

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES CATALOGADAS O DE INTERÉS EN RELACIÓN CON LA DINÁMICA CLIMÁTICA Y USOS DEL SUELO EN ESCENARIO DE CAMBIO GLOBAL: GORRIÓN ALPINO Y PERDIZ NIVAL

Autor: Andrina Gincheva Norcheva

Director: Luis Alberto Longares Aladrén

Máster Universitario en

Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección

Septiembre de 2020



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

Este trabajo busca analizar la distribución potencial del gorrión alpino o Montifrigilla nivalis y la perdiz nival o Lagopus muta en base a la topografía, usos de suelo y datos climáticos. Con 46 observaciones distribuidas entre 1986 y 2015 para el gorrión alpino y 413 para la perdiz nival entre 1953 y 2019, información proporcionada por la Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos. Se analiza la altitud, pendiente y orientación para ambas especies. Para el análisis del uso del territorio, se categoriza el uso del suelo a partir de SIOSE 2005 Y SIOSE 2014 y se intenta cuantificar de una forma aproximada la afluencia al área de estudio de rutas de senderismo con un área de influencia de 600 y 1000 metros. Para la caracterización del clima del área de estudio, se utiliza la base de datos abierta de WorldClim para el periodo comprendido entre 1970-2000. Y finalmente a partir de las variables generadas en los tres grandes ejes: clima, topografía y uso del suelo, se busca generar modelos de distribución potencial de las especies. Se generan dos modelos por especie, repartiendo las observaciones de éstas en dos periodos: 1953 a 2005 (Modelo 1 de la Perdiz Nival), 2006-2019 (Modelo 2 de la Perdiz Nival), 1986-2015 (Modelo 1 del Gorrión Alpino) y 2010-2015 (Modelo 2 del Gorrión Alpino). Finalmente se realiza la validación de los modelos a partir del 25% de las observaciones de cada una de las especies utilizadas como puntos de verdad terreno.

Palabras Clave: *modelización de especies, usos del suelo, gorrión alpino, perdiz nival*

Abstract

This work seeks to analyze the potential distribution of alpine sparrow or Montifrigilla nivalis and partridge nival or Lagopus mutates based on topography, land uses and climate data. With 46 observations distributed between 1986 and 2015 for the alpine sparrow and 413 for partridge nival between 1953 and 2019, information provided by Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos. The altitude, slope and orientation for both species are analyzed. For the analysis of the use of the territory, the use of the land is categorized from SIOSE 2005 and SIOSE 2014 and it is attempted how to approximate the influx to the area of study of hiking trails with an area of influence of 600 and 1000 meters. For the characterization of the climate of the study area, the open database of WorldClim for the period 1970-2000 is used. And finally, based on the variables generated in the three main axes: climate, topography and land use, we seek to generate models of potential distribution of species. Two models per species are generated, dividing the observations of these in two periods: 1953 to 2005 (Model 1 of the Snow Partridge), 2006-2019 (Model 2 of the Snow Partridge), 1986-2015 (Model 1 of the Alpine Sparrow) and 2010-2015 (Model 2 of the Alpine Sparrow). Finally, the validation of the models is carried out from 25% of the observations of each of the species used as points of truth terrain.

Key Words: *modelling of species, land use, alpine sparrow, snow partridge*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO	4
2.1 Objetivos del trabajo.....	4
2.2 Área de estudio.....	4
2.2.1 Gorrión Alpino o Montifringilla nivalis	4
2.2.2 Perdiz nival o Lagopus muta pyrenaica	6
3. MATERIAL Y MÉTODOS	7
3.1. Definición de las variables	8
3.3.1 Filtrado de las bases de datos del gorrión alpino y la per-	
diz nival.....	9
3.3.2 Topografía	10
3.3.3 Usos del suelo.....	10
3.3.3 Variables asociadas al clima: temperatura y precipitación	13
3.2. Generación de un modelo explicativo.....	15
3.2.1 Variables dependientes e independientes de cada modelo	15
3.2.2 Correlación entre las variables independientes	16
4. RESULTADOS	17
5. CONCLUSION	32
6. Bibliografía	33

1. INTRODUCCIÓN

El cambio global es un concepto que hace referencia a los cambios en el uso y cobertura de la tierra, en la biodiversidad, composición de la atmósfera y clima alterando su capacidad de sustentar vida, producido por la actividad del hombre. A su vez, el cambio climático, un efecto derivado de la actividad humana sobre el sistema climático global, afecta a otros procesos fundamentales en el funcionamiento de la tierra (Duarte & Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2006). De tal forma, el cambio climático ha causado impactos en los sistemas naturales y humanos, con evidencias sólidas en los últimos años (IPCC, 2014)

En el año 2015 se firma el Acuerdo de París de United Nations Framework Convention on Climate Change (CMNUCC), que tiene como objetivo “mantener el aumento de temperatura media global por debajo de 2°C respecto a los niveles preindustriales” además de “continuar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C”. Tras el Acuerdo de París, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) publicó un informe sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales (IPCC, 2018). Para facilitar la información actualizada del informe anteriormente mencionado, los esfuerzos de investigación recientes han aumentado significativamente nuestro conocimiento sobre los riesgos a 1,5 y 2°C de calentamiento, enfocándose en los extremos climáticos y sus impactos en temas de agricultura, ecosistemas, biodiversidad e hidrología entre otros.

La distribución de especies es una de las consecuencias de este efecto que se manifiesta mediante la pérdida de biodiversidad, fragmentación de hábitat o deterioro de recursos y, junto a la vulnerabilidad de las zonas de alta montaña, dan pie a este trabajo. La monitorización de especies sensibles al cambio global y sus efectos son uno de los ejes de actuación dentro del marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global del Ministerio para la Transición Ecológica (Boletín de Red de Seguimiento del Cambio Global, 2019). Es de especial interés estudiar el efecto sobre las poblaciones y los ecosistemas sobre los que se asientan, para analizar tendencias, aplicar medidas amortiguadoras y tener la ventaja de anticipación ante escenarios futuros. De ahí nace la idea de este trabajo, que busca analizar la distribución de dos especies de interés (gorrión alpino o *Montifrigilla nivalis* y perdiz nival o *Lagopus muta pyrenaica*) en base al cambio global y los usos del suelo en el Pirineo Aragonés.

En cuanto al gorrión alpino o *Montifrigilla nivalis* (Figura 4a), sus poblaciones se encuentran presentes en ecosistemas vulnerables a los efectos del cambio climático, y aunque son de gran interés, son escasos los estudios y conocimientos sobre esta especie. Esto se puede explicar, tal y como afirman (Gil & Pérez, 2015) debido a la dificultad de acceso a los hábitats en los que residen.

Como ya se ha mencionado, el gorrión alpino se encuentra amenazado por el cambio climático y es declarado una de las diez especies con mayor riesgo de extinción a nivel mundial por la subida de las temperaturas (WWF, 1992). Se estiman contracciones de distribución potencial de la especie en un 100% bajo escenarios climáticos para el siglo XXI. (Araújo et al., 2011).

La distribución mundial del gorrión alpino figura en grandes cordilleras montañosas como la Cantábrica, Pirineos, Alpes, Apeninos, Balcanes, Cárpatos, Cáucaso, Pamir, Himalaya y Altai (Cramp & Perrins, 1994) y la Península Ibérica representa el límite suroccidental, como se puede apreciar en la Figura 1.

Lagopus muta o comúnmente conocida como perdiz nival o blanca es un ave sedentaria que distribuye sus poblaciones por la tundra del hemisferio norte como Eurasia y América y en grandes sistemas montañosos como son los Alpes, los montes de Escocia, los Urales o como es en nuestro caso, el Pirineo.

Esta especie, cuenta con 31 subespecies (De Juana et al., 2019) actualmente descritas. La última glaciación y deshielo, redujo su presencia en Europa, es por lo que se presenta como endemismo en la cordillera pirenaica, como una subespecie (*lagopus muta pyrenaica*), objeto de estudio de este trabajo (Figura 4b), como se puede observar en la Figura 2, aislada geográficamente tras estos sucesos.

Lagopus muta pyrenaica es considerada un buen indicador del estado de conservación de los ecosistemas que habita y la disminución de su área de distribución podría interpretarse como una consecuencia de los efectos del calentamiento global (Canut et al., 2004).

La especie ha sido incluida en dos catálogos de protección: 1) Por un lado, se encuentra catalogada como "Vulnerable" en el Decreto 49/1995. 2) Y por otro, se incluye en el Anexo I de la Directiva Aves 79/409/CEE a nivel europeo, lo que implica que los estados miembros, deben establecer medidas de conservación. Estas medidas de conservación se centran en su hábitat y tienen el objetivo de asegurar la supervivencia y reproducción en su área de distribución. Esta premisa muestra la necesidad de generar información acerca de la especie en un escenario de global, la cual, este trabajo pretende suplir.

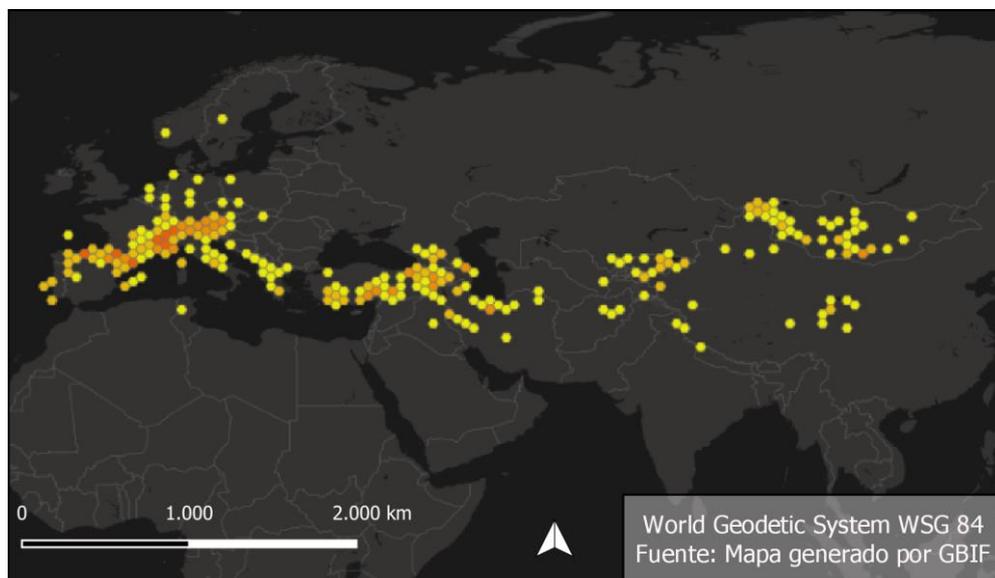


Figura. 1. Distribución mundial de *Montifrigilla nivalis*. Fuente: mapa generado en GBIF.



Figura. 2. Distribución de *Lagopus muta pyrenaica*. Fuente: mapa generado en GBIF.



Figura. 3. Ejemplares adultos con plumaje de invierno, a la izquierda a) Gorrión alpino y a la derecha, b) Perdiz nival. Fuente: GBIF.

Para entender la distribución de la especie, debemos tener en cuenta varios aspectos:

1. La transformación de paisaje en el área de estudio: el pirineo aragonés
2. ¿Cómo afecta el Cambio Global a la distribución de especies?
3. ¿Qué factores se muestran como más vulnerables de cara a la conservación de ambas especies?

1- La transformación del paisaje del Pirineo ha sido intensa y continuada durante los últimos 2000 años (OPCC-CTP, 2018). Esta alteración se ha interpretado como respuesta a las fluctuaciones climáticas y el impacto humano, factores correlacionados y de difícil separación. La mayor transformación de esta zona se dio durante la Edad Media coincidiendo con un periodo climático relativamente más cálido. Este hecho supuso la variación del paisaje de alta montaña pirenaica además de alterar el funcionamiento hidrológico y geomorfológico. Durante la Pequeña Edad de Hielo, desciende la presencia de actividad humana en alta montaña debido a la severidad del clima. Y es en el siglo XIX, cuando se da la máxima ocupación humana, a partir de ahí, el calentamiento global ha coincidido con el éxodo rural y el despoblamiento de la montaña.

El Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC) en su informe del año 2018 “Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos” pone en manifiesto la necesidad de estudio de esta “biorregión” que no entiende de límites administrativos y cuyos sistemas socioeconómicos y biofísicos presentan una especial vulnerabilidad al cambio climático.

2- Existen numerosos estudios que demuestran la correlación entre las variables climáticas y la ocupación humana. En el pirineo estos impactos resultan ser más evidentes que en otras regiones biogeográficas, los ecosistemas se encuentran en un delicado equilibrio con las condiciones climáticas. Esto, en definitiva, puede alterar la productividad y supervivencia de las especies a largo plazo..

3-La vulnerabilidad de una especie ante el cambio climático se determina por dos factores: a) su capacidad para mantener poblaciones en su área de distribución actual a pesar del cambio de las condiciones ambientales y b) en el potencial de la especie para colonizar zonas deshabitadas pero que serán climáticamente favorables en el futuro (Williams et al. 2008; Bellard et al. 2012) Es decir, la vulnerabilidad de una especie ante el cambio climático hace referencia a su capacidad de respuesta y adaptación a las nuevas condiciones (Arribas et al., 2012) de manera que aquellas especies que tengan una capacidad de respuesta limitada, serán las más vulnerables (McKinney 1997).

Este trabajo surge tras la detección de la necesidad de monitorización de especies sensibles al cambio global como son las aves. Además, los escasos estudios respecto a su distribución en zonas vulnerables como la alta montaña dan pie a una temática actual y de transcendencia basada en tres ejes: cambio global, usos de suelo y distribución de especies de interés.

2. OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO

Una vez presentada la problemática y su justificación, nos disponemos a concretar los objetivos de este trabajo y su área de aplicación que corresponde con el área de estudio, el Pirineo Aragonés.

2.1 Objetivos del trabajo

La hipótesis de este trabajo busca determinar la distribución potencial de dos especies de interés: *Montifringilla nivalis* o gorrión alpino y *Lagopus muta pyrenaica* o perdiz nival, en función de la información disponible acerca de su presencia en el Pirineo Aragonés y su relación con el cambio global y los usos del suelo. Para ello se han establecido los siguientes objetivos a seguir, aplicados de manera individual a cada una de las especies:

- Establecer las variables explicativas de la distribución espacial de la especie
- Generar un modelo explicativo de la distribución espacial a partir de las variables del medio

2.2 Área de estudio

El área de estudio es un apartado importante para conocer cómo se distribuyen las especies el objeto de análisis de este trabajo. En nuestro caso el gorrión alpino y la perdiz nival con información relativa para el primero con localización en el Parque de Ordesa y Monte Perdido, y para la segunda especie, el Pirineo Aragonés.

2.2.1 Gorrión Alpino o *Montifringilla nivalis*

Aunque la presencia del gorrión alpino se adscriba a todo el Pirineo, este estudio de distribución se aplica al área de concentración comprobada, Parque de Ordesa y Monte Perdido (véase Figura 5). Se habla de concentración comprobada debido a que no se dispone de datos con buena precisión y continuidad en otra zona de localización. Para la zona de estudio, se estima una población de 150-200 pp (Woutersen & Grasa, 2002). Se dispone con 46 observaciones de la base de datos de la Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos, comprendidas entre 1986 y 2015 (Figura 4), tomadas en la época de reproducción de la especie (de mayo a agosto) distribuidos por el entorno protegido.

El gorrión alpino es una especie monógama que ocupa hábitats poco accesibles, con una pendiente superior a 65° y una altitud superior a 2000m, por canchales, pastizales y afloramientos rocosos. Entre las características a destacar del gorrión alpino es su carácter catalogado como sedentario, ya que solo realiza desplazamientos altitudinales o de corta distancia (Gil & Pérez, 2018). La defensa territorial se adscribe a los alrededores del nido, y la separación entre nido y nido oscila entre los 50 y 150 metros. También realiza una movilidad de hasta 600 m para la búsqueda de alimento (Grangé, 2008). Aunque recientemente, algunos estudios muestran que llegan a realizar desplazamientos invernales de más de 1000km. (Martínez V. et al., 2011). Otro dato a tener en cuenta es el establecimiento de pareja en la especie, se realiza en abril y en mayo se producen los vuelos nupciales y la construcción del nido (Grangé, 2008).

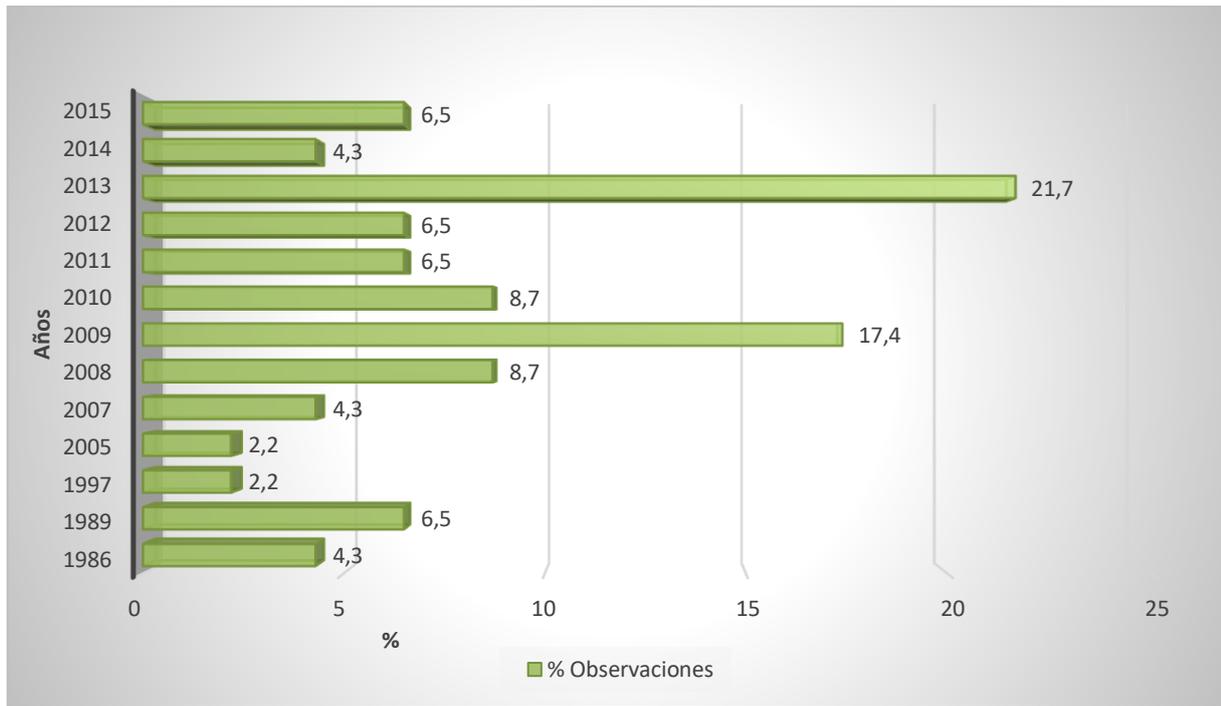


Figura. 4. Porcentaje de distribución anual de las observaciones tomadas para el gorrión alpino.

