



Fundación Interuniversitaria
Fernando González Bernáldez
PARA LOS ESPACIOS NATURALES

INTEGRACIÓN DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PLAN RECTOR DE USO Y GESTIÓN DEL PAISAJE PROTEGIDO DE LA SIERRA DE SANTO DOMINGO

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y ESCENARIOS
CLIMÁTICOS

DICIEMBRE 2017

CON EL APOYO DE:



INTEGRACIÓN DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PLAN RECTOR DE USO Y GESTIÓN DEL PAISAJE PROTEGIDO DE LA SIERRA DE SANTO DOMINGO

Equipo redactor: Cristina Esteban y José Antonio Atauri
Oficina Técnica EUROPARC-España
Fundación Fernando González Bernáldez
ICEI Edificio A. Campus de Somosaguas
28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid)
Madrid, 19 de diciembre de 2017

Este documento ha sido redactado por la Oficina Técnica de EUROPARC-España en el contexto del proyecto “Promover la adaptación al cambio climático en la gestión de las áreas protegidas de España”, Convocatoria de Ayudas 2016 para la realización de proyectos en materia de adaptación al cambio climático de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica

El objetivo del proyecto es promover la incorporación de criterios de adaptación al cambio climático en la redacción de planes de gestión de áreas protegidas, mediante la aplicación del Manual 13 de EUROPARC España en varios casos piloto.

El paisaje protegido de la Sierra de Santo Domingo, por su interés como zona de transición entre diferentes pisos bioclimáticos y por estar inmerso en el proceso de redacción de su primer Plan Rector de Uso y Gestión, ha sido seleccionado como uno de estos casos piloto. A través de esta acción del proyecto, y de forma coordinada con la Administración responsable, se proporcionarán materiales y pautas de utilidad para la correcta incorporación de la adaptación al cambio climático en las diferentes fases de redacción del PRUG (diagnóstico, formulación de objetivos, propuesta de medidas e indicadores de seguimiento y evaluación)

Este primer informe contiene las propuestas en relación al diagnóstico climático, los modelos de cambio climático y los efectos de los mismos en términos bioclimáticos.

Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de los autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.

CONTENIDO

1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA SIERRA DE SANTO DOMINGO	3
1.1. Caracterización climática de Aragón.....	3
1.2. Descripción del clima actual del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo.	4
1.3. Análisis de series de datos de estaciones climatológicas cercanas al paisaje y tendencias.	5
1.4. Descripción del clima actual del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo desde una perspectiva bioclimática.	8
2. ESCENARIOS CLIMÁTICOS.....	11
2.1. Escenarios climáticos en 2050 y su relación con cambios en las formaciones vegetales.	16

1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA SIERRA DE SANTO DOMINGO

El objetivo principal de esta caracterización climática es describir el clima actual de forma concisa pero precisa (temperaturas medias, máximas, mínimas, precipitación, duración y frecuencia de eventos extremos) a la vez que aportar evidencias que revelen tendencias de cambio en el clima, en particular, series temporales largas, procedentes de estaciones meteorológicas cercanas (EUROPARC- España, 2017).

1.1. Caracterización climática de Aragón.

Según la información ofrecida por el *Atlas Climático de Aragón* (López et. al, 2007), Aragón, por su situación latitudinal, quedaría incluido dentro del denominado clima Mediterráneo continentalizado, caracterizado por unas escasas precipitaciones, localizadas fundamentalmente en primavera y otoño, y un claro ritmo térmico anual, con veranos cálidos e inviernos frescos (López et. al, 2007).

Las diferencias en latitud entre los extremos septentrional y meridional de la Comunidad y las distintas influencias que ejercen el Cantábrico y el Mediterráneo o las masas continentales Euroasiática y Africana, introducirían algunas matizaciones en esa primera categorización. Sin embargo, no podemos dejar de lado que es la configuración topográfica de la región el elemento que condiciona las variaciones más importantes en los caracteres climáticos (López et. al, 2007).

El clima de transición Mediterráneo–Oceánico lo encontramos en las Altas Cinco Villas. Las precipitaciones son abundantes, superiores a los 1.000 mm anuales en muchas zonas, si bien en el entorno del embalse de Yesa y en el fondo del valle del río Aragón los totales recogidos apenas superan los 800 mm. Las temperaturas estivales se suavizan en relación con la elevada altitud media hasta quedar en julio y agosto entre los 20 y 22 °C, aunque no es extraño encontrar jornadas calurosas en el fondo de la depresión, mientras que el frío se deja sentir con intensidad en invierno, matizado cuando es mayor la circulación zonal sobre la Península (López et. al, 2007)

Tendencia de las temperaturas medias en Aragón.

La proyección espacial sobre Aragón, de las tendencias calculadas para las temperaturas medias anuales en más de 100 observatorios durante el periodo 1950-2000, da como resultado una cartografía en la que se observa cómo, en todos los casos, los promedios anuales muestran tendencias positivas, que oscilan entre un exiguo valor de +0,05 °C/década a magnitudes que rozan los +0,25 °C/década. Sin embargo, la mayor proporción superficial del territorio ofrece tendencias positivas para las temperaturas de entre +0,10 y +0,20 °C/década, que implicarían un incremento térmico en 50 años de entre +0,5 y +1 °C (López et al., 2007).

Estacionalmente son invierno (diciembre, enero y febrero) y verano (junio, julio y agosto), los periodos que muestran tendencias positivas de las temperaturas más acusadas, que llegan a superar los +0,35 °C /década en algunas zonas del Pirineo más occidental. En primavera y otoño la señal que ofrece la tendencia de las

temperaturas medias es menos definida, predominando los valores positivos en el sector central de la región y llegándose incluso a observar tendencias negativas en algunos sectores (López et al., 2007).

Tendencia de la precipitación total en Aragón.

Las tendencias observadas durante la segunda mitad del siglo XX son negativas para todo el territorio aragonés, oscilando entre descensos inferiores a los -6 mm/ década en el extremo noroccidental de la Comunidad Autónoma, hasta valores que superarían los -27 mm/década en el Pirineo Central y Oriental y en la Sierra de Albarracín. Gran parte de Aragón ofrece unas tendencias negativas durante el periodo 1950-2002 de entre -12 y -15mm/década (López et al., 2007).

1.2. Descripción del clima actual del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo.

El análisis de los datos climáticos ofrecidos por el Atlas climático digital de Aragón¹ (tabla 1), permite describir en detalle el clima actual del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo. A continuación se muestran los datos mensuales de precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima para cada una de los tres municipios (Longás, Biel y Luesia) que componen el Paisaje:

Tabla 1: datos correspondientes al clima actual (precipitación, temperatura media, máxima y mínima) de los municipios de Longás, Biel y Luesia, extraídos del Atlas Climático Digital de Aragón.

