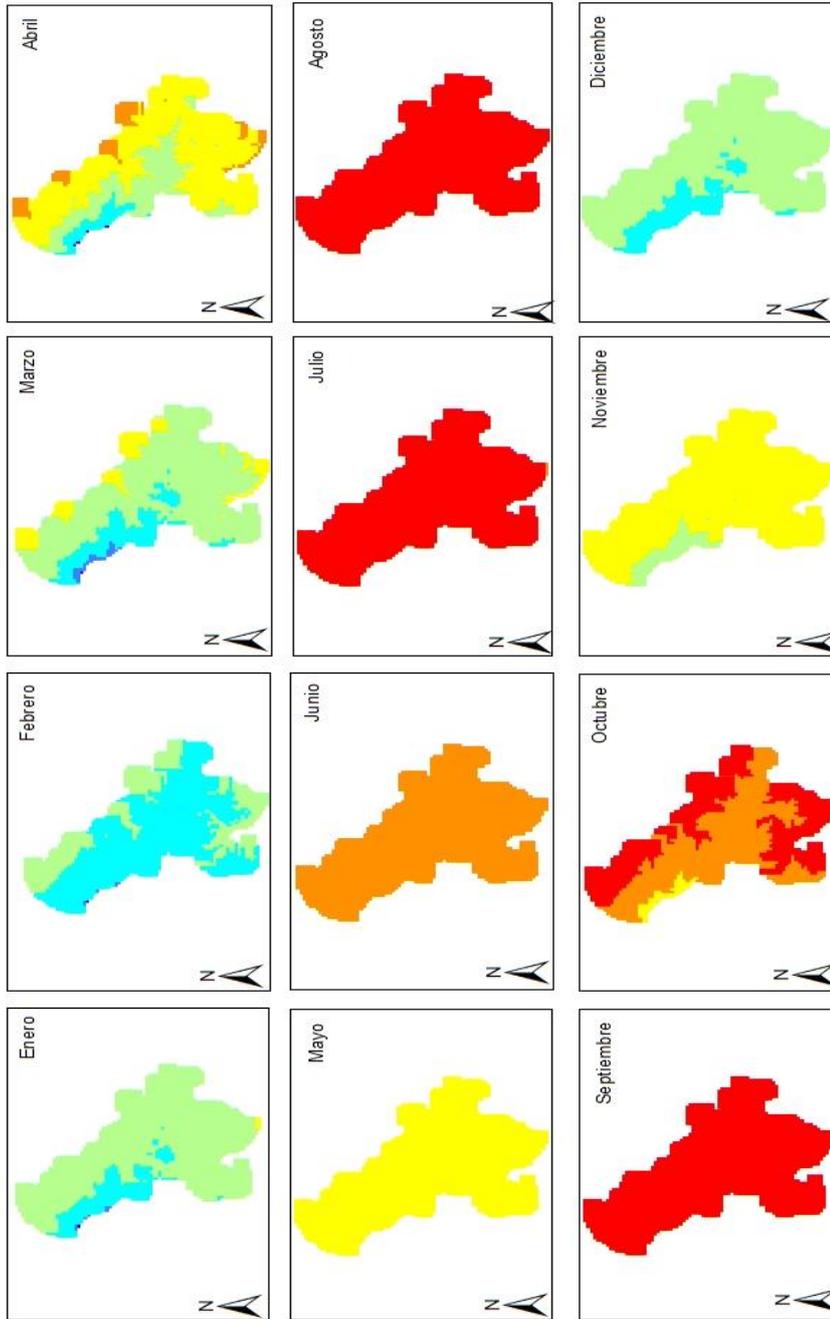
Leyenda

- -6,01 - -3
- -3,01 - 0
- 0,01 - 3
- 3,01 - 6
- 6,01 - 9
- 9,01 - 12
- >12,01



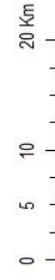
Elaboración: Jaime Langa Aguirre.
Fuente: Elaboración propia

Modelos de predicción de las temperaturas sobre bosques de Pinus en el P.N. del Moncayo



Leyenda

- -6.01 - -3
- -3.01 - 0
- 0,01 - 3
- 6,01 - 9
- 9,01 - 12
- >12.01



Elaboración: Jaime Langa Aguirre.
Fuente: Elaboración propia