Nota Figura 4: Las observaciones no son continuas en el tiempo, y las más antiguas son poco precisas. Además, existen vacíos de información entre 1986 y 2006 explicados por la dificultad de acceso a los hábitats donde viven.

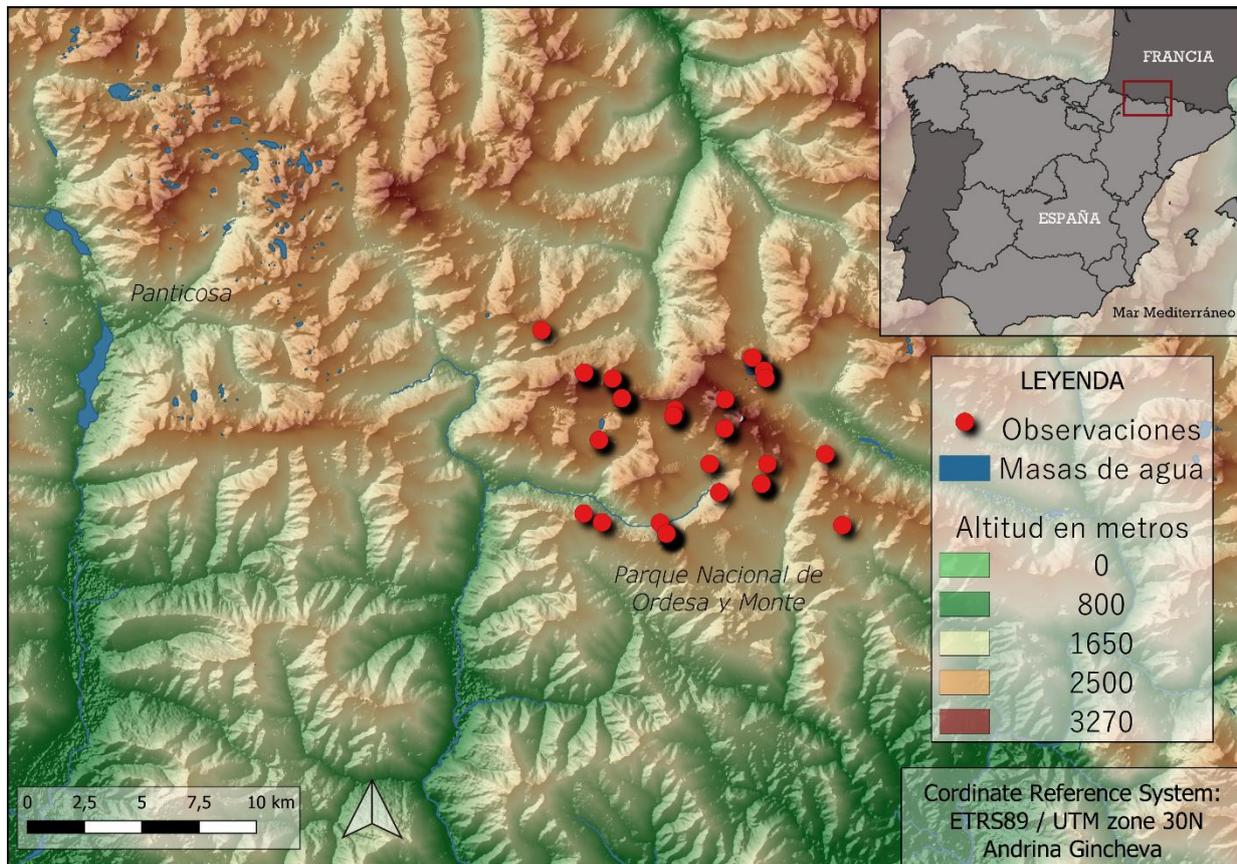


Figura. 5. Localización geográfica de las observaciones del gorrión alpino.

2.2.2 Perdiz nival o *Lagopus muta pyrenaica*

El área de distribución de esta subespecie, perdiz nival pirenaica, se distribuye por España, Francia y Andorra. Este trabajo se centrará en el estudio de la distribución de la especie a partir de 413 observaciones en el entorno del Pirineo Aragonés (véase Figura 6), durante el periodo de 1953-2019 (Figura 7) a partir de datos proporcionados por la Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos. Las observaciones se pueden agrupar por unidades montañosas tal y como se muestra en la Tabla I.

Tabla 1. Distribución de observaciones por sectores del área de estudio.

Sector	Unidades Montañosas	Nº de observaciones	% Observaciones
1	Aspe	43	10,41
	Bisaurin		
	Mesa de los Tres Reyes		
	Peña Forca		
2	Anayet	18	4,36
	Collarada		
	Telera		
3	Belaitus	42	10,17
	Panticosa		
	Tendeñera		
	Vigñemale		
4	La Munia	98	23,73
	Monte Perdido		
	Salcorz		
5	Cotiella	10	2,42
6	Bachimala	42	10,17
	Culfreda		
	Suelza		
7	Bachimala	41	9,93
	Gistaín		
	Posets		
8	Benasque	17	4,12
	Maladeta		
	Perdiguero		
	Sacroux		
9	Benasque	102	24,7
	Castanesa		
	Cerler		
	Maladeta		

La perdiz nival pirenaica, de carácter sedentario, sufre una adaptación morfológica y fisiológica como resultado de vivir en climas extremos. Prefiere una altitud superior a 2400 m con una orientación noroeste, pendientes de 15-30° y suelos compuestos principalmente por afloramientos rocosos, canchales, pastizales y matorrales (Gael et al., 2014).

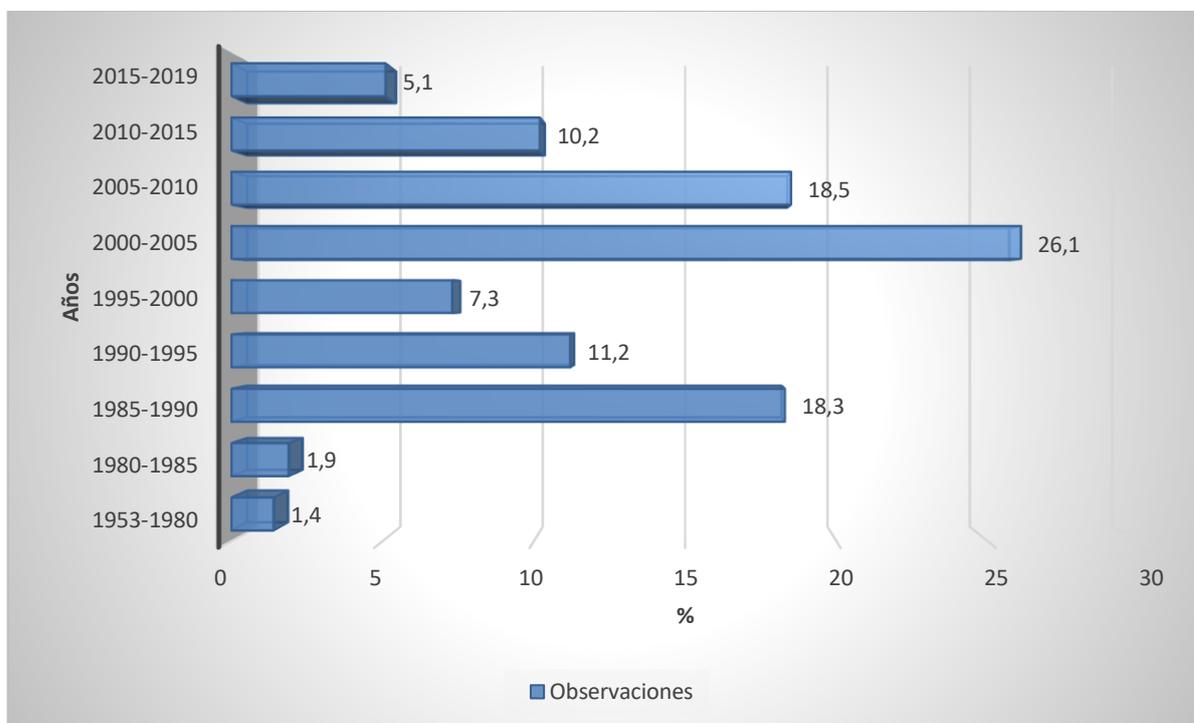


Figura. 6. Porcentaje de distribución anual de las observaciones tomadas para la perdiz nival pirenaica.

Nota Figura 6: A partir del año 1983 la toma de datos de las observaciones es continua, y cuanto más recientes son, más precisos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología de este trabajo sigue una trayectoria lineal en base a los objetivos propuestos, de forma en que cada apartado, está orientado a cumplir uno a uno de los objetivos específicos establecidos. Por lo tanto, el apartado 3.1 busca “Definir las variables explicativas de la distribución potencial de las especies”, para después en el apartado 3.2 “Generar un modelo explicativo de la distribución espacial. Para alcanzar los objetivos propuestos se han establecido una serie de tareas a realizar:

Para alcanzar el objetivo número 1:

- Análisis del hábitat para identificación de posibles variables explicativas de la distribución de las especies
- Análisis de la distribución espacial de las variables a nivel local (en base a las unidades montañosas, véase Tabla I).

Para alcanzar el objetivo número 2:

- Definir la variable dependiente y las independientes
- Analizar la correlación entre las variables
- Generar un modelo lineal generalizado a partir de regresión logística
- Validar el modelo generado

Cabe mencionar que la metodología y material es común tanto para el gorrión alpino como para la perdiz nival. Cada apartado cuenta con una metodología y material, por ello se citará de forma específica en cada uno de ellos. En cuanto a materiales y herramientas en común, para el geoprocésamiento se puede destacar “Quantum Gis 3. 12”, “ArcGIS 10.5 y ModelBuilder”. Y para el análisis estadístico el software “R studio”, para la representación gráfica “Exel” y para los Modelos de flujo de trabajo mediante “Draw”.

Además, todas las capas de información geográfica han sido georreferenciadas y proyectadas en coordenadas numéricas UTM mediante el Sistema de Referencia ETRS89 25830 con origen en el huso 30. Todas las capas de formato ráster tienen un tamaño de píxel de 25 x 25 metros.

3.1. Definición de las variables

Se busca definir las variables explicativas de la distribución espacial del gorrión alpino y la perdiz nival a partir de sus características. Estas variables se encuentran asociadas a la especie, su comportamiento y relación con el lugar donde habitan, y se aplican de igual forma a las dos especies de interés. Cabe destacar que la obtención de las variables se obtendrá a una escala 1:500.000, que ocupa toda el área del pirineo aragonés, pero para analizar su distribución y relación con los puntos de observación, se hará a una escala más local definida por los sectores de la Tabla I, englobados en cinco áreas específicas (área del 1-5). Para la perdiz nival, nueve sectores de puntos englobados en 5 áreas diferentes. Y para el gorrión alpino, hay un sector de puntos que coincide con el sector 4 de la perdiz nival, englobados en el área número 3.

Se decide partir de tres factores de importancia para estas dos especies: 1) clima, 2) topografía y 3) uso del suelo que engloban las variables explicativas del modelo de distribución del gorrión alpino y la perdiz nival (Figura 8).

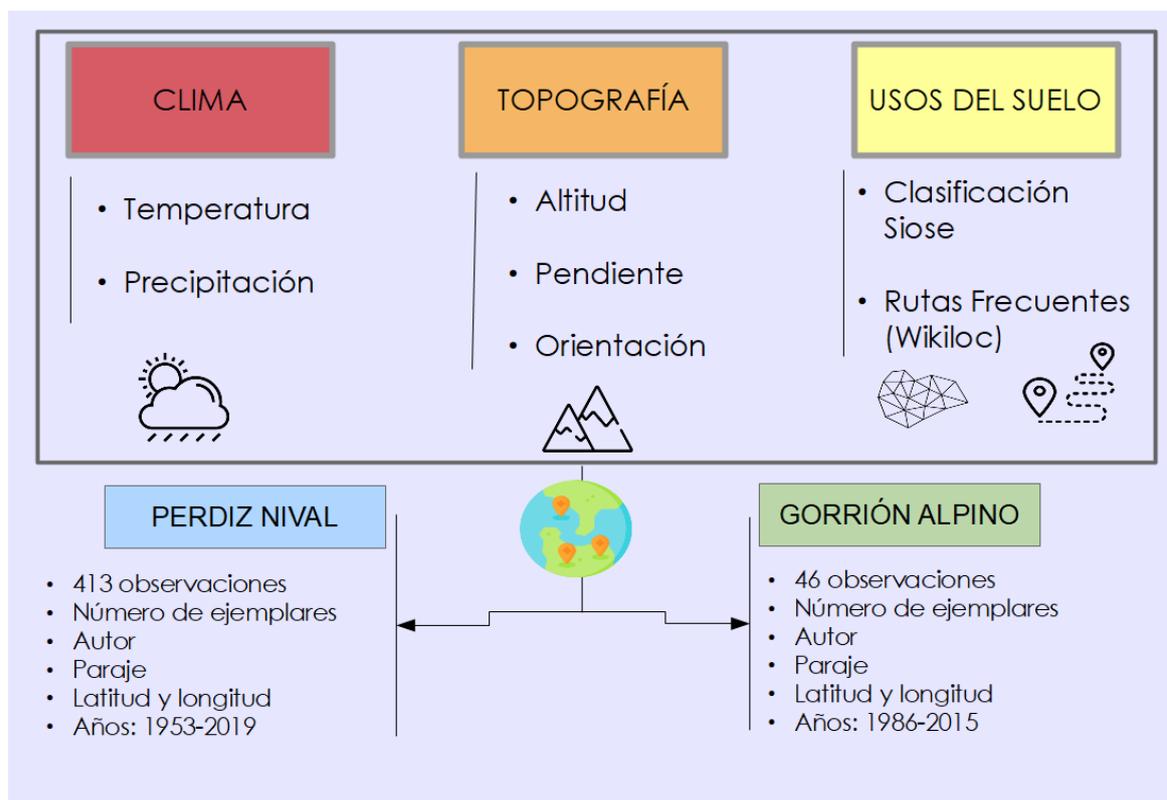


Figura. 7. Modelo de definición de variables para las especies de interés.

El factor clima determina las variables temperatura y precipitación, que entran en relación directa con el cambio climático que, a su vez, modifica las condiciones físicas del hábitat donde se ubican las especies en cuestión. El siguiente factor es la topografía o relieve sobre el que se ubica el gorrión alpino y la perdiz nival, y viene determinado por las variables de altitud, pendiente y orientación de las observaciones. El último factor se encuentra en relación con el uso que se hace del territorio donde se ubican las observaciones de las dos especies. Para determinar el uso del suelo en el área de estudio se hará uso del Sistema de Información sobre la Ocupación del suelo de España (SIOSE) y la aplicación Wikiloc, que permite establecer una aproximación de uso del territorio en alta montaña desde el punto de vista de la presencia antrópica del mismo.

Además de estos factores, se dispone de información de cada una de las especies, tales como el número de ejemplares, el autor de la observación, el año de registro de la observación y otras asociadas a la localización de la observación como el paraje de ubicación, latitud y longitud.

En el siguiente apartado se especificará el método de obtención de cada una de las variables, su filtrado y análisis.

3.3.1 Filtrado de las bases de datos del gorrión alpino y la perdiz nival

El filtrado de la base de datos es el primer contacto con la información, es de gran interés ya que determina la calidad interna de los datos lo que se traduce a calidad y precisión del producto o resultado final. Como ya se ha mencionado anteriormente, se parte de dos bases de datos proporcionados por la Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos para ambas especies objeto de estudio. Algunas de estas observaciones hacen referencia a una malla de 10 x 10 metros del Inventario Español de Especies Terrestres.

Las características de los datos de partida de las dos especies carecen de un proceso de toma de datos estandarizado, no son continuos en el tiempo y no siguen una estructura común. Los registros de las observaciones son anotaciones durante prospecciones de campo para detectar otras especies en el área de estudio. Es por ello, que el principal reto de este trabajo ha sido conseguir una estructura común para los datos y el filtrado de estos.