Mes	LONGÁS (840 m.s.n.m)				BIEL (760 m.s.n.m)				LUESIA (810 m.s.n.m)			
	Pp (mm)	T media (°C)	Tm máx (°C)	Tm mín (°C)	Pp (mm)	T media (°C)	Tm máx (°C)	Tm mín (°C)	Pp (mm)	T media (°C)	Tm máx (°C)	Tm mín (°C)
Enero	76,73	3,72	7,86	-0,41	70,02	4,15	8,50	-0,19	73,15	1,78	4,75	-1,19
Febrero	66,09	4,84	8,95	0,72	58,79	5,43	10,12	0,74	63,20	3,36	7,32	-0,60
Marzo	51,47	7,23	12,17	2,28	46,64	8,08	13,76	2,40	52,55	6,47	12,06	0,89
Abril	82,85	8,42	13,12	3,71	80,59	9,54	15,16	3,92	82,54	8,20	14,03	2,38
Mayo	90,14	11,98	17,65	6,30	85,92	13,69	19,96	7,42	94,07	12,20	17,65	6,48
Junio	66,31	16,38	22,75	10,02	64,52	17,69	24,73	10,65	64,40	16,71	22,75	10,40
Julio	35,56	20,04	27,32	12,77	29,79	21,46	29,32	13,60	29,81	21,46	27,32	13,19
Agosto	49,38	20,14	27,30	12,97	42,45	21,46	29,15	13,77	42,45	20,42	27,42	13,42
Septiembre	64,82	16,56	23,01	10,11	59,33	17,68	24,47	17,68	61,71	16,57	22,71	10,44
Octubre	91,52	11,96	17,07	6,85	85,50	12,90	18,38	12,90	93,49	11,90	16,72	7,08
Noviembre	89,05	11,65	11,65	3,06	85,15	7,99	12,41	7,99	92,60	6,24	9,22	3,26
Diciembre	97,53	4,70	8,58	0,82	91,46	5,32	9,41	5,32	93,66	3,46	5,98	0,95

¹ Fuente: <http://anciles.aragon.es/AtlasClimatico/>

re												
TOTAL	861,51	11,11	16,45	5,77	800,21	12,12	17,95	6,28	844,18	10,64	15,73	5,56

A partir de estos datos extraídos del Atlas Climático Digital de Aragón se puede definir el régimen térmico y pluviométrico:

Tabla 2: régimen térmico y pluviométrico de los 3 municipios que forman el paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo (Fuente: elaboración propia a partir del análisis realizado por el Plan de Ordenación de Montes de Cosuenda, Zaragoza)

Régimen térmico	Régimen pluviométrico
Temperatura media anual: 10,64 °C a 12,2 °C Mes más cálido: Julio 29,32°C Mes más frío: Enero -1,19 °C a -0,41 °C Temperatura máxima absoluta: 41,11º (Longás), 40.92º (Biel), 41.25º (Luesia) Temperatura media de las máximas: 17,95 °C a 15,73 °C Temperatura Mínima absoluta: -14.12957º(Longás), -12.91º (Biel), -12.99º (Luesia) Temperatura media de las mínimas: 6,28 °C a 5,56 °C Meses con temperatura media inferior a 6 °C (parón vegetativo por frío): diciembre, enero y febrero (3 meses) Días de helada: 70.59 (Longás), 54.67 (Biel), 53.89 (Luesia).	Mes más lluvioso: Diciembre en Longás y Biel y Mayo en Luesia Mes más seco: Julio Precipitación en invierno: 240 - 230 mm Precipitación en primavera: 224 - 189 mm Precipitación en verano: 151 - 137 mm Precipitación en otoño: 248 - 245 mm Estación más lluviosa: Otoño Estación más seca: Verano Precipitación máxima en 24 h.: 125.41 (Longás), 122.07 (Biel), 116.37 (Luesia) Días de precipitación: 77.58 (Longás), 71.27 (Biel), 70.43 (Luesia)

1.3. Análisis de series de datos de estaciones climatológicas cercanas al paisaje y tendencias.

En función de la información disponible, los datos utilizados para la caracterización climática del Paisaje Protegido Sierra de Santo domingo provienen, de dos fuentes principales:

- Estación termopluviométrica de Biel:** según la información que aparece en la página web del Instituto Aragonés de Estadística, la estación comenzó a funcionar en 1928 y finalizó su actividad en 2014 (a Febrero de 2015), contándose con información completa referente a un total de 59 años.
- También se han analizado algunos datos provenientes de la estación meteorológica de **Uncastillo**, situado a una menor altitud que Biel y próximo a este en distancia (a 27 km)

Estas dos estaciones están localizadas en la vertiente sur de la Sierra de Santo Domingo. Por el momento no se cuenta con serie de datos meteorológicos de alguna estación situada en la vertiente “norte” de la Sierra, en el municipio de Longás o cercano a él.

Por tanto, partiendo del análisis de las series de datos disponibles, se observan los siguientes resultados:

1. Temperatura media anual, por año disponible.

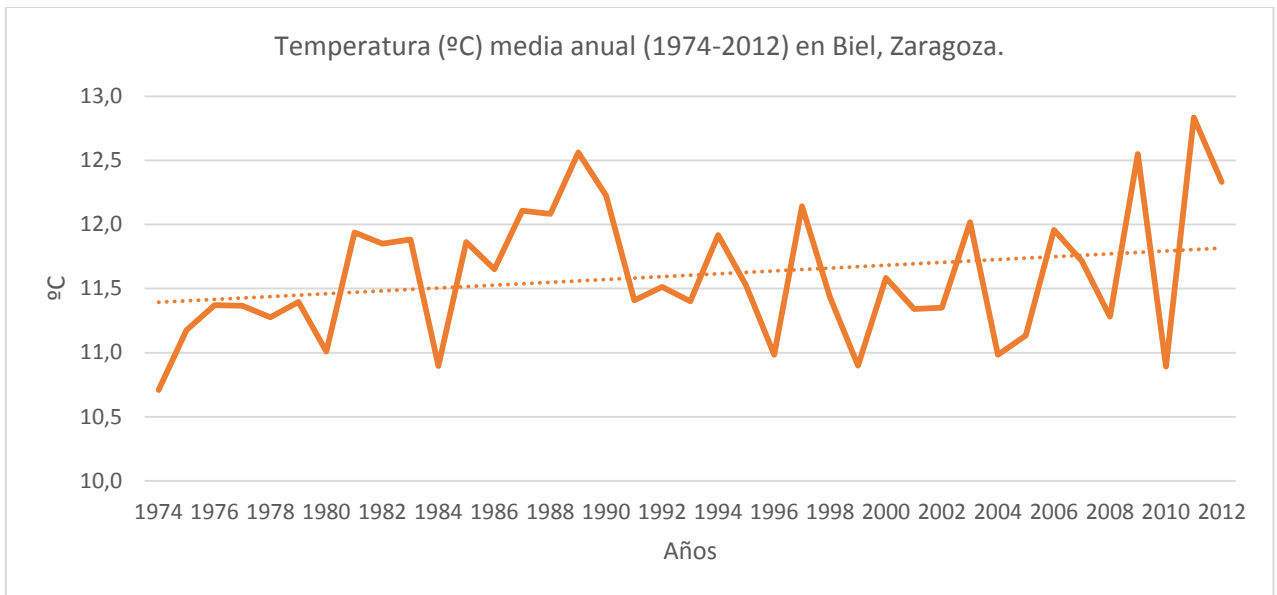


Figura 1: evolución de la temperatura media anual a lo largo del periodo analizado (1974- 2012), donde se aprecia una tendencia de un aumento de más de 0,5º en aproximadamente 4 décadas.

En cuanto a la temperatura media anual, como puede observarse en la figura 1, la tendencia de la serie de datos analizados, muestra que desde 1974 a 2012, las temperaturas registradas, aumentaron algo más de 0,5 Cº. Esta tendencia está en la línea de los datos ofrecidos por el *Atlas Climático de Aragón* que hablan de que la mayor proporción superficial del territorio (de Aragón) ofrece tendencias positivas para las temperaturas de entre +0,10 y +0,20 °C/década, que implicarían un incremento térmico en 50 años de entre +0,5 y +1 °C (López et al., 2007).

2. Temperaturas medias anuales de las **mínimas mensuales**, por año disponible².

A continuación se muestra el análisis de la tendencia en la temperatura media anual de las mínimas mensuales en el municipio de Biel, situado a 720 m.s.n.m y en el del Uncastillo, localizado a una distancia de 27 km de Biel y a 601 m.s.n.m.

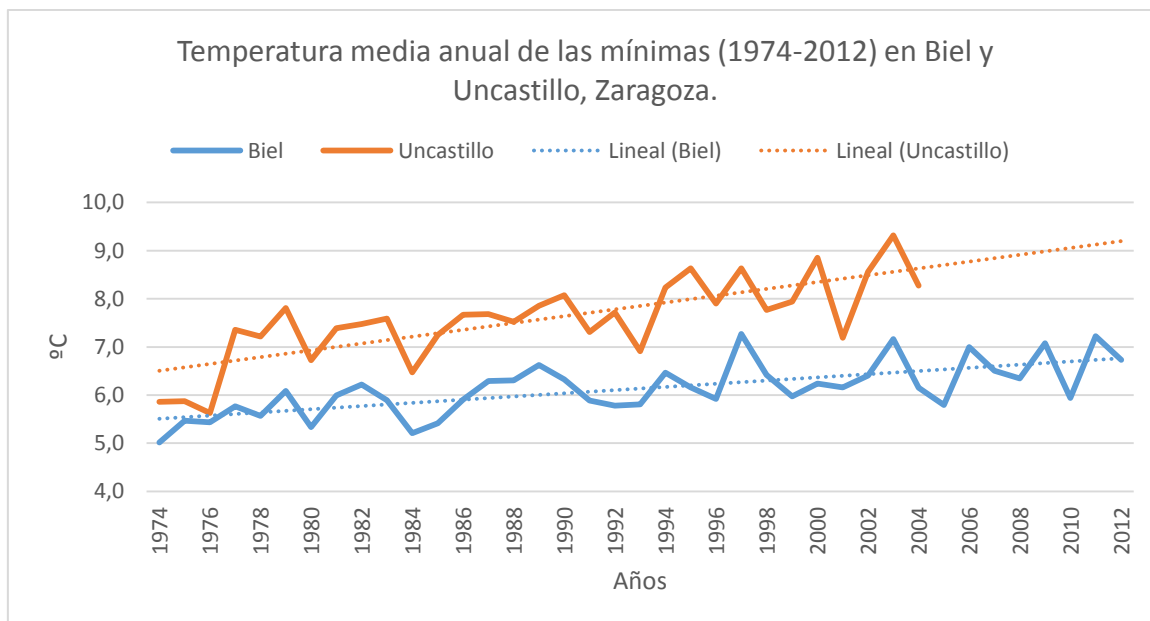


Figura 2: comparación entre la evolución de la temperatura media anual de las mínimas en Biel y en Uncastillo durante el periodo 1974-2012. Se observa que en ambos casos la tendencia ha sido a un aumento progresivo de las temperaturas mínimas, que en el caso de Uncastillo ha sido de aproximadamente de 2°C.

Como se observa en la gráfica, los datos meteorológicos recogidos en Biel ponen de manifiesto que durante el periodo comprendido entre 1974- 2012, la tendencia de las temperaturas mínimas anuales fue la de aumentar algo más de 1Cº en un periodo de 38 años. Comparándolo con la gráfica anterior (figura 1), referente a las temperaturas medias anuales, se observa como el aumento de las temperaturas mínimas es más acusado, para el mismo periodo de tiempo analizado. En cuanto a los datos procedentes de la estación meteorológica de Uncastillo, situada a menor altitud que la estación meteorológica de Biel (601m.s.n.m frente a 720 m.s.n.m. respectivamente), la tendencia en las temperaturas mínimas anuales durante el periodo comprendido entre 1974 y 2004 fue la de aumentar, siendo este aumento ligeramente mayor que en Biel, de aproximadamente 2 °C frente a algo más de 1 °C de Biel.

² Fuente: Instituto Aragonés de Estadística:
http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia/ci.05_Clima_Datos_climatologicos.detalleDepartamento?channelSelected=0

3. Precipitación anual.

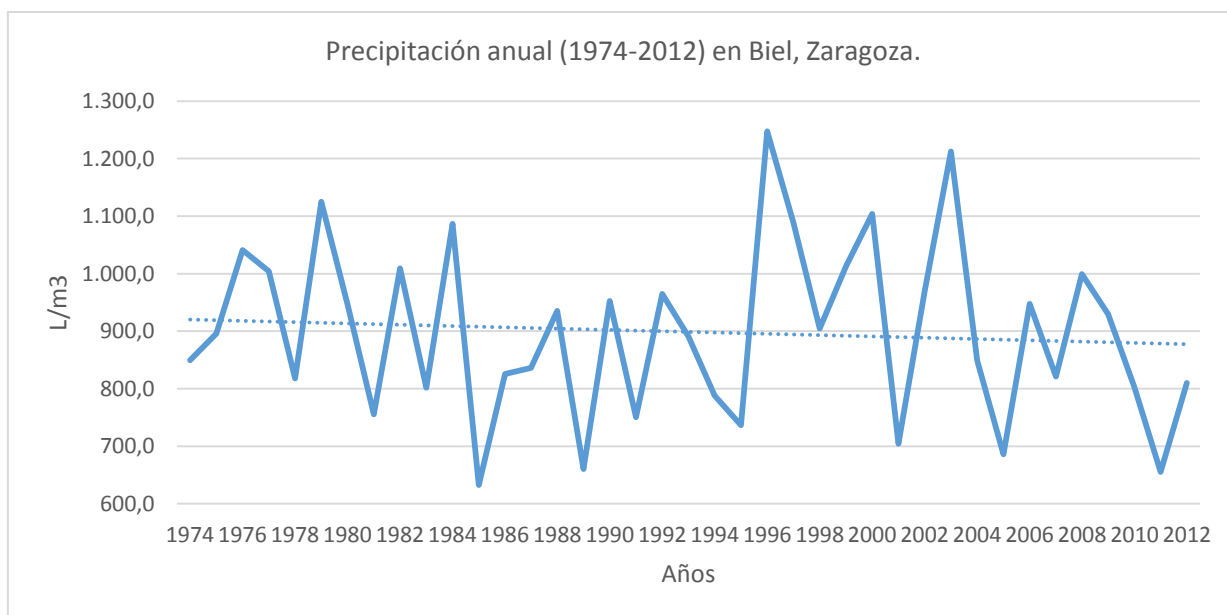


Figura 3: evolución de la precipitación anual a lo largo del periodo 1974- 2012 en Biel. Como puede observarse la tendencia es un ligero descenso de las precipitaciones.

Como se observa en la gráfica, la precipitación anual a lo largo del periodo 1974- 2012, disminuyó ligeramente (aproximadamente unos 50 mm en casi 4 décadas, es decir, 12,5 mm/década). Esta tendencia coincide con los resultados del *Atlas Climático de Aragón* que comenta que gran parte de Aragón ofrece unas tendencias negativas durante el periodo 1950-2002 de entre -12 y -15mm/década (López et al., 2007).

1.4. Descripción del clima actual del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo desde una perspectiva bioclimática.

A partir de los datos climáticos extraídos del Atlas Climático Digital de Aragón que se muestran en la tabla 1, y con el objetivo de poder describir el clima actual desde una perspectiva bioclimática, es decir, describir la relación de las variables climáticas con la distribución de los tipos de ecosistemas o vegetación y valorar la relevancia del lugar desde el punto de vista bioclimático haciendo referencia a los pisos bioclimáticos y su relación con la vegetación (EUROPARC- España, 2017), se ha calculado el *Índice de Termicidad* (It) de Rivas- Martínez (Rivas-Martínez, 1983,1987) para el territorio que forma parte del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo, como se muestra a continuación:

Pisos bioclimáticos (Rivas-Martínez).

El Índice de termicidad (It) de Rivas- Martínez (Rivas- Martínez, 1987) se calcula de la siguiente manera:

$$It = (T + m + M) \times 10$$

- T= temperatura media anual
- m= media de las mínimas del mes más frío
- M= media de las máximas del mes más frío

Teniendo en cuenta esta fórmula y aplicando los datos que se muestran en la Tabla 1, se obtienen los siguientes pisos bioclimáticos y ombroclimas (Rivas- Martínez, S., 1987) (Tabla 3).

Tabla 3: cálculo del índice de termicidad para el territorio que compone el Paisaje Protegido. Están presentes dos pisos bioclimáticos, el supramediterráneo inferior (donde se incluyen Biel y Longás) y el supramediterráneo medio, donde se enmarcaría Luesia.

	Tm anual °C	Pp anual mm	Tm de las mínimas del mes más frío °C	Tm de las máximas del mes más frío °C	Índice de termicidad	Piso bioclimático ³	Ombroclima ³
Biel (vertiente Sur)	12,12	800,21	-0,19	8,5	204.3*	Supramediterráneo inferior	Subhúmedo
Longás (vertiente Norte)	11,11	861,51	-0,41	7,86	185.6	Supramediterráneo inferior	Subhúmedo
Luesia	10,64	844,18	-1,19	4,75	142	Supramediterráneo medio	Subhúmedo

En general, en el piso supramediterráneo los inviernos son particularmente rigurosos y largos y los ecosistemas maduros tienen todos carácter forestal (encinares, quejigares, robledales, hayedos, etc.). Es el piso mediterráneo español de vocación forestal y ganadera por autonomía (Rivas- Martínez, 1987).

En el caso concreto del Paisaje Protegido de Santo Domingo, como puede observarse en el mapa de la figura 4, aunque los tres municipios que conforman el Paisaje Protegido se enmarcan dentro del piso supramediterráneo, Biel y Longás se encuentran en el piso bioclimático supramediterráneo inferior mientras que Luesia se corresponde con un supramediterráneo superior, es decir, de inviernos más fríos. Por otra parte, es interesante destacar, desde el punto de vista de cómo se relacionan las variables climáticas con el tipo de

³ Fuente: Memoria del mapa de series de vegetación de España. Rivas- Martínez, S. 1987.

vegetación presente en el Paisaje, que atendiendo a la clasificación de Rivas- Martínez, tanto Lóngás como Biel, tienen un índice de termicidad con unos valores muy próximos al piso mesomediterráneo superior (valores entre 211y 260) y , con unas temperaturas medias anuales más cálidas que el piso supramediterráneo.