Para el caso del gorrión alpino, se parte de 88 observaciones y tras el filtrado nos quedamos con 46 de estas observaciones. Y para la perdiz nival se obtienen 413 observaciones tras filtrar 474 observaciones. En el proceso de depuración de las dos bases de datos correspondientes a las especies de interés se detectan una serie de problemas principales y su solución:

- Localización de observaciones poco precisas. Para la solución, se ha buscado la georreferenciación en base a la unidad montañosa de forma manual.
- Estructura desigual en la anotación en la observación, las filas y columnas no se correspondían. Las observaciones anotadas en filas no seguían el mismo sistema de columnas, para ello se diseña una estructura común para los mismos, corrigiendo el error de forma localizada.
- Errores de georreferenciación de los datos, debido a una anotación no sistemática y manual, lo que aumenta el error en la toma de datos. Este tipo de error se ha manifestado de forma común en ambas bases de datos de información y se ha solucionado mediante técnicas de concatenación.
- Categorización no estandarizada en la anotación del número de ejemplares observados. La solución establecida es crear un límite común para todas las observaciones, y en este caso sirve para ambas especies:
 - Los pollos se contabilizan igual que los ejemplares adultos. Se daban observaciones en las que los pollos se tenían en cuenta en el número de ejemplares y en otras no.
 - Las observaciones en base a: huellas, plumas, excremento u oído se contabiliza la presencia, pero no se determina el número de ejemplares.

Una vez que los datos contaban con una estructura y depurado, se integran como capa en un Sistema de Información geográfico para obtener su posterior procesamiento y las variables asociadas a las observaciones de ambas especies de interés. Para poder facilitar el proceso de análisis a una escala más local de las variables y agilizar los procesos computacionales, se decide, dividir los puntos de perdiz nival en 9 sectores en base a su localización geográfica por unidad montañosa (Tabla I) de concentración de observaciones de forma homogénea.

3.3.2 Topografía

La información topográfica se ha obtenido del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional. A partir del área de estudio, Pirineo Aragonés, se busca una cartografía de detalle y se opta por utilizar el Modelo Digital del Terreno (MDT 25) con una resolución de 25 metros. La información asociada a la topografía se centra en: altitud, pendiente y orientación.

Debido a las características topográficas del hábitat donde se ubican de las dos especies, formado mayoritariamente por roquedo y suelo desnudo y altamente altitudinal, se asume el valor del Modelo Digital del Terreno como altitud para las observaciones. Otra de las variables que se obtiene del mismo, la pendiente expresada en grados y finalmente la orientación para cada observación y aplicada a las dos especies en grados en el sentido de las agujas del reloj.

3.3.3 Usos del suelo

Los usos del suelo, es otro de los ejes de este trabajo, éstos se encuentran en continuo cambio a lo largo del tiempo. Este hecho de origen antrópico se traduce en la fragmentación y deterioro de los hábitats en los cuales residen las especies. Es por ello, que el uso que se hace de ese suelo puede influir de forma directa e indirecta en el terreno sobre el cual se asientan las especies, y en la habitabilidad del espacio.

Para cuantificar la influencia del uso del suelo sobre las observaciones de nuestras especies de interés, gorrión alpino y perdiz nival, se ha decidido, por una parte, hacer uso del Sistema de Información Sobre ocupación del suelo de España (SIOSE) y por otra, aproximarnos al uso de este mediante la presencia antrópica a partir de las rutas más realizadas por la aplicación de Wikiloc.

3.3.3.1 Clasificación de usos del suelo a partir de SIOSE

Para cuantificar el uso del suelo, debido al tamaño del área de estudio que se inscribe al Pirineo Aragonés, se opta por utilizar SIOSE, que tiene una escala de 1:25.000 obtenido en el “Geoportal SIOSE”, a partir del Instituto Geográfico Nacional (IGN). SIOSE proporciona una buena resolución a gran escala, siendo su Error Medio Cuadrático (EMC) ≤ 5 m (ETN SIOSE, 2011).

La Información sobre la Ocupación del Suelo de España, es categorizada en función del área comprendida del área de estudio. Un área que en un principio formaría el polígono mínimo de las observaciones de cada espacio, pero tras análisis se opta por digitalizar el área que comprende, en función de la topografía y análisis visual de la ubicación de las observaciones. En base a la distribución temporal de las observaciones en cada una de las especies y la cantidad de datos, de 1986 a 2015 para el gorrión alpino y de 1953 a 2019 para la perdiz nival, ambas, recordemos, sin una continuidad establecida en el tiempo, se opta por la utilización del primer y último SIOSE.

El primer SIOSE corresponde con el año 2005 y es aplicado a las observaciones para el gorrión alpino comprendidas entre 1986 a 2009 y para la perdiz nival 1953 a 2005. Y el último SIOSE disponible es del año 2014, aplicado para el gorrión alpino para los años comprendidos entre 2010 y 2015 y para la perdiz nival 2006 y 2019. Hay que destacar que la aplicación del uso del suelo a las observaciones viene determinada por el año en el que se realizan las mismas- se busca el año más próximo a la observación, y el volumen de observaciones de esa especie.

Es por ello por lo que SIOSE 2005 para el gorrión alpino se aplica a las observaciones tomadas hasta el año 2009 y para la perdiz nival hasta el año 2005, ya que no solo interviene el año más próximo de la

toma de la observación si no también del volumen de datos a tratar. Este hecho sirve de base a su vez, para generar dos modelos para cada especie, correspondiente al apartado 3.2 de la metodología empleada en este trabajo.

Los datos correspondientes al uso del suelo para los dos periodos establecidos se han puesto en común y mediante el geoprocésamiento de tablas relaciones se llega a una clasificación común para ambos periodos para el área de estudio. La clasificación se ha realizado en función del uso a partir de los códigos (CODIIGE y HILUCS) de cada SIOSE (2005-2014) correspondientes a las siguientes categorías (véase Tabla 2). A partir de las principales categorías de uso del suelo para el Pirineo Aragonés, se ha clasificado cada categoría como ambiente favorable (1) o no favorable (0) para las dos especies. La favorabilidad de que se establezca la especie en determinado uso del suelo es compartida por ambas especies, ya que su distribución en zonas de roquedo, canchales y suelo desnudo es común y comparten características similares. Esta clasificación de favorabilidad de hábitat es utilizada por (Gaël Aleix Mata et al 2014).

Tabla 2. Clasificación usos del suelo 2005-2014 para las dos especies objeto de estudio.

SIOSE CÓDIGO 2005/2014	USO	Clasificación	Favorabilidad
EDF-ZAU-LAA- VAP-OCT-SNE- ZEV	Cobertura artificial	1	0
CHA-CHL	Cultivos	2	0
PRD-PST	Prados y pastizales	3	1
FDC-FPP-CNF	Bosque	4	0
MTR	Matorral	5	1
SDN-RMB-ARR- ACM-CCH-CLC	Roquedo, canchal y suelo desnudo	6	1
HPA-ACU-ALG- AEM	Lámina de agua	7	0
GNP	Nieve permanente o Glacial	8	1
TCH-TPR-TCG	Camping y complejo hotelero	9	0

Nota Tabla 2: La tabla muestra las categorías de uso de suelo, obtenidas a partir de los códigos CODIIGE y HILUCS, que corresponden al SIOSE 2005 y 2014 respectivamente. Cabe destacar que algunos polígonos se encontraban clasificados como “mosaicos” es decir, diversas categorías de uso de suelo en un mismo polígono. Para este estudio la clasificación de los Mosaicos se ha realizado mediante filtros y se le asignado el valor de la categoría de mayor porcentaje de representación. Por ejemplo, si un polígono contiene 30% Roquedo, 25 % Matorral y el resto de las categorías con menor representación, a ese polígono se le asigna la categoría de “Roquedo” ya que se corresponde con un mayor porcentaje.

3.3.3.2 Medición del uso del suelo a partir de rutas de Wikiloc

Otra forma de medir el uso que se hace del territorio, de una forma aproximada es mediante la categorización de rutas georreferenciadas. Este tipo de herramientas son muy conocidas, pero poco utilizadas en estudios de biodiversidad y distribución de especies. Esto supone un gran reto para el trabajo en cuanto a la metodología utilizada para obtener los datos y su procesamiento, además busca establecer futuras líneas de investigación.

Para obtener las rutas georreferenciadas se ha elegido la aplicación llamada *Wikiloc*, valorada como una de las mejores para senderismo y trekking («Aplicaciones para senderismo», 2018), además de ser de código abierto para su utilización y descarga de datos. La aplicación consigue una elevada precisión a partir de GPS, valorada en torno a 2 a 5 metros, almacenando la información de la ruta mediante puntos y polilíneas.

Como área de localización de las rutas se establecen las "Unidades Montañosas" mencionadas en la Tabla I, ya que se distribuyen de forma homogénea por todo el Pirineo Aragonés y sirven de encuadre para las dos especies. Debido al gran volumen de información de rutas georreferenciadas, lo que supone gran coste computacional, se determina la descarga de 3 rutas por unidad. Es decir, las tres rutas más realizadas por "Unidad Montañosa" para la actividad más común en la aplicación, el senderismo. Esta forma de proceder es gracias al algoritmo de la aplicación, que muestra como primeras opciones las rutas más realizadas por los usuarios. Cabe destacar que algunas zonas específicas, no cuentan con rutas georreferenciadas de senderismo.

La obtención de las diferentes rutas se ha realizado de forma manual¹, en uno de los formatos más habituales para compartir datos georreferenciados, "KML". Y aunque la descarga de datos ha sido tediosa, el geoprocesamiento de estos se ha realizado mediante un modelo de secuencias (Figura X). El total de rutas obtenidas tras la descarga, filtro y procesamiento de estas es de 50, distribuidas de forma homogénea en el área de estudio.

Para categorizar la diferente afluencia a cada ruta se utiliza el "*Trail Rank*", un indicador común a todas las rutas, que depende de la densidad de coordenadas de la ruta, las veces de realización, la valoración, los *waypoints* o puntos de interés y otras variables no especificadas por el algoritmo de la aplicación. A partir de este indicador y los datos descargados, las rutas se pueden clasificar en 4 categorías de afluencia (Tabla 3).

Tabla 3. Categorización de las rutas mediante "Trail Ranking"

Rango de TrailRanking	Nº de rutas	Categoría	Valor de categoría
0-10	15	Baja afluencia	1
11-19	13	Moderada afluencia	2
21-49	12	Alta afluencia	3
60-95	10	Muy alta afluencia	4

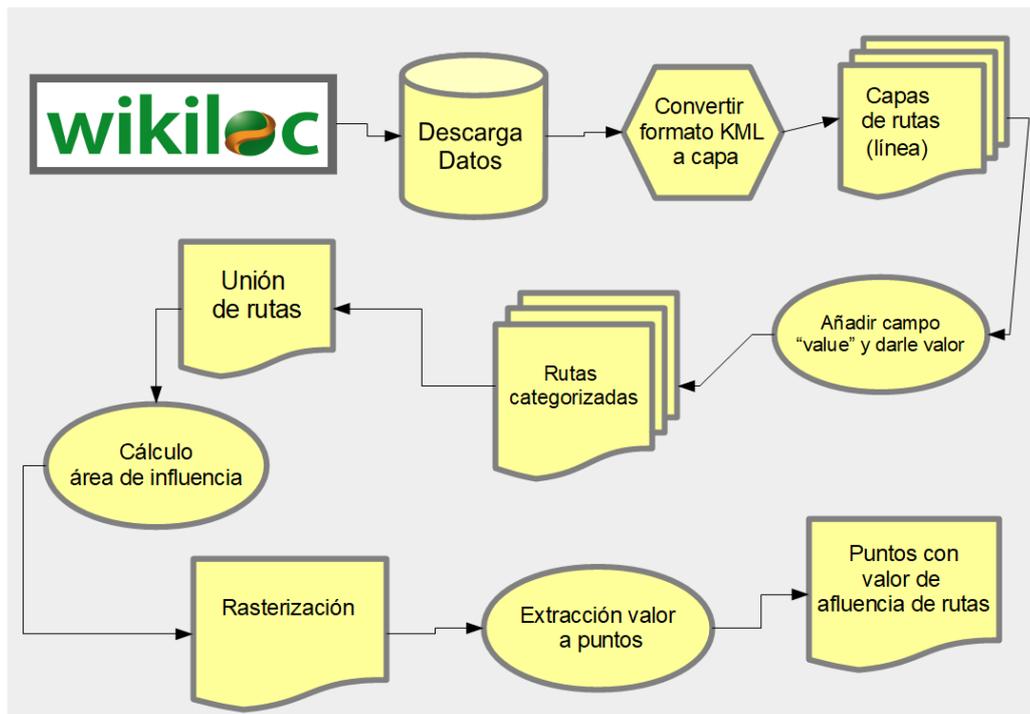


Figura. 8. Flujo de trabajo: afluencia rutas

Una vez clasificadas las rutas, a partir del campo del valor dado, que se encuentra en base al “TrailRanking” (Tabla 3) se procede a la unión de todas las rutas en una sola capa. Esta unión se hace a partir del campo del valor establecido, siendo éste la prioridad. Es decir, si dos rutas de diferentes valores de categoría se superponen, la que tiene la prioridad de superposición es la que tiene el valor más alto.

Con una capa de rutas categorizadas en 4 valores, se procede a determinar el área de influencia de esas rutas en su entorno. Se establece como distancia a ambos lados de la ruta 600 metros de área de influencia y otra para 1000 metros de área de influencia. Los valores de distancia elegidos para el cálculo del área de influencia se deben a las características de movilidad de las especies (muy similar en ambas, por ello éstos valores son aplicados a las dos especies). Una primera área de influencia de 600 metros debido al área de movilidad en búsqueda de alimentos y otra de 1000 metros, por los estudios más recientes de desplazamiento invernal.

El área de influencia se calcula en base al campo de categorización de las rutas, otorgándole la prioridad, para que, de igual forma, que, en el caso anterior, si dos áreas de influencia se superponen, la que tenga mayor valor se sitúe por encima. Finalmente, se extrae para cada observación el valor de influencia de cada ruta, siendo 0, si en esa zona no se dispone de información.

3.3.3 Variables asociadas al clima: temperatura y precipitación

Los datos utilizados para generar la información asociada al clima como lo es la temperatura y precipitación vienen de la base climática basada en el estilo de datos abiertos, WorldClim. WorldClim es una base de datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial. Estos datos son comúnmente utilizados para realizar mapeo y modelado espacial. Dentro de la variedad de datos disponibles en esta base de datos, para este trabajo se ha utilizado los datos climáticos históricos para el periodo 1970-2000, lanzados a disposición para los usuarios en enero de 2020. Los datos se ponen en disposición en base al estudio de nuevas superficies climáticas de resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales. (Fick & Hijmans, 2017).

De este modo se obtienen datos climáticos mensuales para la temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima y precipitación. Los datos disponibles se encuentran en cuatro resoluciones espaciales entre 30 segundos y 10 minutos, con resoluciones entre 1 km² y 340 km². Para este estudio se ha optado por los datos de 30 segundos que tienen una resolución aproximada de 1km² en formato Geo-TIFF para cada mes con un tamaño de píxel flotante. Los datos de cada mes son resultados de la media de los meses de periodo comprendido entre 1970 y 2000.

Los datos de los que parte este estudio son:

- Precipitación mensual (12 archivos, uno por cada mes), resultado de la media de cada mes del periodo comprendido entre 1970-2000
- Temperatura máxima mensual (12 archivos), resultado de la media de las temperaturas máximas de cada mes del periodo comprendido entre 1970 y 2000.
- Temperatura mínima mensual (12 archivos, uno por cada mes), resultado de la media de las temperaturas mínimas de cada mes del periodo comprendido entre 1970 y 2000.
- Temperatura media mensual (12 archivos, uno por cada mes), resultado de la temperatura media de cada mes del periodo comprendido entre 1970 y 2000.

Partiendo de los datos originales se generan nuevas variables que junto a las originales buscan caracterizar el hábitat del gorrión alpino y la perdiz nival. Estas variables junto a las nuevas generadas a partir de las originales (véase Tabla 4) se aplican a toda el área de estudio que compone el Pirineo Aragonés.

Tabla 4. Variables climáticas obtenidas a partir de los datos de partida de WorldClim

Nombre	Descripción	Cálculo
R_01-R_12	Rango de temperatura mensual	Temperatura máxima – Temperatura mínima de cada mes
Tmean_max	Temperatura media máxima anual	Suma de todas las temperaturas máximas mensuales /12
Tmean_min	Temperatura media mínima anual	Suma de todas las temperaturas mínimas mensuales/12
Tmean_anual	Temperatura media anual	Suma de temperaturas medias mensuales/12
Rtemp_anual	Rango de temperatura anual	Temperatura media máxima anual - Temperatura media mínima anual
Panual	Precipitación anual	Suma de todas las precipitaciones mensuales

3.2. Generación de un modelo explicativo

En base a las variables en torno a los tres ejes: terreno, uso de suelo y clima se busca generar dos modelos explicativos de la distribución potencial de cada especie. Para ello se realiza una primera división de las observaciones asociadas a cada especie, en dos periodos temporales, uno más antiguo y otro más reciente. Para realizar esa división de observaciones, nos vamos a fijar en una de las variables eje, uso del suelo. Se busca generar un modelo explicativo de las observaciones con el uso del suelo basado en el SIOSE 2005 y otro modelo con las observaciones en base al uso del suelo 2014. De esta forma se podría comparar entre los modelos temporales. Es decir, las observaciones de cada especie van a determinar la distribución potencial, en base a dos periodos.

Para el gorrión alpino el primer modelo albergará las observaciones entre el periodo comprendido entre los años 1986 y 2009. Se sigue la misma técnica que con las variables en relación con el uso del suelo, las observaciones tomarán el valor del uso del suelo en función del año de registro de la observación y el volumen de datos de la especie. Y el segundo modelo del gorrión alpino alberga el periodo entre el año 2010 y el 2015. El primer modelo del gorrión alpino cuenta con 21 observaciones y el segundo modelo con 25 observaciones.

En el caso de la perdiz nival, el primer modelo alberga observaciones comprendidas entre 1953 a 2005 formado por 273 observaciones. Y el segundo modelo de la perdiz nival comprende observaciones entre 2006 y 2019 y cuenta con 140 observaciones.