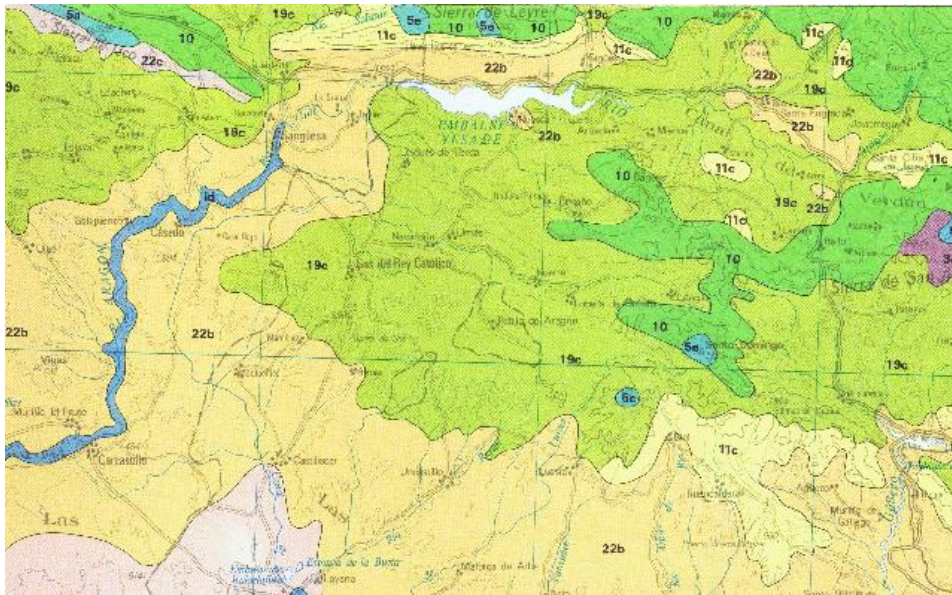


Figura 4: mapa de las series de vegetación de España (Rivas- Martínez, 1987). Se observa que prácticamente todo el Paisaje Protegido se encuentra enmarcado en el piso bioclimático supramediterráneo, siendo la serie 19c, correspondiente al quejigar, su óptimo. La serie 5c corresponde a la serie termófila del haya.

Esta información se complementa con el mapa de subregiones bioclimáticas de J.L. Allué Andrade (1966), que se muestra a continuación (Figura 5) y en el que se observa que el Paisaje Protegido se encuentra en una zona de transición entre la región IV- mediterráneo genuino y la IV (VI) - mediterráneo subhúmedo de tendencia centroeuropea, de aquí la importancia de analizar y conocer los efectos que el cambio climático tendrá sobre esta zona:

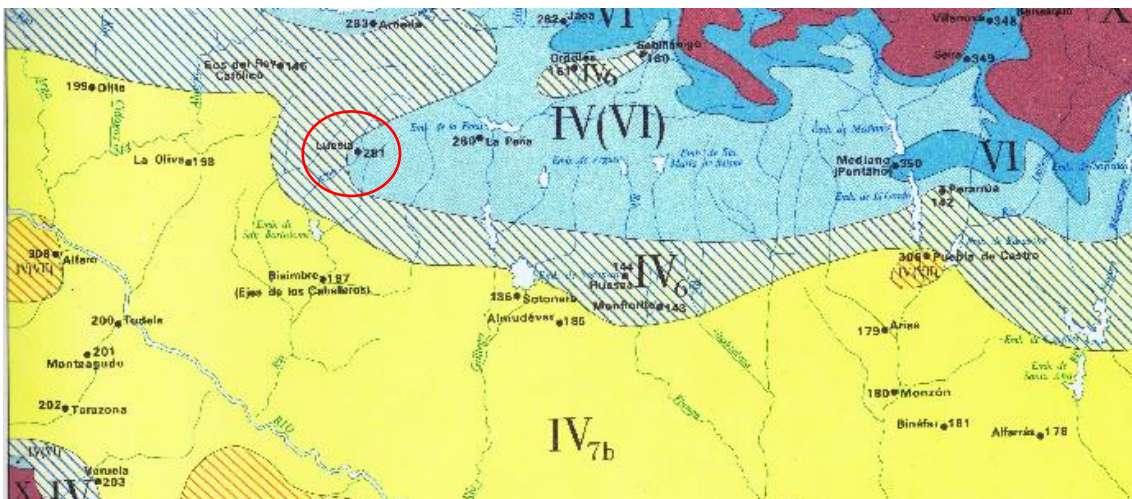


Figura 5: subregiones fitoclimáticas de España según Allué Andrade (en Rivas- Martínez, 1987), donde se muestra en rojo la localización de Luesia y como el paisaje protegido está en una zona de transición entre una zona mediterránea y otra mediterránea subhúmeda, de ahí la diversidad de formaciones vegetales presentes en el Paisaje como hayedos, quejigares, encinares, pinares, etc.

2. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

De los resultados obtenidos en el proyecto “Generación de Escenarios de Cambio Climático en Aragón”, realizado por la Fundación para la Investigación del Clima (FIC) en 2009, se deduce que las temperaturas mínimas y máximas para la región de Aragón sufrirían un ascenso a lo largo del siglo XXI, siendo el ascenso de las máximas algo mayor que el de las mínimas. Verano es la estación en la que se producirán ascensos más fuertes, seguida del otoño, la primavera, y finalmente el invierno. Los aumentos de temperatura esperados se sitúan en torno a los 2-2,5°C a mitad de siglo para la temperatura máxima, y alrededor de los 1,5-2°C para la temperatura mínima.

En cuanto a las precipitaciones en Aragón, sufrirían descensos a lo largo de todo el siglo XXI (únicamente en verano se esperan aumentos de precipitación en algunas regiones). En líneas generales, la región Norte y la denominada Submediterráneo Continental sufrirían descensos mayores que la zona Sur. La zona central de Aragón sufriría, en general, variaciones de precipitación poco significativas.

Por otra parte, los escenarios de cambio climático para el siglo XXI obtenidos mediante la aplicación AdapteCCa⁴ muestran, para el LIC ES2410064-Sierras de Santo Domingo y Caballera, un ascenso generalizado de temperaturas máximas y mínimas (especialmente las primeras) en torno a los 4º C (escenario RCP 6.0) -7 º (escenario RCP 8.5) para finales del siglo XXI, así como un aumento de los días cálidos y un descenso de los días con heladas. También se apunta a un ligero descenso de las precipitaciones (entre un 1% y un 2% para finales del siglo XXI) y, por tanto, de la innivación (EUROPARC- España, 2016).

Cabe destacar que para este análisis la aplicación AdapteCCa utiliza las estaciones meteorológicas de Embalse de la Peña (Huesca), Agüero (Huesca) y Linas de Marcuello (Huesca) para el escenario de precipitaciones y Loarre (Huesca), Binacué (Huesca) y Bernués (Huesca) para las temperaturas.

Siguiendo la metodología utilizada por el Gobierno de Aragón en el Plan de Ordenación de los Montes de Cosuenda (Zaragoza), que contiene un análisis desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático, en el caso del Paisaje Protegido Sierra de Santo Domingo se plantea como escenario temporal de referencia el año 2050, ya que periodos de tiempo más dilatados aumentan la incertidumbre de las predicciones. En cuando al escenario climático elegido, se ha optado por el **RCP 6.0** que supone uno intermedio (en cuanto a emisiones de efecto invernadero) entre el RCP 4.5 y el RCP 8.5.

Se han simulado en la plataforma AdapteCCa las variaciones en temperatura máxima, temperatura mínima y precipitaciones, por estaciones (invierno, primavera, verano y otoño) para el LIC Sierra de Santo Domingo y Cebollera y estos son los resultados de las predicciones:

⁴ AdapteCCa. Plataforma de intercambio y consulta sobre adaptación al Cambio Climático en España.
www.adaptecca.es

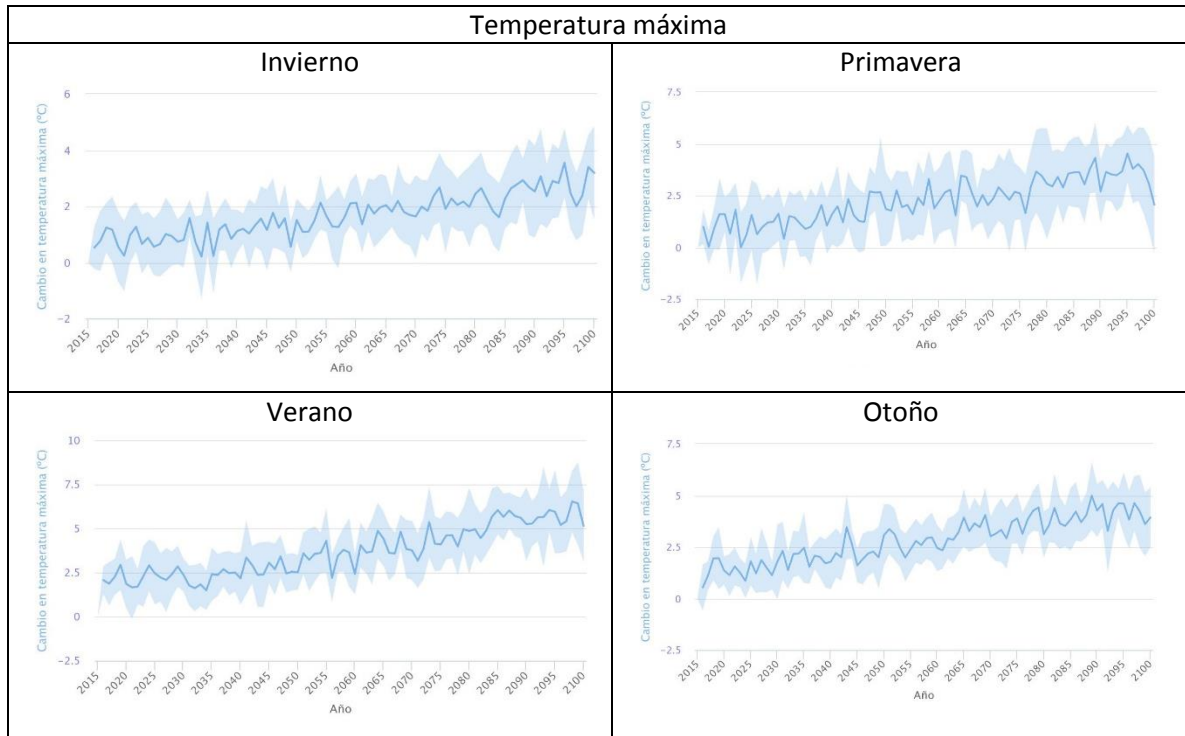


Figura 6: la tendencia de las temperaturas máximas LIC ES2410064-Sierras de Santo Domingo y Caballera muestra un ascenso de las mismas en todas las estaciones, siendo más acusado en verano.

Como se observa en las gráficas (Figura 6), la tendencia futura de la temperatura máxima es la de aumentar progresivamente, siendo este aumento mayor en verano (el aumento para el año 2050 es de 2,51°C) seguido del otoño (aumento de 2°C) y de la primavera.

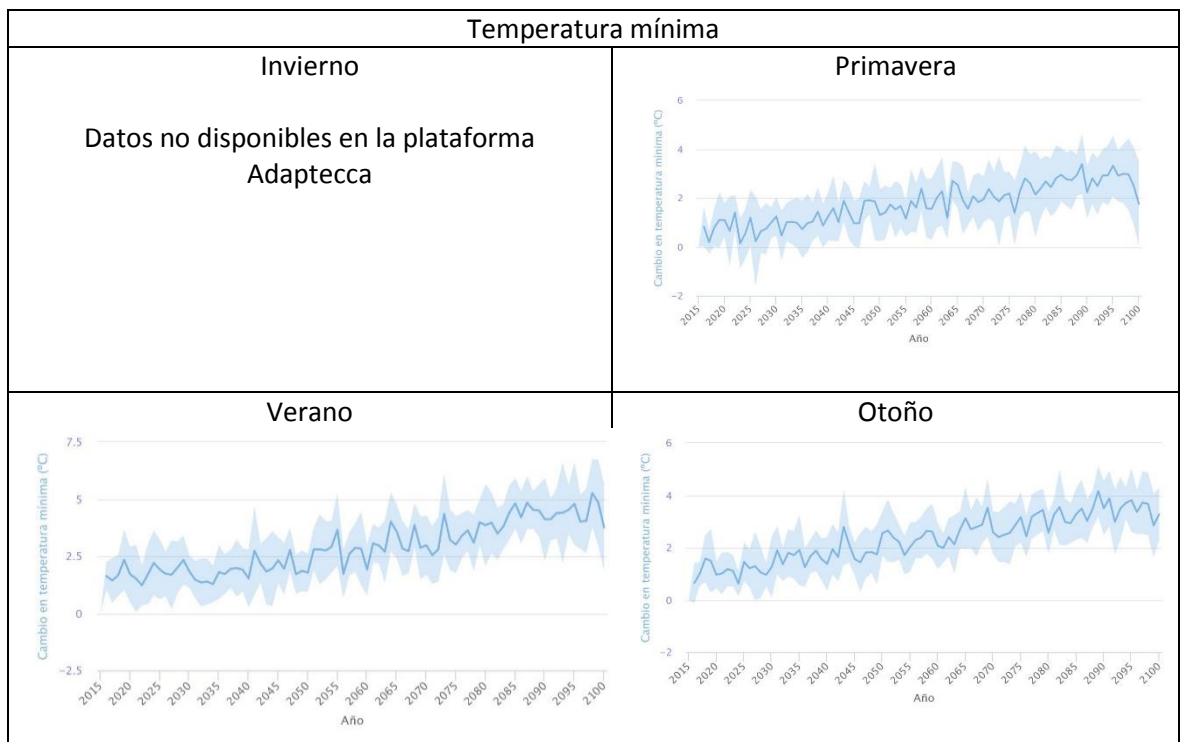


Figura 7: las temperaturas mínimas también aumentarán a lo largo del s XXI, especialmente en otoño, seguido del verano.