El 25% de las observaciones se van a reservar para poder ser una variable de verdad terreno para la validación de cada uno de los modelos. Además, a las observaciones que se utilizarán para cada modelo (75% de las observaciones) se van a generar puntos de forma aleatoria para poder albergar gran parte de la información comprendida en el área de estudio. Los modelos, dos por cada especie, tendrán como área de referencia el área de estudio. A partir del área de estudio se generan puntos aleatorios, se decide generar tantos puntos como observaciones tiene cada modelo. (véase Tabla 5).

Tabla 5: Observaciones para la generación de los modelos de ambas especies.

Especie	Modelo	Observaciones	25%	75%	Puntos aleatorios	Total
GORRIÓN ALPINO	Modelo 1	21	5	16	21	37
	Modelo 2	25	6	19	25	44
PPERDIZ NIVAL	Modelo 1	273	68	205	273	478
	Modelo 2	140	35	105	140	245

3.2.1 Variables dependientes e independientes de cada modelo

Con el objetivo de crear los modelos explicativos de la distribución potencial de la perdiz nival y del gorrión alpino, es necesario una variable que esté asociada a la presencia de la especie en el área de estudio. Para generar la información de presencia o ausencia de cada especie, se utiliza la columna de “número de ejemplares” de la base de datos de cada especie, y se calcula un área de influencia de 600 metros, que corresponde a la movilidad de las especies en la búsqueda de alimentos. Es decir, la presencia se da en los puntos donde hay observaciones tomadas, y un área en torno a las mismas de 600 metros.

La nueva variable presencia, es una variable binomial, es decir, toma valores de 0 (para la ausencia) o 1 (para la presencia) para cada una de las especies. Cabe destacar que, en la categorización de la presencia, las observaciones registradas, pero con un valor “0” resultantes de la depuración de la base de datos, se toman como presencia, es decir para esta variable, tienen el valor 1.

La variable presencia es la variable dependiente en los cuatro modelos generados, dos por cada especie. Esta variable como ya se ha mencionado, es diferente para cada modelo, ya que proviene del número de ejemplares de cada observación. Aunque se utilice el campo de número de ejemplares, esta variable es binomial, categorizando así, las zonas de presencia o ausencia de la especie.

La variable dependiente es la variable objeto de estudio, la cual se intenta explicar a partir de una serie de variables independientes. Y son las independientes las que verifican el efecto de la dependiente (Cum-sille & Bangdiwala, 2000).

Por lo tanto, cada modelo tiene una variable dependiente: presencia de la especie y otras independientes comunes para todos los modelos, pero aplicadas a las observaciones de cada especie. Se dispone de un total de 59 variables independientes relacionadas con los tres ejes del trabajo: topografía, uso de suelo y clima. Las variables independientes son:

- Altitud
- Pendiente
- Orientación
- Clasificación SIOSE (en función del año de las observaciones, 2005 o 2014)
- Área de influencia de rutas a 600 metros
- Área de influencia de rutas a 1000 metros
- Precipitación mensual (una por cada mes)
- Precipitación anual
- Rango de temperatura mensual (una por cada mes)
- Rango de temperatura anual
- Temperatura media máxima anual
- Temperatura media mínima anual
- Temperatura media anual
- Temperatura máxima mensual (una por cada mes)
- Temperatura mínima mensual (una por cada mes)

3.2.2 Correlación entre las variables independientes

El cálculo de correlación entre las variables independientes busca comprobar si existe relación entre los predictores de la presencia de la especie. Para comprobar dicha relación se utiliza el método de Pearson, que determinan la relación entre pares de variables explicativas (Longares, 2003). Este coeficiente varía entre los valores de -1, 0 y 1. La relación entre las variables puede ser:

- Si $r = 1$: Correlación positiva perfecta
- Si $0 < r < 1$: Refleja que se da una correlación positiva
- Si $r = 0$: En este caso no hay una relación lineal
- Si $-1 < r < 0$: Indica que existe una correlación negativa

La correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando aumenta una aumenta exactamente la misma medida que la otra. Y es perfecta negativa en el caso contrario, cuando una variable disminuye exactamente lo mismo que la otra. (Amat Rodrigo, 2016).

Para la modelización se buscan variables que no estén correlacionadas, por ello se pone un umbral entre $r > -0,5$ x $r < 0,5$, de esta forma se eligen las variables con menor correlación entre las mismas.

3.2.3 Generación de modelos

En base a la naturaleza y características de las variables dependiente e independientes utilizados para generar los modelos de distribución potencial del gorrión alpino y la perdiz nival, se opta por los Modelos Lineales Generalizados (GLM). Este tipo de modelos son más flexibles que los modelos lineales

generales, permitiendo así, introducir variables que no presentan una distribución normal y no asumen homocedasticidad de las varianzas, es decir los errores se distribuyen de forma normal y la varianza es constante. Los modelos se realizan en el software estadístico “R”, y las variables independientes que explican cada modelo en cuanto a la presencia de la especie, son seleccionadas en base a los umbrales establecidos en el apartado anterior, buscando así que las variables no tengan una correlación fuerte. La función que describe el modelo es *glm()*. Y los modelos creados se encuentran en el apartado de resultados.

3.2.3 Calidad y validación de los modelos

Una vez generada la función que describe la presencia para cada uno de los modelos de las dos especies, se analiza los umbrales de calidad mediante el p-valor, que se define como la probabilidad de que un valor estadístico calculado sea posible dada una hipótesis nula cierta, por lo tanto, a menor valor de este, mejor clasificación.

Después mediante la función que describe la presencia a través de las variables independientes, se procede a la validación mediante el 25% de las observaciones reservadas. Para la validación se aplica la función del modelo mediante álgebra de mapas y superposición de capas en un Sistema de Información Geográfica. La función descrita por cada modelo representará las zonas más favorables a la presencia y las menos favorables y a partir de la superposición de capas con el 25% de las observaciones se puede calcular qué porcentaje de observaciones ha predicho la función de presencia, para comprobar así la calidad de cada uno de los modelos. La clasificación de estos modelos es:

- Poco Favorables valores entre -30 y 0.
- Favorables valores entre 0-10
- Muy Favorables valores entre 10 -30

4. RESULTADOS

Este apartado contiene los resultados en relación con el primer objetivo: estudio de las variables explicativas de la distribución de las especies del Gorrión Alpino y la Perdiz Nival. También incluye los resultados con relación al segundo objetivo propuesto: Generación de modelos explicativos

4.1. Resultados: Variables explicativas de la distribución de las especies

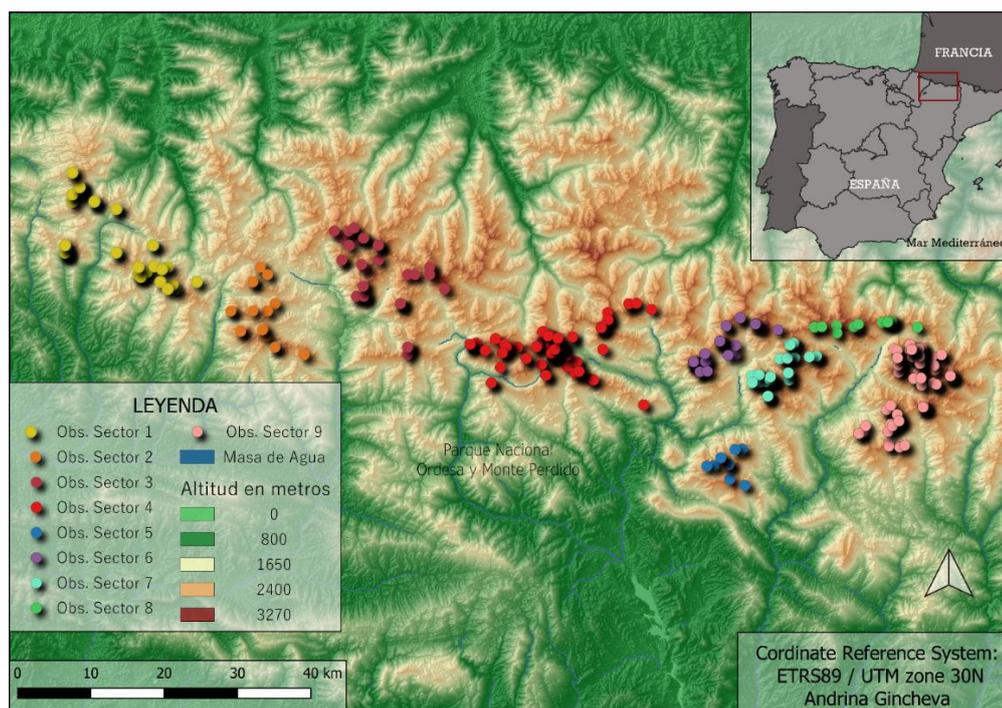


Figura. 9. Localización geográfica de la distribución espacial de las observaciones de la perdiz nival pirenaica.

Nota figura 9: El sector 4 y 9 son los principales focos de observación de las especies, entre los dos sectores albergan casi el 50% de las observaciones. (véase Tabla I).

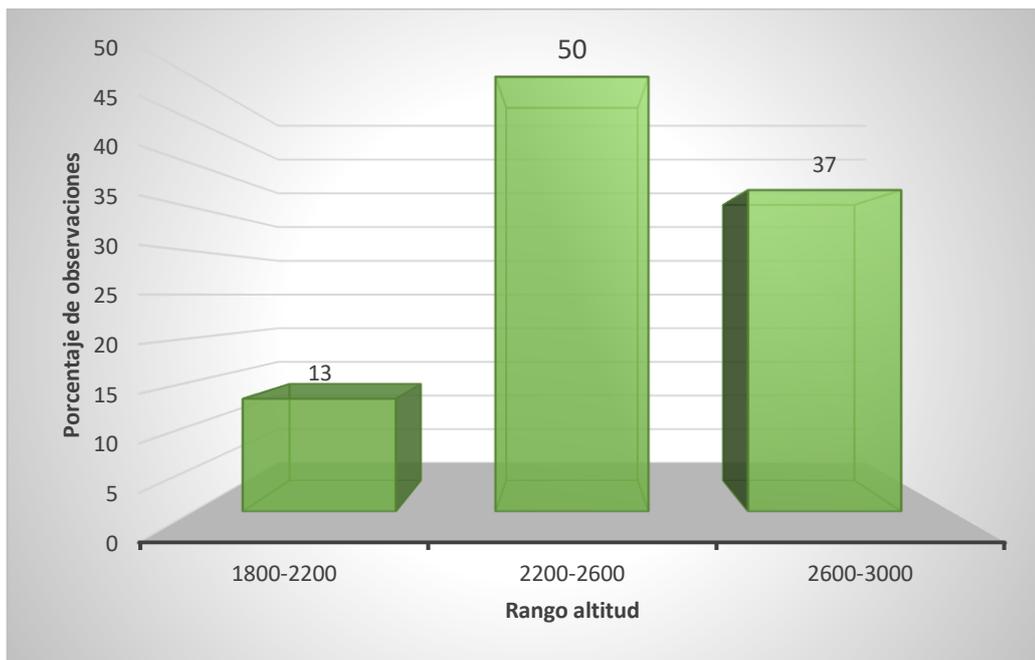


Figura. 10. Distribución altitudinal del Gorrión alpino

Nota Figura 10. El rango de altitudes preferentes para el gorrión alpino se encuentra entre los 2200 y 2600 metros, éstas albergan el 50% de las observaciones de la especie. Las zonas de menor altitud representan menos del 15%, y los 1800 metros es la cota de altitud más baja de la especie.

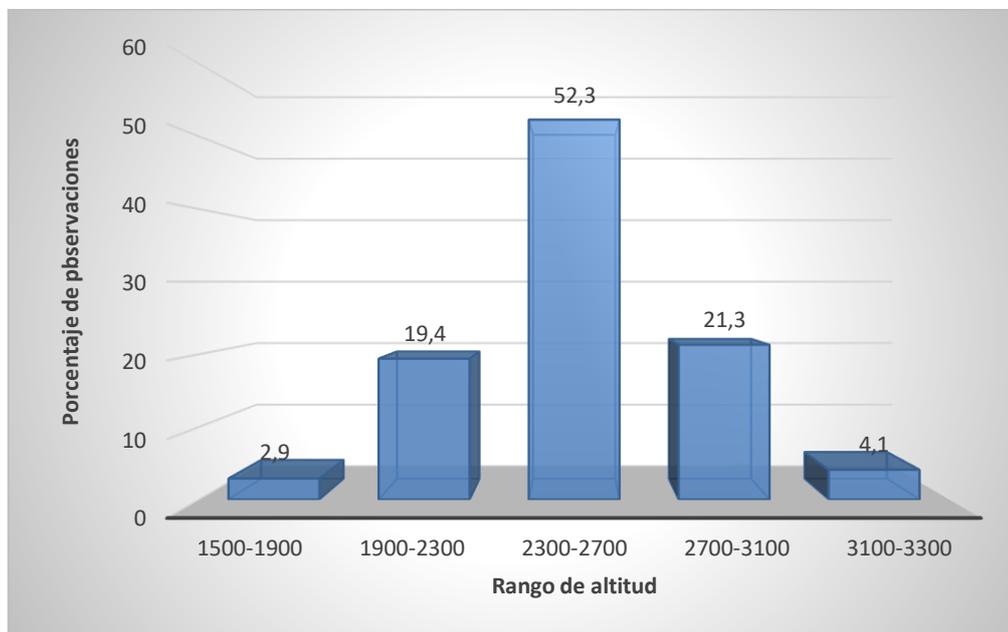


Figura. 11. Distribución altitudinal de la Perdiz nival.

Nota Figura 11: La cota de altitud más baja en la presencia de la perdiz nival se encuentra entre los 1500-1900 metros, aunque estas observaciones a apenas representan el 3% de las observaciones totales. La altitud preferente para esta especie se encuentra entre los 2300 y 2700 metros, para las observaciones totales de la especie, este rango representa casi el 50% de las observaciones. Por encima de los 2300 metros y hasta los 3100 metros, representan el 21% de las observaciones para esa cota de altitud. La cota de altitud más alta viene a partir de los 3100 hasta los 3300, y estas observaciones representan el 4%, un porcentaje inferior, pero aún así mayor al de la cota más baja, esto se traduce en la ubicación preferente latitudinal de la especie.

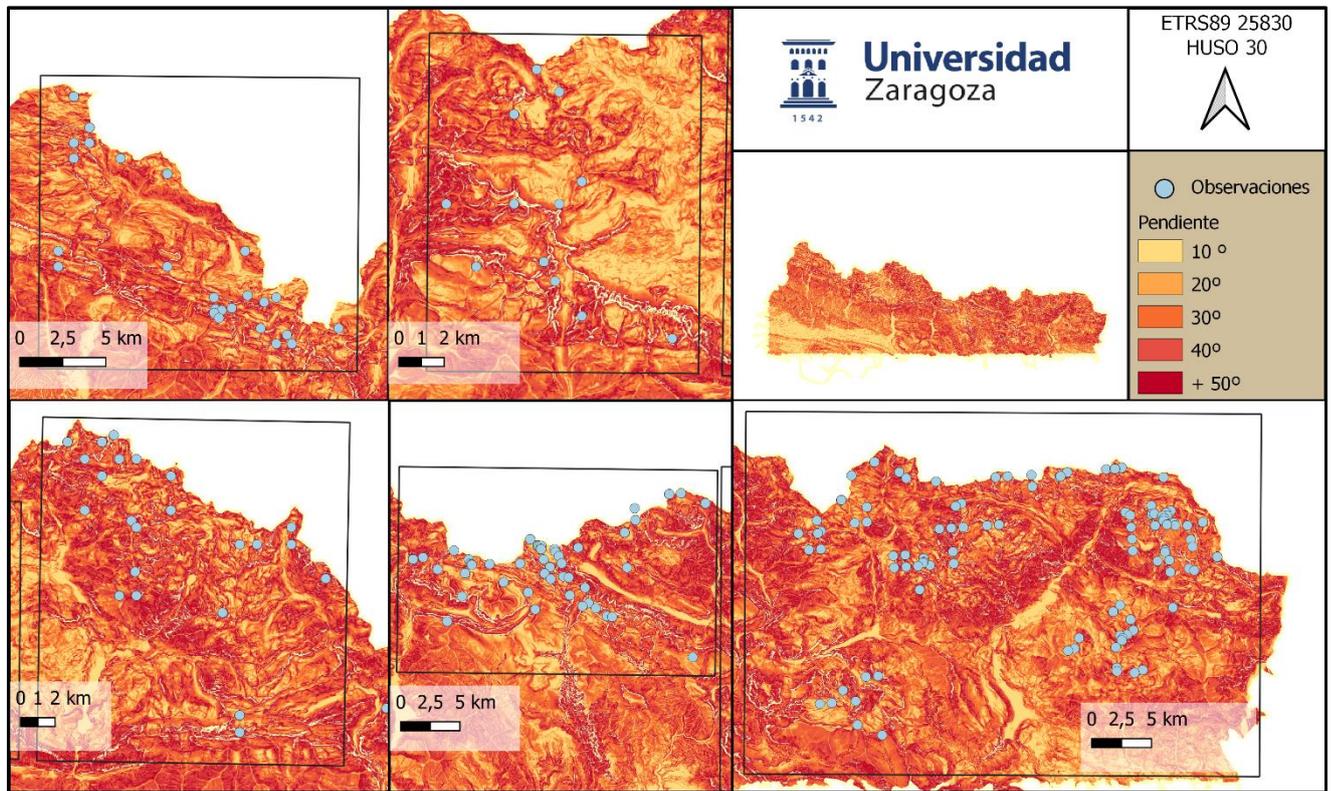


Figura. 12. Distribución de pendiente para la Perdiz Nival.

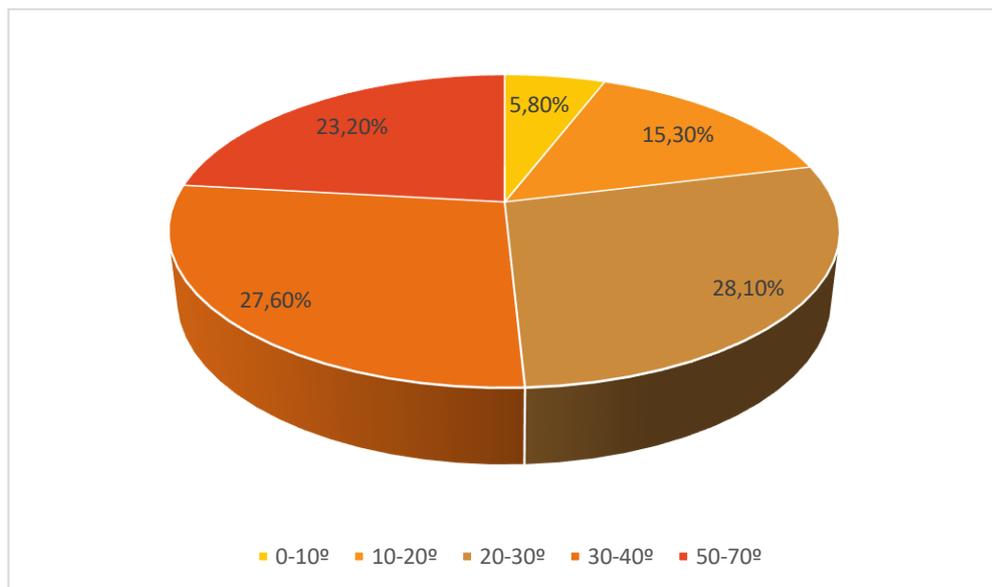


Figura. 13. Porcentaje de observaciones según el rango de pendiente para la Perdiz Nival.

Nota Figura 12 y 13: Éstas figuras muestran los rangos de preferencia de pendiente medida en grados para la especie de Perdiz Nival. Los rangos de pendiente con mayor representación porcentual de las observaciones de las especies se establecen en 20-30° y 30-40°, lo que muestra una clara tendencia a la ubicación de las especies en zonas con una pendiente superior a 10°.

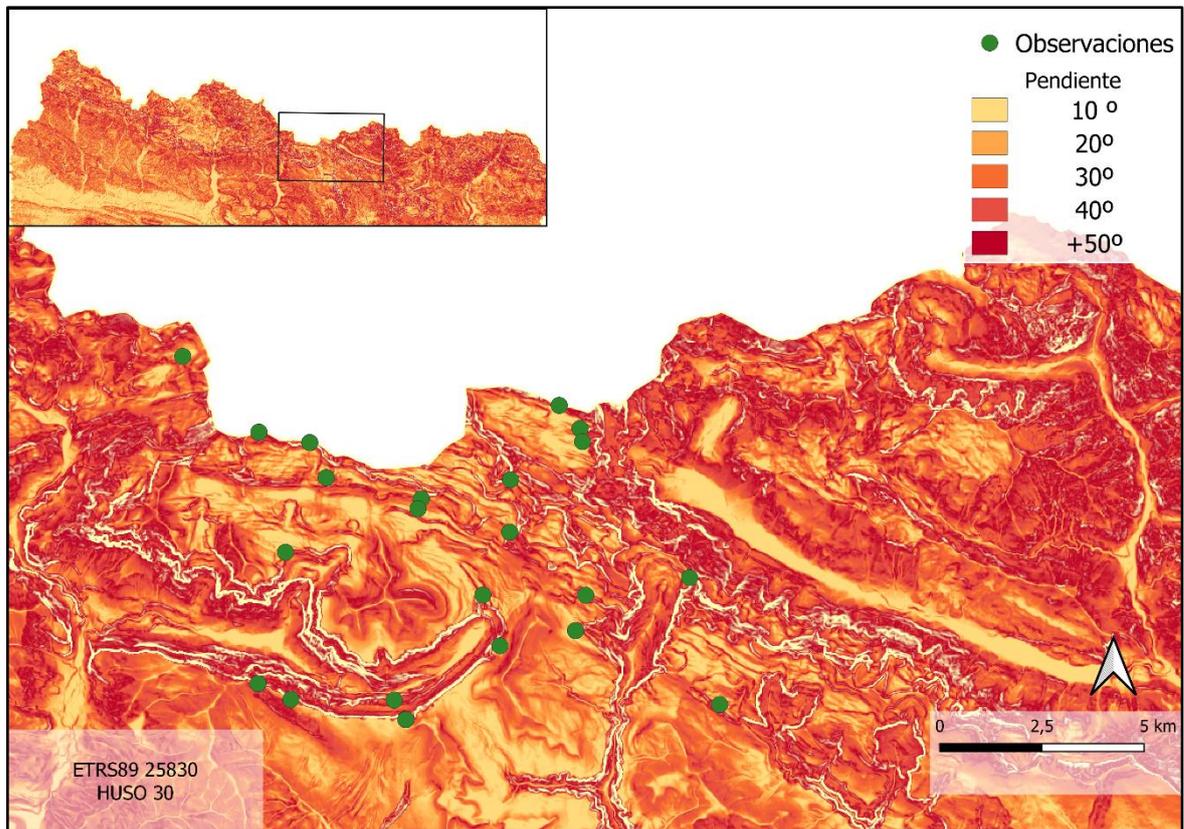


Figura. 14. Distribución de pendiente para el Gorrión Alpino.

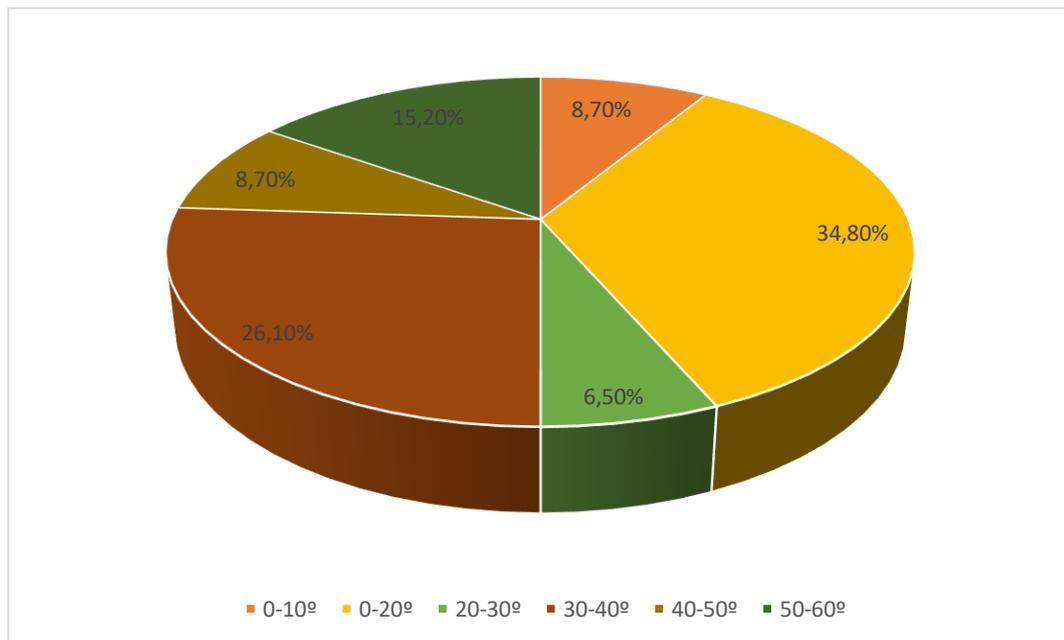


Figura. 15. Porcentaje de observaciones según el rango de pendiente para el Gorrión Alpino.

Nota Figura 14 y 15: Éstas figuras muestran la distribución de las observaciones que se disponen de referencia para el Gorrión Alpino y los rangos de pendiente de estas. El rango de pendiente que va de 10 a 20 ° supone la ubicación de casi 35% de las observaciones para esta especie, seguida por el rango entre 30 y 40 grados.

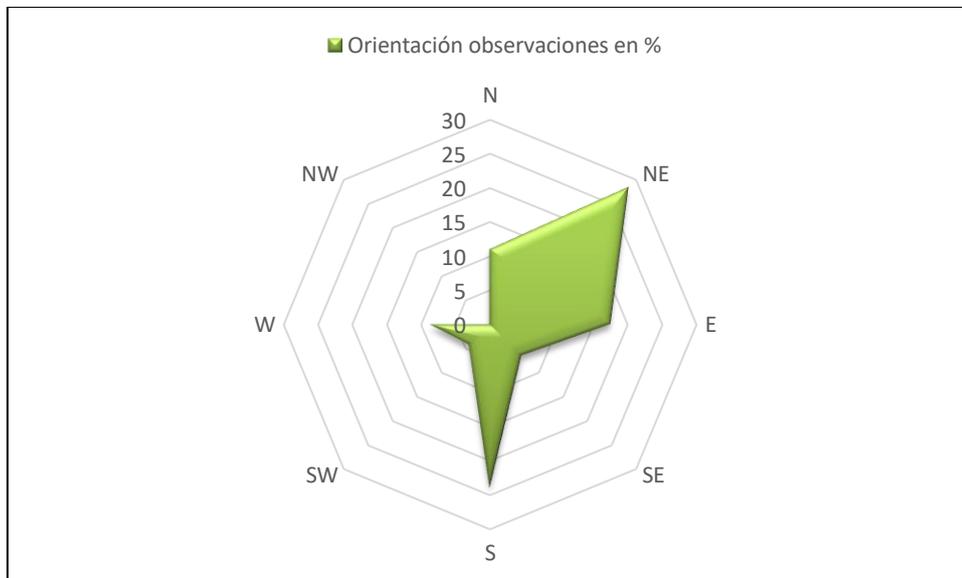


Figura. 16. Distribución del porcentaje de observaciones en función de la orientación para Gorrión Alpino

Nota Figura 16: La distribución de observaciones del Gorrión Alpino en función de la orientación, es altamente direccional, ya que como se observa la figura mencionada, las observaciones se concentran en el Noreste y Sur/ Sureste.

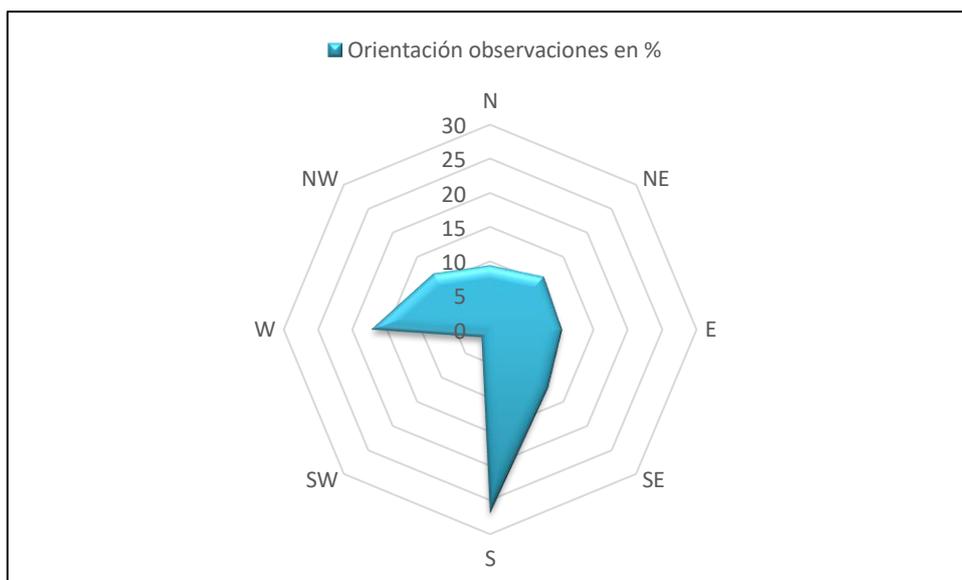


Figura. 17. Distribución del porcentaje de observaciones en función de la orientación para la Perdiz Nival

Nota Figura 17: La distribución de observaciones de la Perdiz Nival, al igual que en el caso anterior, pero con direcciones diferentes, ésta especie se encuentra muy marcada por los sectores Sur y Oeste.

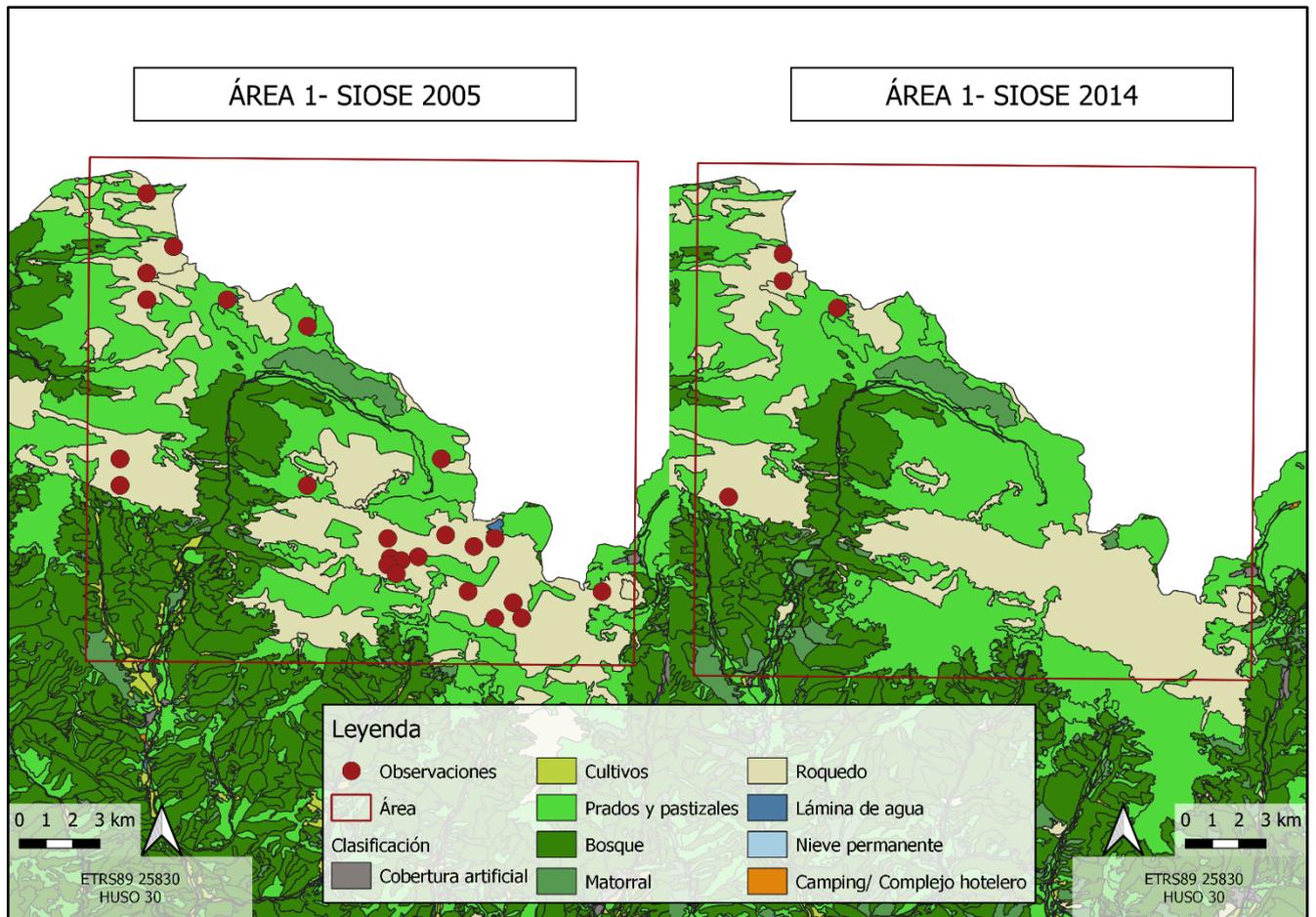


Figura. 18. Clasificación del uso del suelo para la Perdiz Nival.

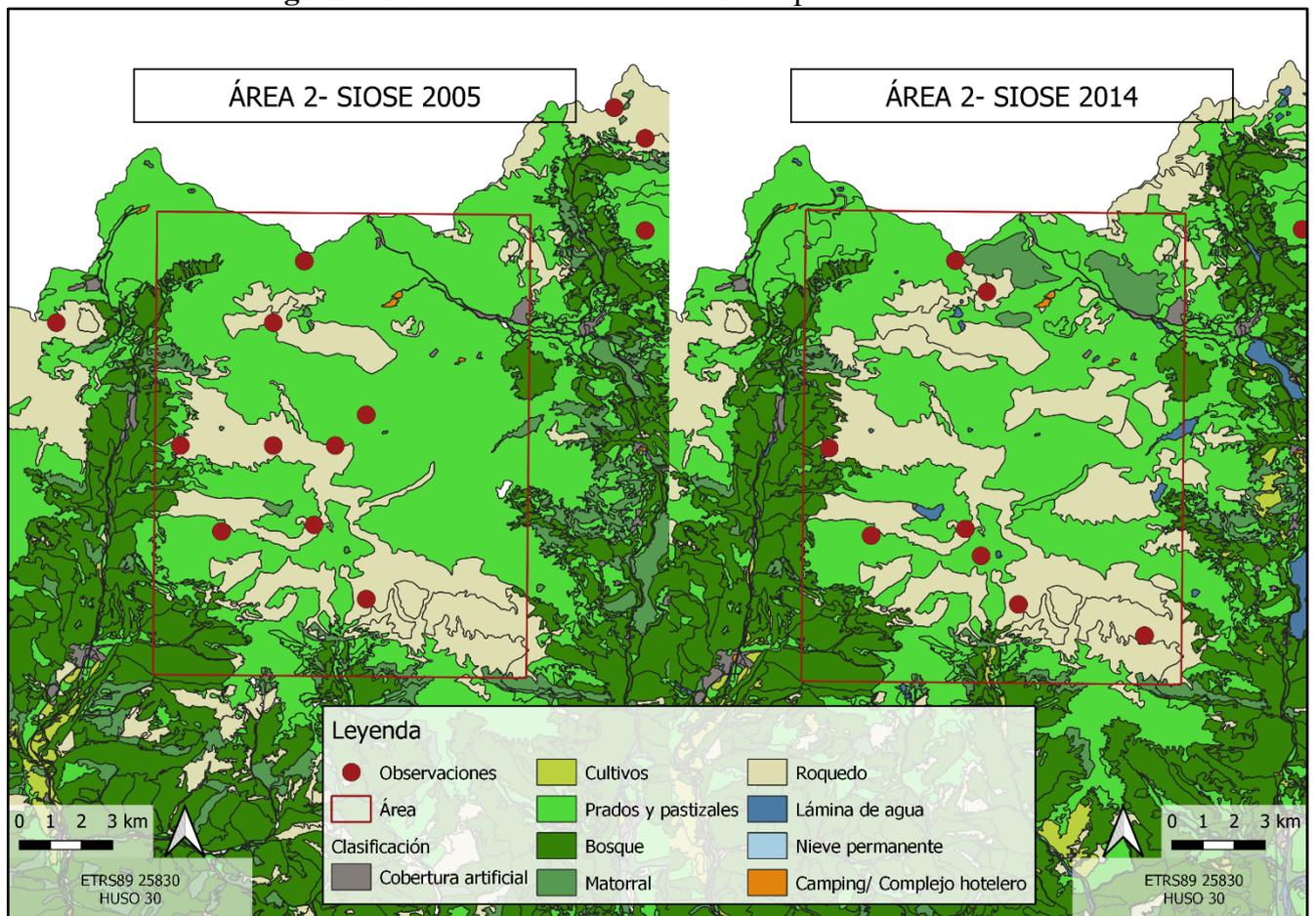


Figura. 19. Clasificación del uso del suelo para la Perdiz Nival.