En el caso de las temperaturas mínimas, la plataforma AdapteCCa no tiene disponibles los escenarios climáticos para los meses de invierno. Se observa, por otra parte, que en el año 2050, el mayor aumento de las temperaturas mínimas se experimentará en otoño, seguido del verano (figura 7).

Por último, como puede observarse en esta última simulación (Figura 8), en cuanto a las precipitaciones, la tendencia futura es más irregular, siendo el otoño, seguido de la primavera, las estaciones donde se reduce más el porcentaje de precipitaciones:

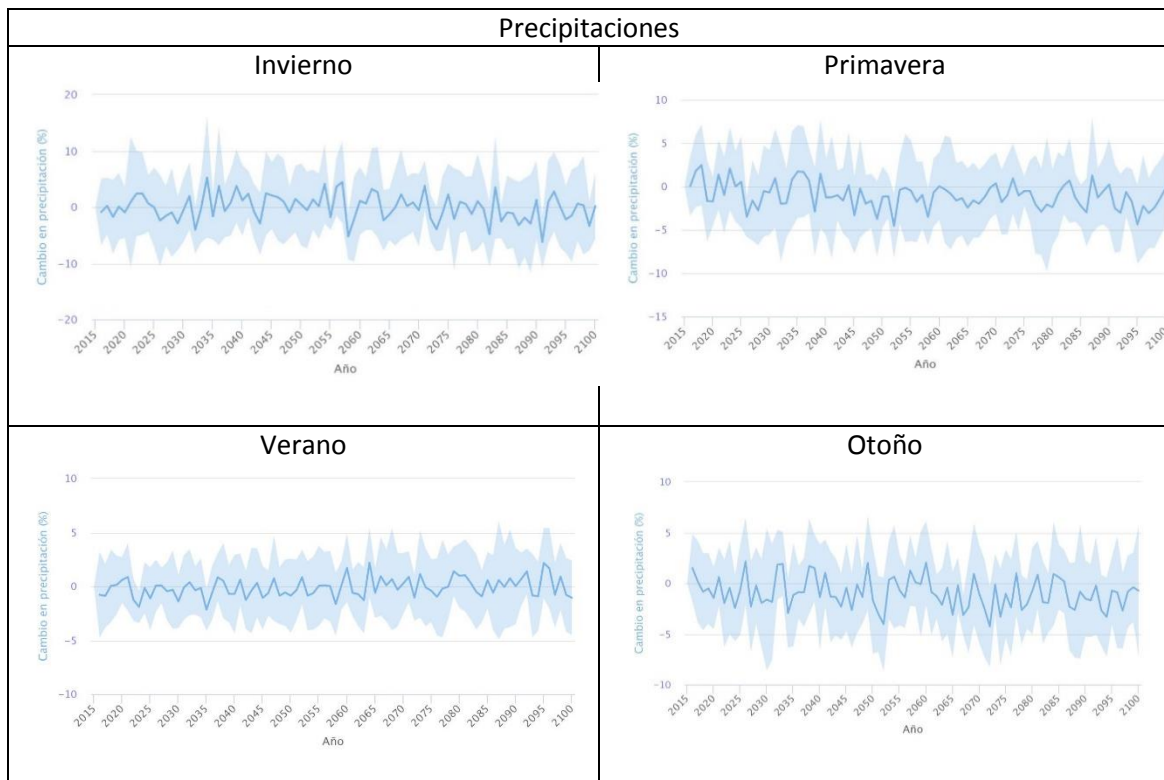


Figura 8: la tendencia de las precipitaciones a lo largo del siglo XXI se mantiene más irregular y con mayor grado de incertidumbre que las temperaturas, siendo el otoño la estación donde más se reduce el porcentaje de lluvias.

Como se comentó anteriormente, si se toma como referencia el año 2050, y a través de los datos proporcionados por la plataforma AdapteCCa, se puede conocer en más detalle cómo serán, es en ese año, estos incrementos esperados, tanto en la temperatura máxima y mínima como en la precipitación (entre paréntesis se muestra el rango de variación):

Tabla 4: incremento en la temperatura máxima y mínima, así como el porcentaje de variación de las precipitaciones en el año 2050 (Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por la plataforma AdapteCCA).

R.C.P. 6				
	INVIERNO 2050	PRIMAVERA 2050	VERANO 2050	OTOÑO 2050
Incremento de la T max (°C)	0,56 ^º (1,46 ^º , -0,34 ^º)	1,85 ^º (3,63- 0,08)	2,51 ^º (3,49, 1,52)	2 ^º (3,5, 0,51)
Incremento de la T min(°C)	Datos no disponibles	1,3 ^º (2,36 ^º - 0,24 ^º)	1,86 ^º (2,76- 0,97)	2,55 ^º (3,4 ^º - 1,69 ^º)
Porcentaje (%) de variación de las precipitaciones	0,45% (7,78- (-6,88))	-1,16% (2,28- (-4,61))	- 0,87% (2,56- (-4,3))	- 1,73% (3,48%- (-6,94%))

Aplicando estos datos por estaciones (invierno, primavera, verano y otoño) se obtienen las siguientes variaciones respecto al clima actual:

Tabla 5: incrementos de temperaturas y variación de precipitación por mes que se esperan en el año 2050 (Fuente: elaboración propia a partir de los datos de AdapteCCa) En general, se observa que la estación en la que aumentan más las temperaturas medias será el otoño, seguido del verano. A su vez, es también en otoño cuando más se reducen las precipitaciones, seguido de la primavera.

	Variación en la precipitación (%)	Incremento de la T media anual (°C)*	Incremento de la T máxima(°C)	Incremento de la Tmín (°C)
Enero	0,45	0,53	0,56	0,50
Febrero	0,45	0,53	0,56	0,50
Marzo	-1,16	1,57	1,85	1,3
Abril	-1,16	1,57	1,85	1,3
Mayo	-1,16	1,57	1,85	1,3
Junio	- 0,87	2,18	2,51	1,86
Julio	- 0,87	2,18	2,51	1,86
Agosto	- 0,87	2,18	2,51	1,86
Septiembre	- 1,73	2,27	2	2,55
Octubre	- 1,73	2,27	2	2,55
Noviembre	- 1,73	2,27	2	2,55
Diciembre	0,45	0,53	0,56	0,50

*La evolución de la temperatura media mensual se calcula como el promedio de la evolución de las temperaturas máxima y mínima mensual.

La temperatura mínima invernal se ha calculado como valor promedio de la relación entre mínima y máxima de las otras tres estaciones, siguiendo, cómo se comentó antes la metodología propuesta por el Plan de Ordenación de los Montes de Consuenda (Zaragoza).