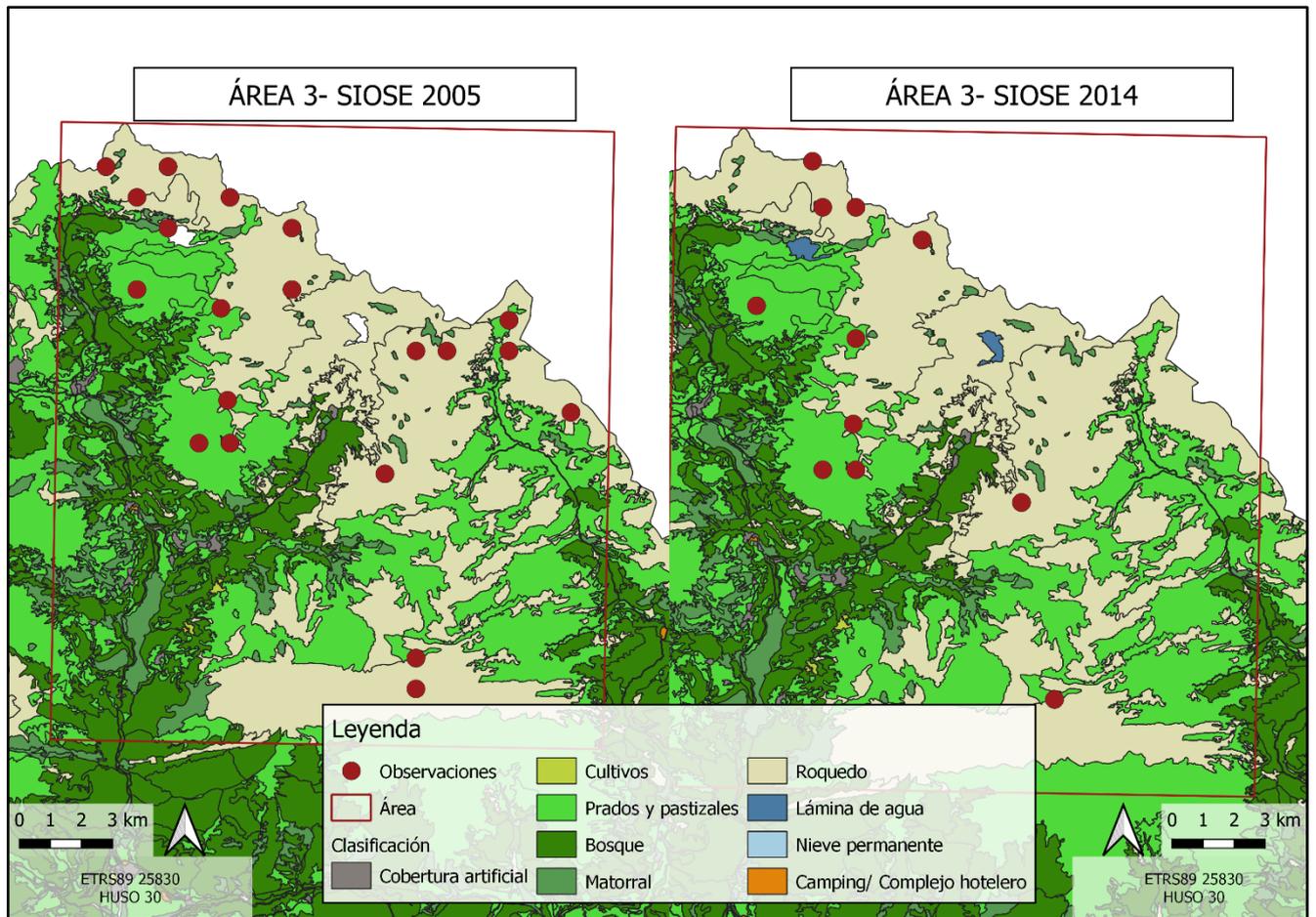


Figura. 20. Clasificación del uso del suelo para la Perdiz Nival.

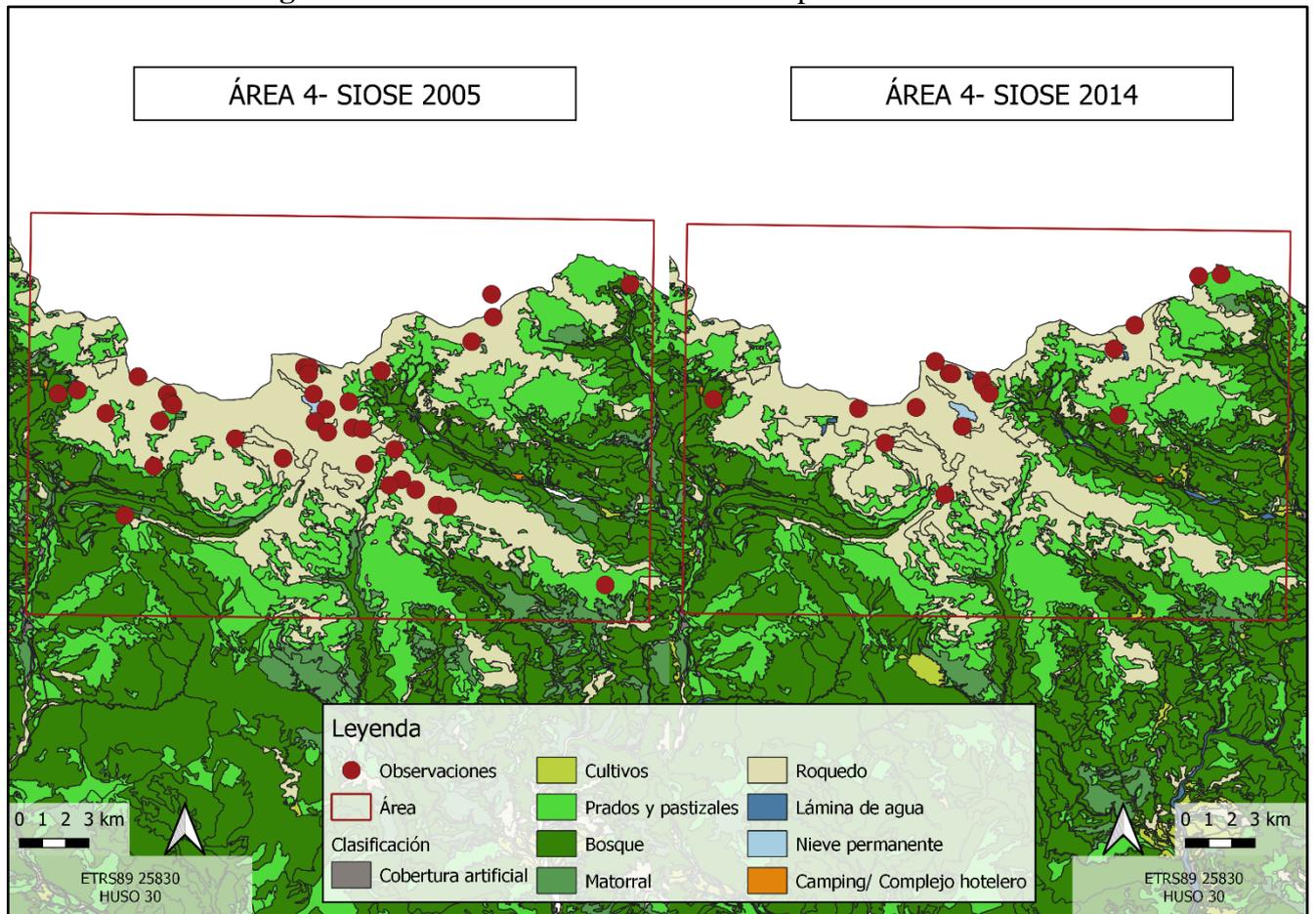


Figura. 21. Clasificación uso del suelo para la Perdiz Nival.

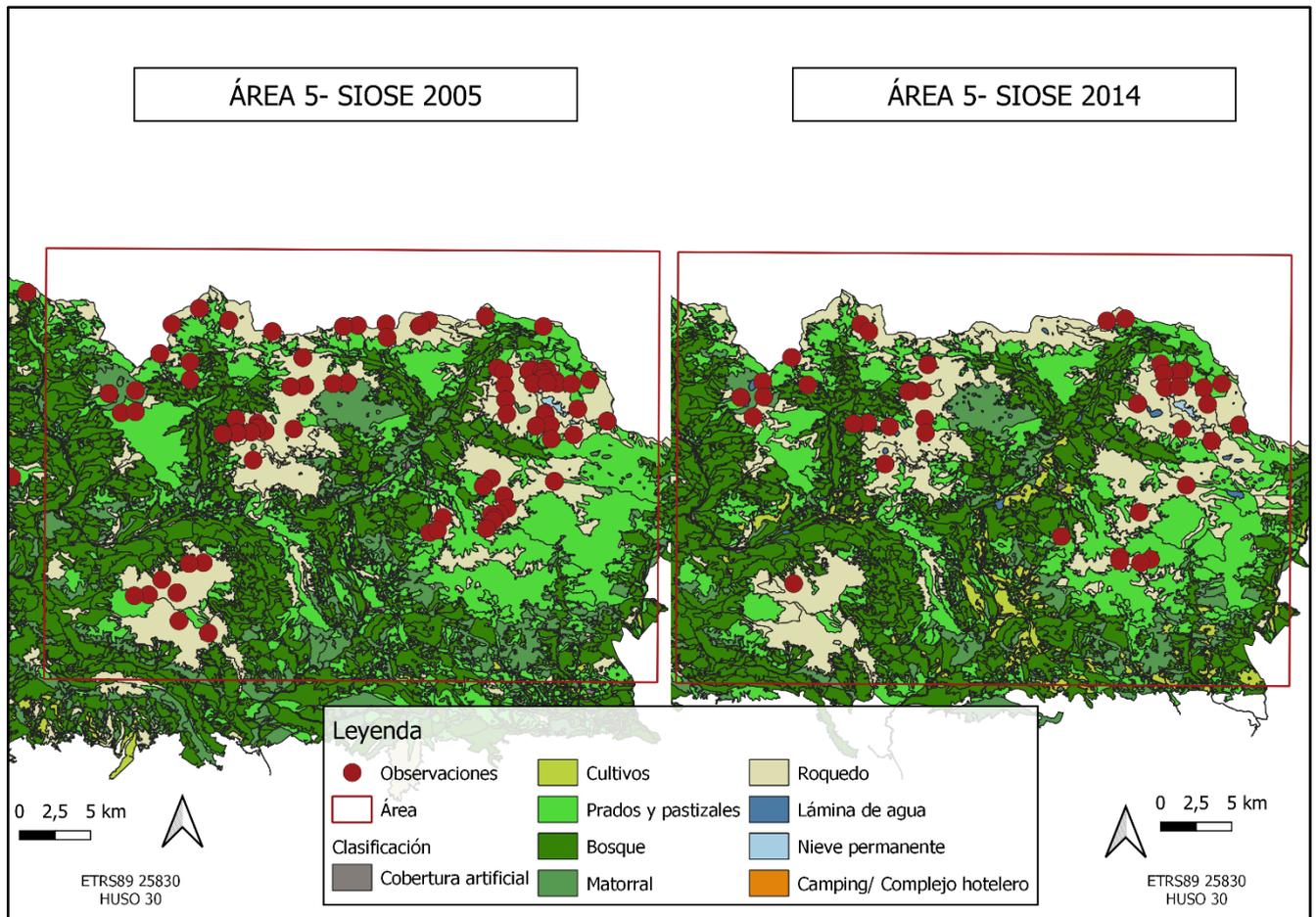


Figura. 22. Clasificación uso del suelo para la Perdiz Nival.

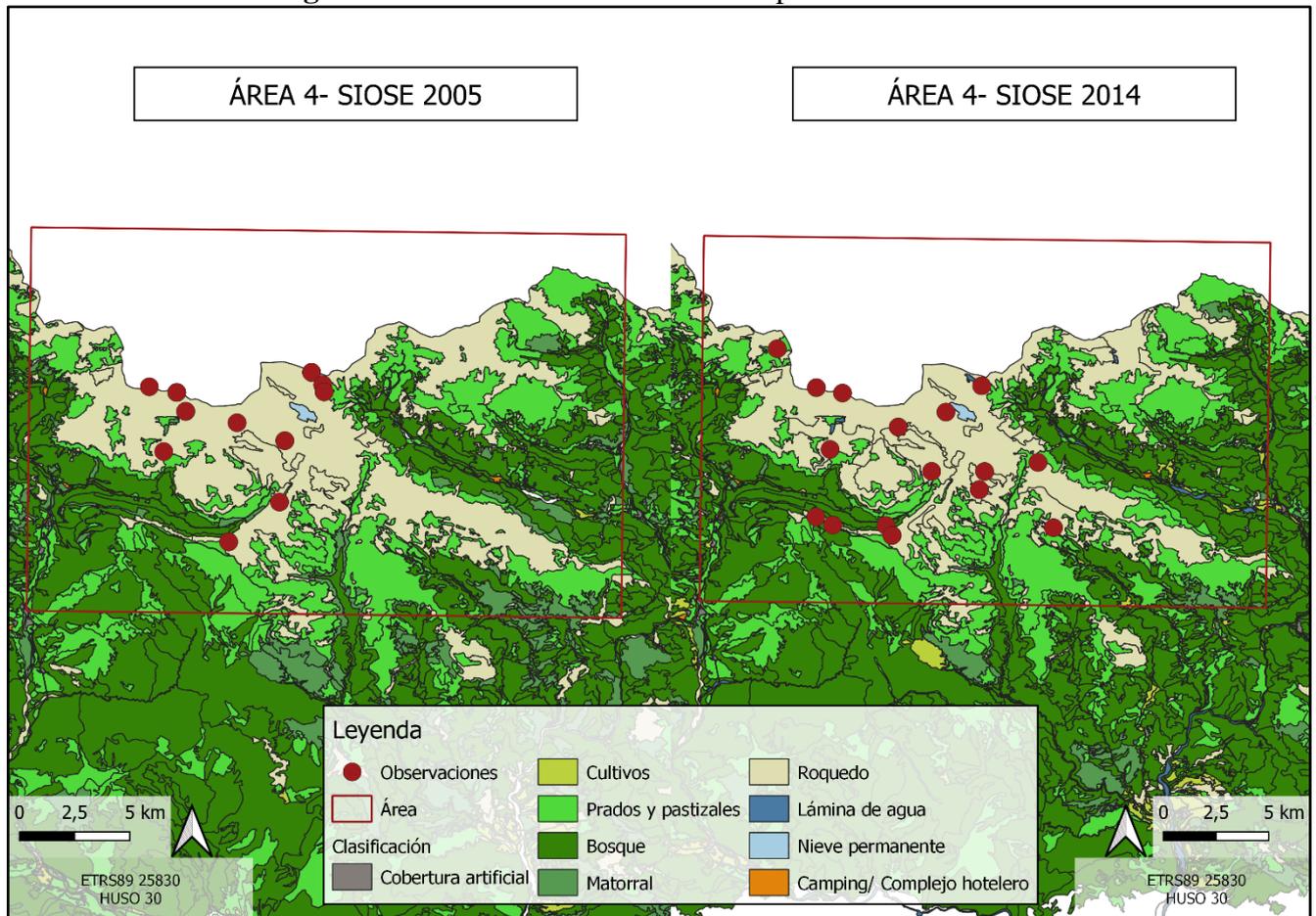


Figura. 23. Clasificación del uso del suelo para el Gorrión Alpino

Nota: Figuras 18 a 23: Se muestra la comparación de la evolución del uso del suelo a partir de las observaciones de la especie clasificadas para SIOSE 2005 y para SIOSE 2014. Cabe señalar que, aunque la zona de comparación es la misma, los puntos correspondientes a las observaciones, como ya mencionamos, no se toman de forma lineal en el tiempo, por lo tanto, el volumen del número de observaciones no solo está relacionado con el uso del suelo si no también con la toma de datos de las observaciones.

Las categorías de uso de suelo, una vez clasificadas en función de favorabilidad para el establecimiento de las especies de interés (véase Tabla 2) muestran en la Tabla 6, que casi el 100% de las observaciones de Gorrión Alpino se sitúa sobre uso de suelo Favorable al igual que sucede con la Perdiz Nival.

Tabla 6. Clasificación de favorabilidad del uso del suelo para el Gorrión Alpino y la Perdiz Nival.

ESPECIE	CLASIFICACIÓN SUELO	Observaciones	Favorables	No Favorables	% de Favorabilidad Del uso del suelo
Gorrión alpino	SIOSE 2005	21	21	0	100%
	SIOSE 2014	25	24	1	96%
Perdiz Nival	SIOSE 2005	273	264	9	96,7%
	SIOSE 2014	140	135	5	96,4%

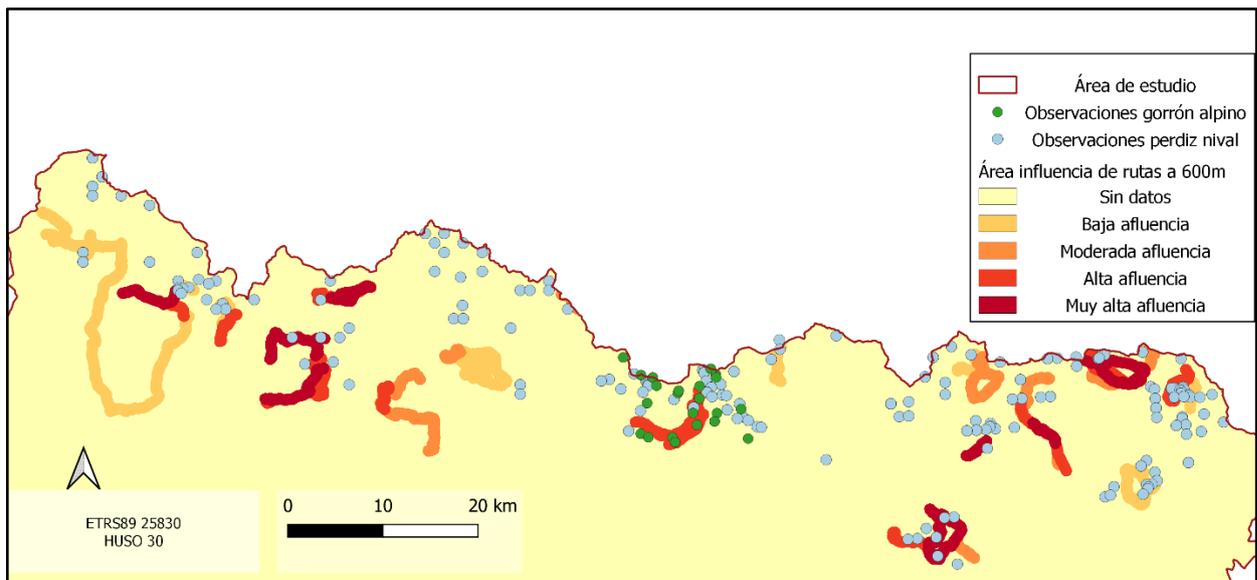


Figura. 24. Área de influencia de 600 m de las rutas más realizadas para el Gorrión Alpino y la Perdiz Nival.

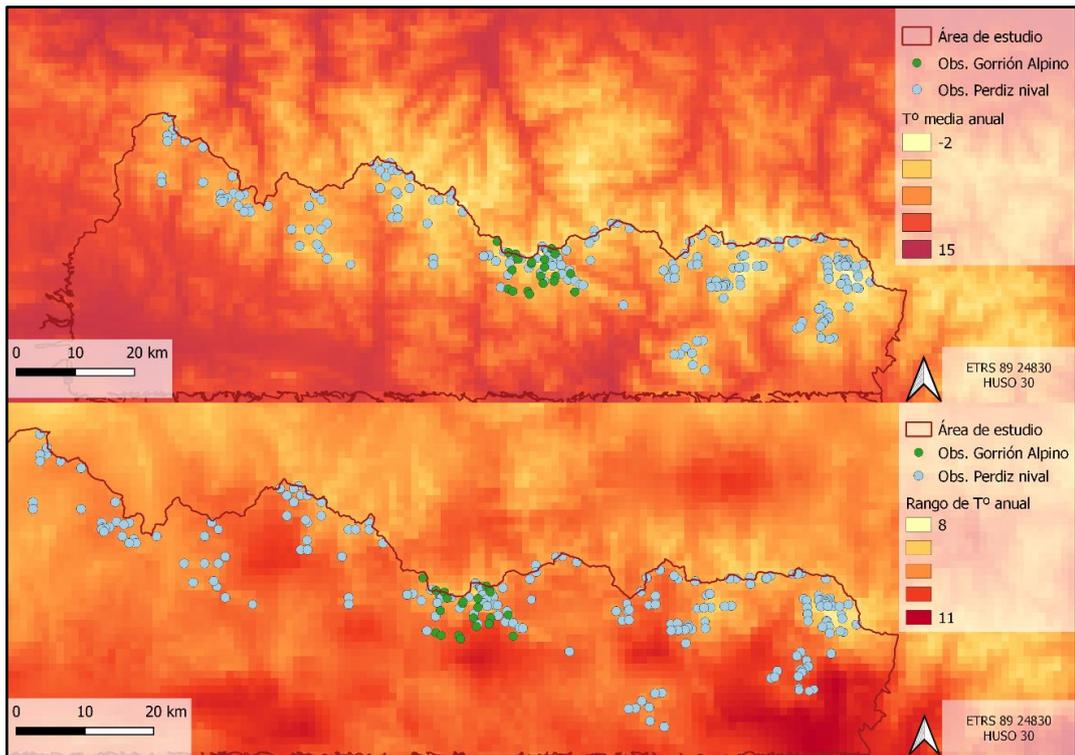


Figura. 25. Variables climáticas y du distribución en el área de estudio

Nota Figura 25: En el mapa superior se muestra la temperatura media anual de (1970-2000). Y en el mapa inferior se muestra el Rango de temperatura anual, calculado a partir de la diferencia entre las temperaturas máximas y las mínimas. Se observa en la misma, cómo las observaciones del gorrión alpino y la perdiz nival se sitúan en las zonas menos cálidas del área de estudio, resultado de una distribución altamente altitudinal.

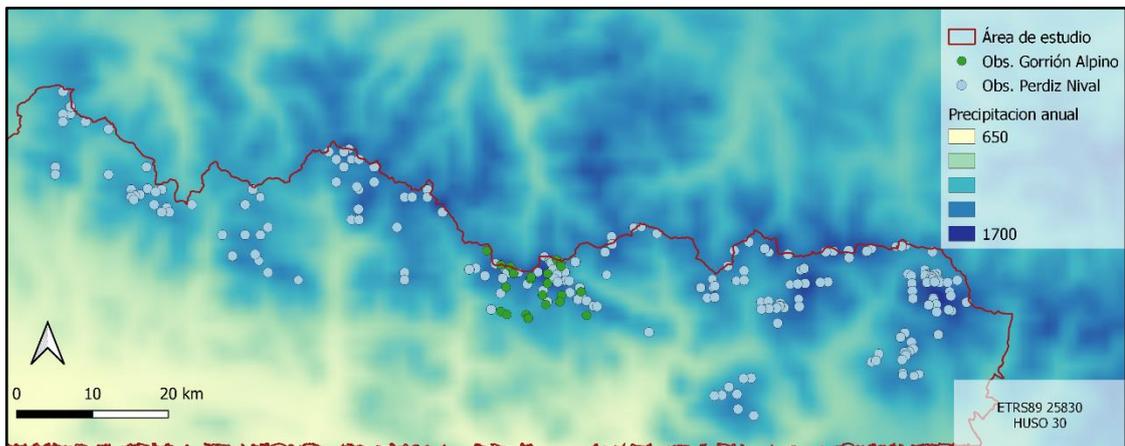


Figura. 26. Precipitación anual (en mm) en el área de estudio

Nota Figura 26: La distribución de observaciones para ambas especies se sitúan en las zonas con una precipitación anual de entorno a 1500 mm.

4.2 Resultados: Generación de modelos

4.2.1 Correlación entre variables

Primero se ha obtenido la correlación entre las variables de cada modelo. Las siguientes figuras muestran la relación de las variables entre sí para cada uno de los modelos.

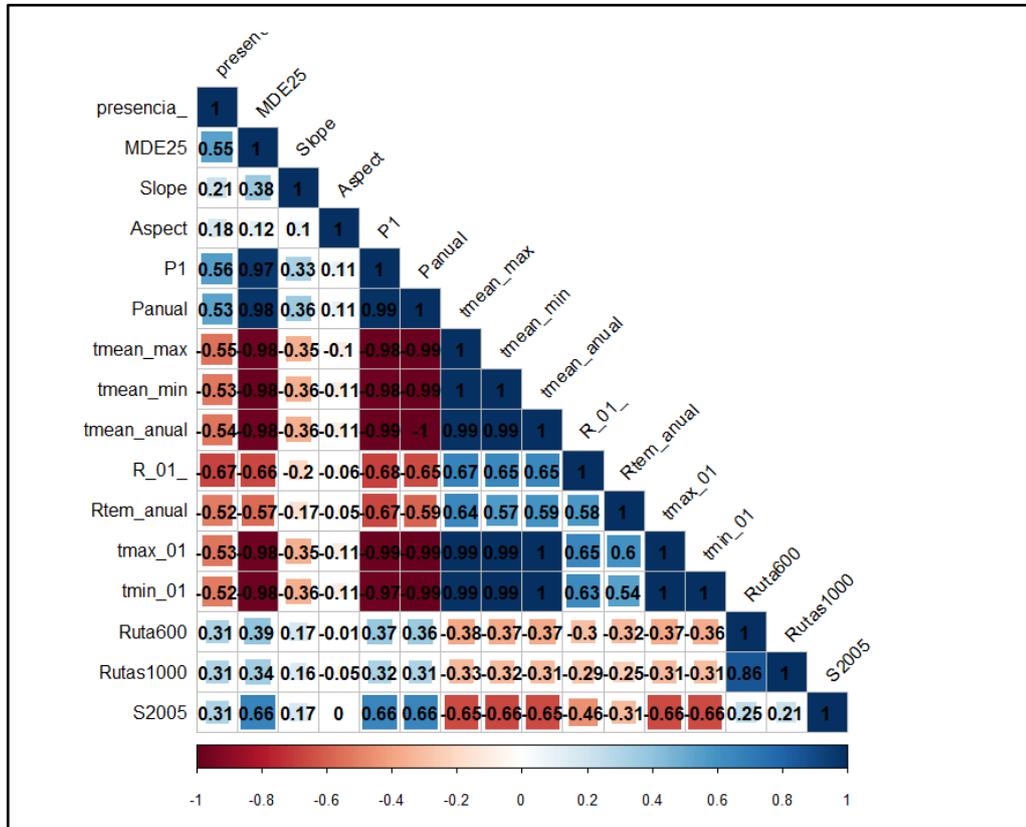


Figura. 27. Correlación de variables Modelo 1 Perdiz Nival.

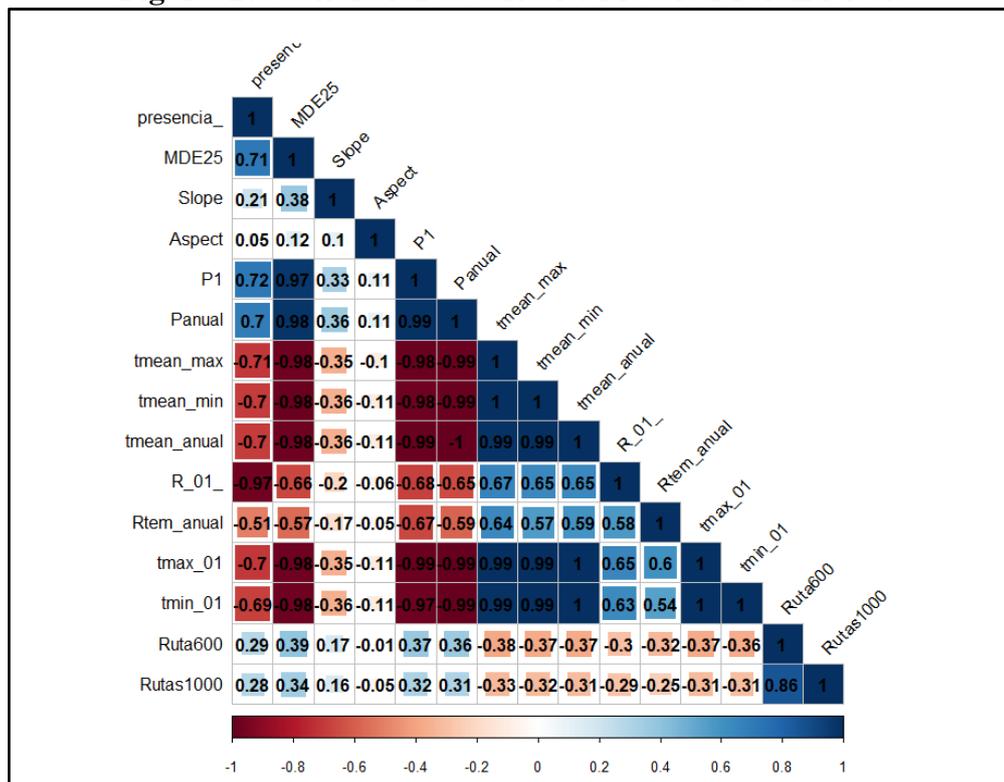


Figura. 28. Correlación entre las variables Modelo 2 Perdiz Nival

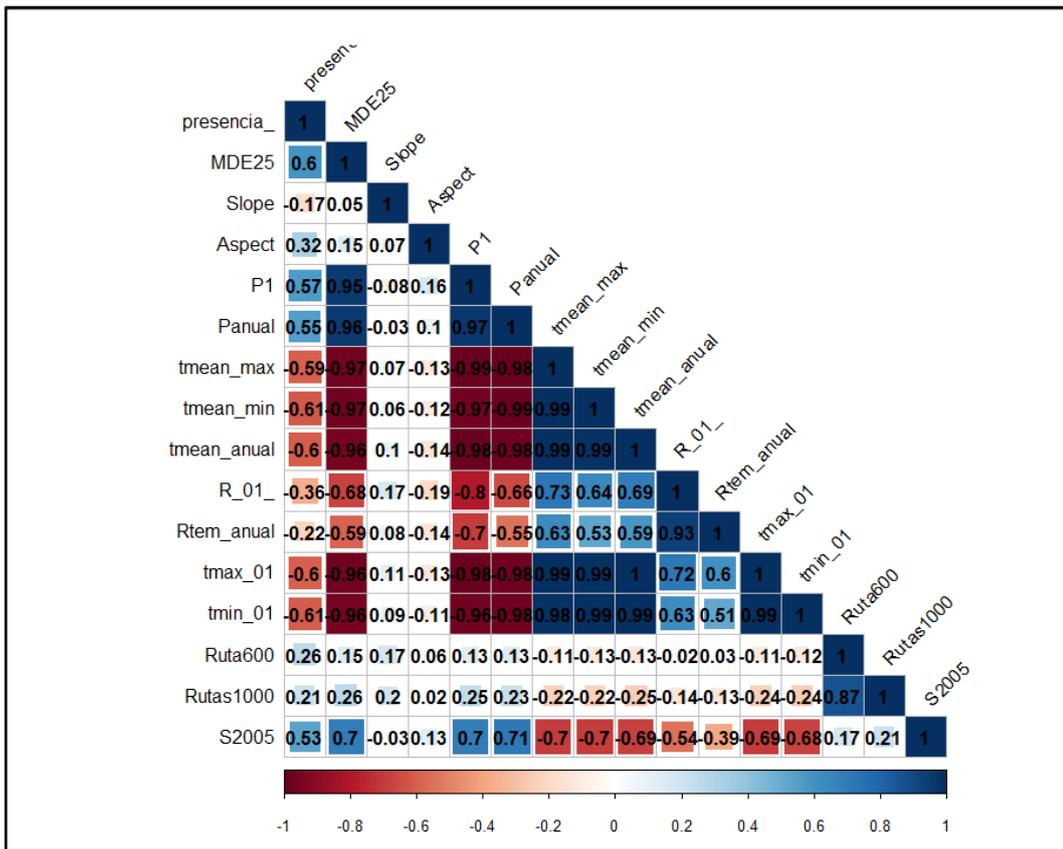


Figura. 29. Correlación entre variables Modelo 1 Gorrión Alpino

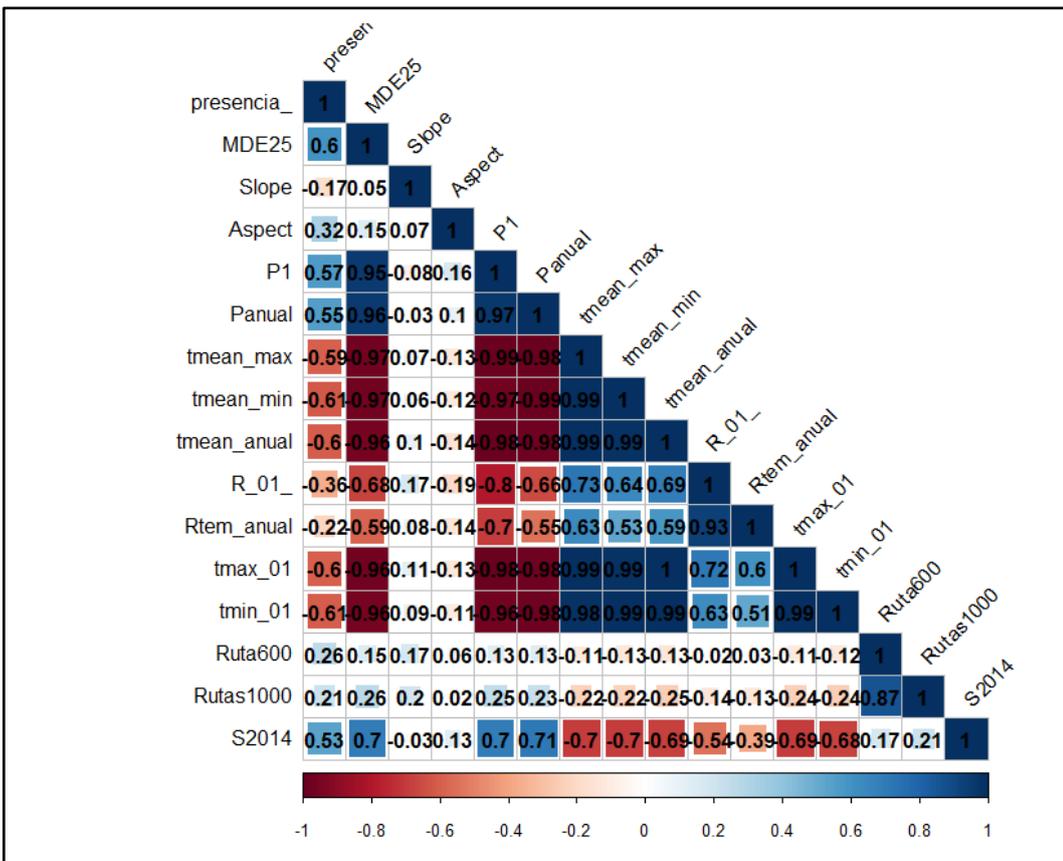


Figura. 30. Correlación Modelo 2 del Gorrión alpino

4.2.2 Elección de variables y generación del modelo

Modelo 1 Perdiz nival (Observaciones 1953-2005)

En base a la Figura 25, que muestra la correlación entre las variables y el umbral establecido en el apartado de metodología, de elección de variables que no posean fuerte correlación ($r > -0,5$ x $< 0,5$) se toman para este modelo y se obtiene la siguiente función:

$$\text{Presencia} = -2.74 + ((\text{Pendiente} * 0.006) + (\text{Orientación} * -0.0002) + (\text{Rutas600} * 0.05) + (\text{Rtemp_anual} * -0.79) + (\text{Panual} * 0.007) + (\text{S2005} * 0.91))$$

El p-valor de cada variable es:

Tabla 7: P-valor de cada variable del modelo.