Una vez calculado para cada mes los incrementos en temperatura media, máxima y mínima, así como el porcentaje de variación de las precipitaciones que se espera que ocurra en el año 2050, aplicados estos resultados a los datos del Atlas Climático Digital de Aragón (tabla 1), el clima en ese año estaría definido por los siguientes datos:

Tabla 6: precipitaciones y temperaturas mensuales en el año 2050 para los tres municipios que conforman el Paisaje Protegido.

Mes	LONGÁS (840 m.s.n.m)				BIEL (760 m.s.n.m)				LUESIA (810 m.s.n.m)			
	Pp (mm)	T media (°C)	Tm máx (°C)	Tm mín (°C)	Pp (mm)	T media (°C)	Tm máx (°C)	Tm mín (°C)	Pp (mm)	T media (°C)	Tm máx (°C)	Tm mín (°C)
Enero	77,07	4,25	8,42	0,09	70,33	4,68	9,06	0,31	73,48	2,32	5,31	-0,69
Febrero	66,38	5,37	9,51	1,22	59,05	5,96	10,68	1,24	63,48	3,89	7,88	-0,1
Marzo	50,87	8,8	14,02	3,58	46,11	9,65	15,61	3,7	51,91	8,04	13,91	2,19
Abril	81,89	9,99	14,97	5,01	79,66	11,11	17,01	5,22	81,58	9,77	15,88	3,68
Mayo	89,1	13,55	19,5	7,6	84,93	15,26	21,81	8,5	92,98	13,77	19,5	7,78
Junio	65,73	18,56	25,26	11,88	63,96	19,87	27,24	12,51	63,84	18,89	25,26	12,26
Julio	35,25	22,22	29,83	14,63	29,54	23,64	31,83	15,46	29,46	21,64	29,83	15,05
Agosto	48,96	22,32	29,81	14,83	42,08	23,64	31,66	15,63	42,08	22,6	29,93	15,28
Septiembre	63,69	18,33	25,01	12,66	58,31	19,95	26,47	20,23	60,64	18,84	24,71	10,44
Octubre	89,93	14,23	19,07	9,4	84,02	15,17	20,38	15,45	91,87	14,17	18,72	7,08
Noviembre	87,50	13,92	13,65	5,61	83,68	10,26	14,41	10,49	90,99	8,51	11,22	3,26
Diciembre	97,97	5,23	9,14	3,37	91,87	5,85	9,97	5,82	94,08	3,99	6,54	0,95
TOTAL	854,34	13,06	18,18	7,49	793,54	13,75	19,67	9,55	836,39	12,20	18,70	6,43

2.1. Escenarios climáticos en 2050 y su relación con cambios en las formaciones vegetales.

A partir de estos datos, se puede calcular de nuevo el Índice de termicidad de Rivas Martínez con las predicciones para el año 2050 y observar así si habrá cambios en los pisos bioclimáticos:

Tabla 7: índices de termicidad y pisos bioclimático esperados para el año 2050, calculados a partir de los datos obtenidos en la plataforma AdapteCCa.

		Tm anual °C	Pp anual mm	Tm de las mínimas del mes más frío °C	Tm de las máximas del mes más frío °C	Índice de termicidad	Piso bioclimático	Ombroclima
Biel	Clima actual	12,12	800,21	-0,19	8,5	204.3	Supramediterráneo inferior	Subhúmedo
	Clima 2050	13,75	793.54	0,31	9,06	231.2	Mesomediterráneo superior	Subhúmedo
Longás	Clima actual	11,11	861,51	- 0,41	7,86	185.6	Supramediterráneo inferior	Subhúmedo
	Clima 2050	13,06	854,34	0,09	8,42	215,7	Mesomediterráneo superior	Subhúmedo
Luesia	Clima actual	10,64	844,18	-1,19	4,75	142	Supramediterráneo medio	Subhúmedo
	Clima 2050	12,20	836,39	-0, 69	5,31	168,2	Supramediterráneo inferior	Subhúmedo

Como se observa en la tabla, el piso **supramediterráneo inferior**, ante el escenario climático previsto para 2050, es el más sensible a los cambios de precipitación y temperatura. Un aumento de las temperaturas tanto media como mínimas y máximas, acompañado de un descenso ligero de la precipitación anual, podría provocar una transición hacia el piso mesomediterráneo superior. En esta zona de Aragón en concreto, este piso corresponde en su etapa madura a un bosque denso de encinas (*Quercus rotundifolia*), que en ocasiones puede albergar otros árboles (enebros, quejigos, alcornoques, etc.) (Rivas- Martínez, 1987). La etapa de sustitución está formada por *Quercus coccifera*, *Arbutus unedo*, etc. y algunos de ellos resultan ser buenos bioindicadores del límite superior del piso mesomediterráneo (Rivas-Martínez, 1987).

Ante este escenario, en el caso específico de los **quejigares** presentes en el Paisaje Protegido, según Ramos & Marañón (2009), los incendios, las prácticas forestales, la herbivoría y el cambio climático (disminución de precipitación) constituyen las principales fuentes de amenaza para las formaciones de quejigar. En un escenario de cambio global, Corcuera et al., (2004b) proponen una reducción de las manchas de *Q. faginea* localizadas en el noroeste de España, a favor de otras especies de árboles más resistentes a la sequía, tales como la encina (*Q. ilex*).

Los **hayedos** calcícolas medioeuropeos presentes en el Paisaje (tipo de hábitat 9150), son bastante sensibles a escenarios de cambio climático, ya que la especie dominante se encuentra en su límite meridional de distribución y los factores climáticos que más limitan su crecimiento están ligados a la sequía estival (Herrera et al., 2001; Rozas 2001). El previsible escenario de

aumento de las temperaturas y cambio en la estacionalidad de las precipitaciones va a situar al haya en un contexto difícil para la segunda mitad de este siglo (Gessler et al., 2007).

En cuanto al **pino salgareño** (*P. nigra*) en algunas zonas ecotonales donde se mezcla con el pino carrasco, existe el riesgo de que desaparezca la especie si aumentan la temperatura y los episodios de sequías extremas, ya que en estas condiciones más xéricas compite con desventaja frente al pino carrasco (Regato & Del Río, 2009). Este fenómeno ya se ha comenzado a observar en algunos enclaves del Sistema Ibérico oriental, donde esta dinámica viene acompañada de un aumento de los daños de procesionaria en el pino salgareño (Regato & Del Río, 2009)

Por último, en cuanto al piso **supramediterráneo medio**, el incremento de las temperaturas medias, máximas y mínimas esperadas para el año 2050, así como la ligera disminución de las precipitaciones, marcaría una transición hacia un piso supramediterráneo inferior, de temperatura más cálida.