Variable	p-valor
Pendiente	0.54
orientación	0.82
Rutas600	0.63
Rango temperatura anual	0.04
S2005	0.08
Panual	0.02

Modelo 2 Perdiz nival (Observaciones 2006-2019)

A partir de las correlaciones obtenidas para el Modelo 2 de Perdiz Nival se han elegido las que no poseen fuerte correlación, tal y como comentábamos en el apartado de metodología. A partir de ello se obtiene la siguiente función:

$$\text{Presencia} = -1.44 + ((\text{Pendiente} * 0.02) + (\text{Orientación} * 0) + (\text{Ruta600} * 0.25) + (\text{Ruta100} * 0.31))$$

El p-valor de cada variable es:

Tabla 8: P-valor de cada variable del modelo.

Variable	p-valor
Pendiente	0.004
Orientación	0.29
Rutas600	0.11
Ruta1000	0.080

Modelo 1 Gorrión Alpino (Observaciones 1986-2010)

Analizadas las correlaciones generadas para el Modelo 1 de Gorrión Alpino, se seleccionan las que no tienen fuerte correlación para generar el modelo. En base a ello obtenemos la siguiente función:

$$\text{Presencia} = -3.79 + (\text{Pendiente} * -0.02) + (\text{Orientación} * 0.007) + (\text{Rutas600} * 0.56) + (\text{Rutas100} * 0.001) + (\text{R}_01 * -4.72) + (\text{Rtemp_anual} * 3.56)$$

El p-valor de cada variable es:

Tabla 9: P-valor de cada variable del modelo.

Variable	p-valor
Pendiente	0.41
orientación	0.06
Rutas600	0.43
Ruta1000	0.98
R_01	0.43
Rtemp_anual	0.098

Modelo 2 Gorrión Alpino (Observaciones 2010- 2015)

En base a la Figura 28, que muestra la correlación entre las variables de Modelo 2 del Gorrión alpino y el umbral establecido en el apartado de metodología, de elección de variables que no posean fuerte correlación ($r > -0,5$ x $< 0,5$) y se obtiene el siguiente modelo:

$$\text{Presencia} = -2.29 + ((\text{Pendiente} * -0.01) + (\text{Rang temp 01} * -4.81) + (\text{Ruta600} * 0.67) + (\text{Rtem_anual} * 3.58) + (\text{Rutas1000} * -0.18))$$

Donde el p-valor de cada variable para este modelo es:

Tabla 10: P-valor de cada variable del modelo.

Variable	p-valor	Umbral de calidad
Pendiente	0.62	Calidad alta
Rango temperatura 01	0.01	Calidad baja
Rutas600	0.32	Calidad baja
Rango temperatura anual	0.08	Calidad baja
Rutas 1000	0.78	Calidad alta

Nota Figuras 7-8-9-10: Un p-valor bajo indica la probabilidad estadística de que el valor calculado sea una hipótesis nula cierta, por lo tanto, un p-valor pequeño indica una buena clasificación

A partir de las de las observaciones reservadas (25% de las observaciones de cada especie), se puede evaluar lo efectivo que es cada modelo para la clasificación de pixeles en presencia ausencia de cada una de las especies de cada modelo, la Tabla 11, muestra los resultados finales.

Tabla 11. Validación de modelos de las dos especies

Especie	Modelo	Observaciones	Valor predicho	Clasificación
PERDIZ NIVAL	Modelo 1	68	68	Favorable
			-	-
	Modelo 2	35	3	Poco Favorable
			27	No Favorable
Gorrión Alpino	Modelo 1	5	3	Poco Favorable
			2	No Favorable
	Modelo 2	6	5	Poco Favorable
			1	No Favorable

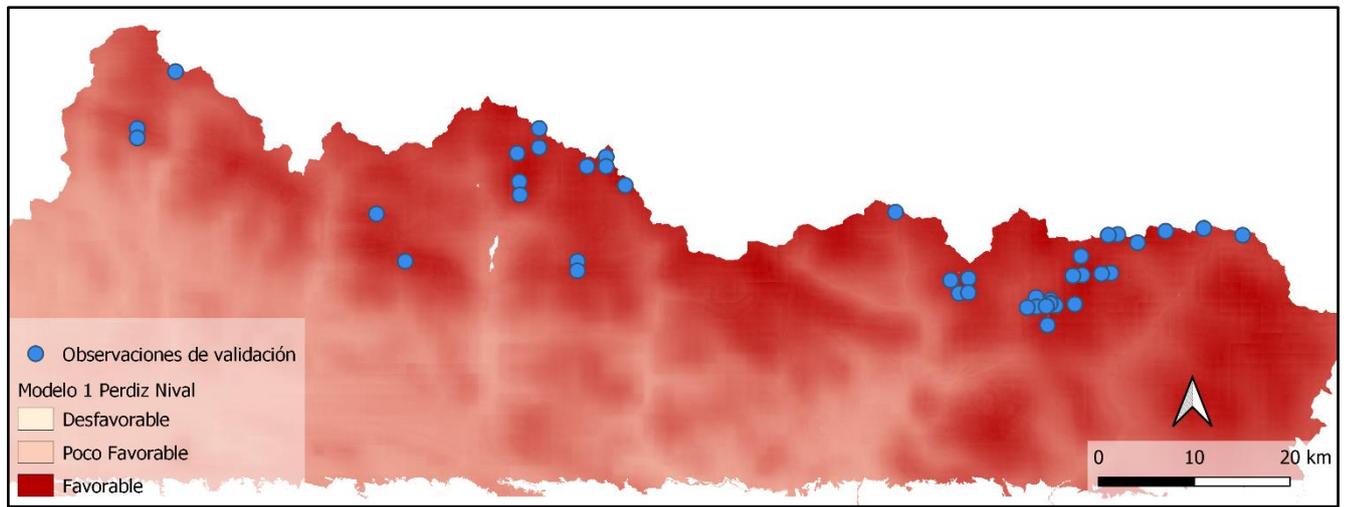


Figura. 31. Modelo 1 Favorable. de la distribución de la Perdiz Nival

5. CONCLUSIÓN

Este trabajo trata de analizar las variables que permiten la presencia del gorrión alpino y la perdiz nival. Y aunque la toma de datos referentes a estas dos especies no es de forma sistemática, nos ayudan a entender su distribución en función de los tres grandes ejes propuestos: topografía, uso del suelo y clima.

Por una parte, se ha analizado las variables que condicionan el hábitat de las dos especies y finalmente a partir de la misma, se ha intentado construir un modelo que explique la distribución y presencia de estas dos especies, objetivos propuestos a cumplir. Por ello las consideraciones finales son:

Siendo la altitud una variable de peso en la distribución de estas dos especies, la cota mínima para la perdiz nival se encuentra en 1500 metros, y su rango de altitud media entre 2300 y 2700 metros, llegando incluso a valores por encima de los 3000 metros. Para el gorrión alpino la cota mínima de altitud es superior que la de la perdiz nival, se encuentra en 1800 metros, y su distribución es más homogénea entre los 2200 y 2600 metros, sin superar los 3000 metros.

La pendiente y orientación son dos variables claves en el estudio de estas dos especies, tal y como se ha podido observar en la modelización de la distribución. Poseen una pendiente marcada, y distribuida en los rangos entre 20-30 y 30-40 grados de pendiente para el caso de la perdiz nival, existiendo observaciones con pendientes por encima de 50°. Y lo mismo ocurre con el gorrión alpino, muestra su distribución normal en pendientes entre 20 y 40 grados, y sus valores extremos de pendiente no superan los 60°. La orientación de estas dos especies es altamente direccional. Así el gorrión alpino concentra sus poblaciones en orientaciones Noreste y Sur y para el caso de la perdiz nival, se observa una clara delimitación hacia las direcciones Sur y Oeste.

El uso que se hace del territorio ha sido otro factor clave para determinar la distribución del gorrión alpino y la perdiz nival. La clasificación de las observaciones a partir del SIOSE 2005 y SIOSE2014 de las observaciones de cada una de las especies, muestra la evolución de zonas donde se ubican las especies. El aumento o disminución del volumen de observaciones sobre un determinado uso del suelo, puede ser un factor directo en la elección de ubicación por parte de las especies, pero solo podemos dar una respuesta aproximada, debido a que el volumen de observaciones no se ha realizado de forma sistemática. A sí mismo, cabe destacar la necesidad de generar información sobre el uso de suelo, con buena resolución espacial y sobre todo temporal. Otro tipo de estudios de este género, han optado por la utilización de la clasificación de uso del suelo europea, Corine Land Cover, pero debido a la escala de detalle de este estudio no se consideró apropiado. Además, el área de estudio es una zona formada gran parte, por lo que SIOSE clasifica como Imagen o Mosaico, zonas o polígonos formados por una gran variedad de cobertura, lo que dificulta su clasificación con herramientas de Teledetección, sin conocimiento previo de la zona.

En cuanto a la aproximación de cuantificar la afluencia de zonas de senderismo y su área de influencia ha sido una de las variables que más veces se ha repetido para la creación de cada uno de los modelos. Cabe destacar que este caso, como ya hemos mencionado es una aproximación, al no tener los datos absolutos del grado de afluencia. También es de mención, que las rutas seleccionadas para el estudio solo representan las tres más realizadas de cada sistema montañoso, es por ello por lo que parte del área de estudio se queda sin cubrir. Sería interesante trabajar con todos los datos de rutas, no tan solo de la clasificación de senderismo, para así poder albergar toda la información asociada existente pero no puesta en disposición por parte de organismos públicos.

El clima y precipitación del área de estudio, se encuentra altamente correlacionado con la presencia y ausencia del gorrión alpino y la perdiz nival, sobre todo con la temperatura del hábitat sobre el que se asientan.

Respecto al segundo objetivo del trabajo, de crear modelos que expliquen la distribución de presencia y ausencia de las dos especies, éste se realiza mediante el estudio de la correlación de las variables independientes y la dependiente (presencia). La validación del modelo, mediante puntos de verdad terreno, permite evaluar la calidad del resultado. El modelo que mejor ha funcionado en la perdiz nival ha sido el modelo 1, prediciendo como favorable las 68 observaciones reservadas de las totales de la especie. En cuanto a los modelos del Gorrión Alpino, no son capaces de predecir los valores, por lo tanto, éstos no funcionan para describir la presencia o ausencia de la especie, una posible explicación bajo volumen de observaciones para esta especie y la concentración de estas en una zona, buscando la predicción de un área mucho más amplia sin poseer una distribución homogénea en el territorio. Se debe tener en cuenta, que la predicción de estos modelos está muy vinculada al volumen de observaciones disponibles, es por ello por lo que el modelo con mayor número de observaciones distribuidas homogéneamente por toda el área de estudio ha sido el Modelo 1, con una tasa de éxito del 100%.

En conclusión, la capacidad de predicción de los modelos depende del volumen de observaciones disponibles, de la distribución de forma homogénea por el área de estudio, la calidad de las variables independientes y la función utilizada, en este caso el Modelo Lineal Generalizado, es lo que en definitiva determina la calidad del modelo generado.

En base a la necesidad del estudio y monitorización del gorrión alpino y la perdiz nival se ha realizado este trabajo, la generación de información sobre especies de interés es de esencial importancia. La recogida de información respecto estas dos especies, de forma sistemática para poder analizar su distribución y contemplar escenarios futuros para los mismos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Amat.Rodrigo (2016) Correlación lineal y Regresión lineal simple. Recuperado 1 de septiembre de 2020, de https://www.cienciadedatos.net/documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal

Araújo, M.B., Guilhaumon, F., Rodrigues Neto, D., Pozo Ortego, I., Gómez Calmaestra, R., (2011). Impactos, vulnerabilidad y adaptación de la biodiversidad española frente al cambio climático. 2. Fauna de vertebrados. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, 640 pp

Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D. T., Lobo, J. M., Millán, A., & Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3), 79-84. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.10>

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* 15:365-377.

Cramp, S., Perrins, C.M. (Eds.), (1994). Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa. The Birds of the Western Palearctic. Volume VIII. Crows to Finches. Oxford University Press, Oxford.

- Canut, J. & Toldra, X. (2004). Pardal d'ala blanca *Montifringilia nivalis*. En: Estrada, J., Pedrocchi, V., Brotons, L. & Herrando, S. (Eds.) *Atles dels ocells nidificants de Catalunya 1999-2002*. Pp. 510-511-Institut Català d'Ornitologia (ICO)/Lynx Edicions, Barcelona.
- De Juana, E., Kirwan, G. M., Garcia, E. F. J. (2019). Rock Ptarmigan (*Lagopus muta*). En: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D. A., de Juana, E. (Eds.). *Handbook of the Birds of the World Alive*. Lynx Edicions, Barcelona. <https://www.hbw.com/node/53324prove>
- Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D. & Jiguet, F., (2007). French birds lag behind climate warming. Available from Nature Precedings. Recuperado 10 de agosto de 2020, de: https://www.researchgate.net/publication/36789129_French_birds_lag_behind_climate_warming
- Duarte, C. M., & Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España) (Eds.). (2006). *Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- ETN (Equipo Técnico Nacional) SIOSE. 2011a. Manual de Fotointerpretación SIOSE - Versión 2. D.G. Instituto Geográfico Nacional. Servicio de Ocupación del Suelo. S.G de Cartografía.
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- Grangé, J.L., (2008). Biologie de la reproduction de la Niverolle alpine *Montifringilla nivalis* dans les Pyrénées occidentales françaises. *Nos Oiseaux*, 55: 67-82.
- Gael, G., Gil, J. A., Marty, E., Mossoll-Torres, M., Martínez, C., Pérez, J. (2014). El lagópodo alpino en el Pirineo central: estudio preliminar de su hábitat y distribución. En: posters XXII Congreso Español de Ornitología, del 6 al 9 de diciembre de 2014. SEO/BirdLife & Caixa Forum.
- Geoportal SIOSE.. Recuperado 10 de septiembre de 2020, de <https://www.siose.es/>
- Gil, J. A., & Pérez, C. (2018). Distribución, hábitat y población reproductora del gorrión alpino (*Montifringilla Nivalis*) en el Pirineo Central (Aragón-España). *Pirineos*, 173(0), 039. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2018.173006>
- Global climate and weather data—WorldClim 1 documentation. (s. f.). Recuperado 10 de agosto de 2020, de <https://www.worldclim.org/data/index.html>
- Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). Recuperado 8 de septiembre de 2020, de <https://www.ign.es/web/ign/portal>
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza, 34p.

IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Longares, L.A. (2003) Zoogeografía ecológica del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en Aragón: Análisis y valoración de los factores ecogeográficos en relación con la reproducción. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.

Martínez-Vidal, R., Canut, J., Nieto, X., Isern, P., Roig, J. (2011). Perdiu blanca. *Lagopus muta*. Pp. 150-151. En: Herrando, S., Brotons, L., Estrada, J., Guallar, S., Anton, M. (Eds.). *Atles dels ocells de Catalunya a l'hivern 2006-2009*. Institut Català d'Ornitologia/Lynx Edicions, Barcelona

McKinney, M.L. (1997). Extinction vulnerability and selectivity: combining ecological and paleontological views. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28:495-516.

Williams, S.E., Shoo, L.P., Isaac, J.L., Hoffmann, A.A., Langham, G. (2008). Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *Plos Biology* 6:2621-2626.

Wikiloc | Rutas del Mundo. (s. f.). Wikiloc | Rutas del Mundo. Recuperado 7 de septiembre de 2020, de <https://es.wikiloc.com>

WWF, (1992) S. Can nature survive global warming? World Wildlife Foundation