



Universidad de Oviedo

# **CLIMATOLOGÍA EN ASTURIAS EN EL PERIODO 1981-2010**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN TELEDETECCIÓN Y

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Autor: Carlos Olivares Navarro

Julio 2015

La realización del presente trabajo ha sido posible gracias al convenio de colaboración entre la Delegación Territorial de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en el Principado de Asturias y la Universidad de Oviedo.

Los resultados han sido obtenidos a partir de la información cedida por la Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España.



Universidad de Oviedo



Agencia Estatal de Meteorología

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a mis tutores, Manuel Antonio Mora García, Delegado Territorial de AEMET en Asturias y Gil González Rodríguez, profesor del Máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica de Universidad de Oviedo, por la atención y ayuda recibida antes y durante la elaboración de este trabajo. A José Ángel Núñez Mora por su desinteresada revisión del trabajo y los útiles comentarios aportados al mismo. También a los profesionales de AEMET con los que pude compartir las horas de prácticas de empresa, por el buen ambiente y compañerismo mostrado en todo momento.

A mis compañeros durante este último año, en especial a la Cuadrilla, por las horas que hemos pasado juntos dentro y fuera del aula.

A mi familia, por el apoyo constante y, en especial, a Isa por su paciencia y por tener siempre buenas ideas y consejos que aportar.

## Índice de contenidos

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
1 INTRODUCCIÓN .....	9
2 OBJETIVOS .....	10
3 METODOLOGÍA.....	11
3.1 Área de estudio .....	11
3.2 Datos de partida .....	12
3.3 Tratamiento de los datos .....	13
3.3.1 Filtrado de los datos de temperatura .....	13
3.3.2 Ampliación de la zona de estudio .....	15
3.4 Interpolación de variables climatológicas.....	17
3.5 Análisis de los datos .....	18
3.5.1 Temperatura.....	18
3.5.2 Precipitación.....	27
4 RESULTADOS .....	33
4.1 Mapas de temperatura media del aire .....	33
4.2 Mapas de precipitaciones medias.....	37
4.3 Clasificación climática de Köppen-Geiger para Asturias .....	43
5 CONCLUSIONES .....	53
6 REFERENCIAS .....	55

ANEXO - Mapas de temperatura media del aire y de precipitación media 1981-2010.

## **RESUMEN**

En este trabajo se presentan las cartografías de la temperatura media y de la precipitación media en Asturias en el periodo 1981-2010, así como el mapa de clasificación climática modificada (Atlas Climático Ibérico, 2011) de Köppen-Geiger. Para la realización de los mapas de temperatura y precipitación se recurre a la interpolación de datos puntuales recogidos por las estaciones climatológicas de registro que la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) tiene distribuidas en la zona de estudio. La validez de los métodos de interpolación se discute estudiando los estadísticos implicados en el proceso. Para el mapa climático de Köppen-Geiger se realiza una clasificación de las estaciones termopluviométricas en función de la relación entre los datos de temperatura y precipitación recogidos por cada una de ellas. Finalmente, se incluyen los climogramas correspondientes a las estaciones termopluviométricas.

## **ABSTRACT**

This study shows the maps of the average temperature and average rainfall in the region of Asturias during the timespan 1981-2010, as well as the map with the climatological classification based on the modified Köppen-Geiger classification (Iberian Climate Atlas, 2011). For the development of the temperature and rainfall maps, the interpolation of the isolated data recorded by the Spanish National Meteorological Agency (AEMET) distributed across the territory of the study zone is used. The validity of the interpolation methods is discussed by means of the statistics related to the process. For the Köppen-Geiger-based maps, a classification of the thermopluviometric stations, depending on the relationship between temperature and rainfall data registered on each station, is made. Lastly, the climographs of the thermopluviometric stations are also included.

## 1 INTRODUCCIÓN

El clima representa una síntesis del tiempo atmosférico, cuyo estado se refiere al conjunto de las condiciones meteorológicas en un momento dado y en un determinado lugar. Concretamente, si analizamos el clima estamos estudiando las “condiciones medias del tiempo”, es decir, la descripción estadística de los valores medios y la variabilidad de los elementos estudiados durante periodos de tiempo suficientemente largos. La descripción de las características climatológicas que se publican en Atlas Agroclimáticos es esencial para el desarrollo socioeconómico de las regiones a las que se refiere. Pero además, los datos que se utilizan para descripciones climáticas de una determinada región sirven para respaldar decisiones políticas, económicas y sociales, tales como la planificación urbana, gestión de cultivos, energía, medioambiente, transporte y turismo, entre otras (Atlas Climático Ibérico, 2011).

Las principales variables que se estudian para clasificar una zona según criterios climáticos son la temperatura y la precipitación. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda el uso de las denominadas normales climatológicas (IPCC, 1995), que son los valores medios de las variables estudiadas. Generalmente, los estudios climáticos consideran las normales climatológicas de temperaturas y precipitaciones medias, mínimas y máximas, cuyo conocimiento permite el análisis de las anomalías generadas en periodos estacionales.

Para poder conocer cómo el clima afecta a un determinado territorio, es necesario estudiar series largas de datos. La Organización Meteorológica Mundial establece un periodo de 30 años como medida estándar para el estudio de las normales climatológicas. Estos periodos se conocen como “periodos de referencia” y la OMM establece que el primer periodo de referencia comienza el 1 de enero de 1901 y termina el 31 de diciembre de 1930, el segundo periodo abarca del 1 de enero de 1931 al 31 de diciembre de 1960 y así sucesivamente (Atlas Climático Ibérico, 2011; OMM, 2014). Para poder conocer con más detalle el comportamiento del clima, además de los periodos de referencia, se estudian también las normales intermedias, es decir, periodos también de 30 años, pero actualizados cada 10, como es el caso del Atlas Climático Ibérico, donde se trabajó con las normales climatológicas en el periodo 1971-2000.

En este trabajo se emplearan las normales climatológicas de la temperatura media del aire y la precipitación media en el periodo 1981-2010 para elaborar una clasificación climática de la región del Principado de Asturias en dicho periodo.

Además de los mapas de temperatura media del aire y precipitación media, la clasificación climática se completa con un mapa climático siguiendo la metodología de Köppen-Geiger

modificada por Essenwanger (2001), que ayuda a entender la relación entre estas dos variables. Dicha clasificación emplea un código de tres letras usado a nivel global, lo que facilita la comparación de climas en diversos territorios del planeta.

## **2 OBJETIVOS**

El presente trabajo tiene como objetivo la realización de una caracterización climática del Principado de Asturias en el periodo 1981-2010, periodo normal climatológico recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2014). De todos los datos recogidos durante un periodo determinado se estudian las denominadas normales climatológicas (valores medios) de variables observadas en la superficie terrestre, como son la temperatura y la precipitación (IPCC, 1995).

A partir de las normales climatológicas de temperatura y precipitación, cuyos datos son registrados por la red de estaciones climatológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), se elaborará una cartografía de:

1. Los valores medios anuales y para cada una de las estaciones del año para la temperatura.
2. Los valores medios mensuales y acumulados anuales para la precipitación.
3. La clasificación climática de Köppen en función de la relación entre los valores medios de temperatura y precipitación.

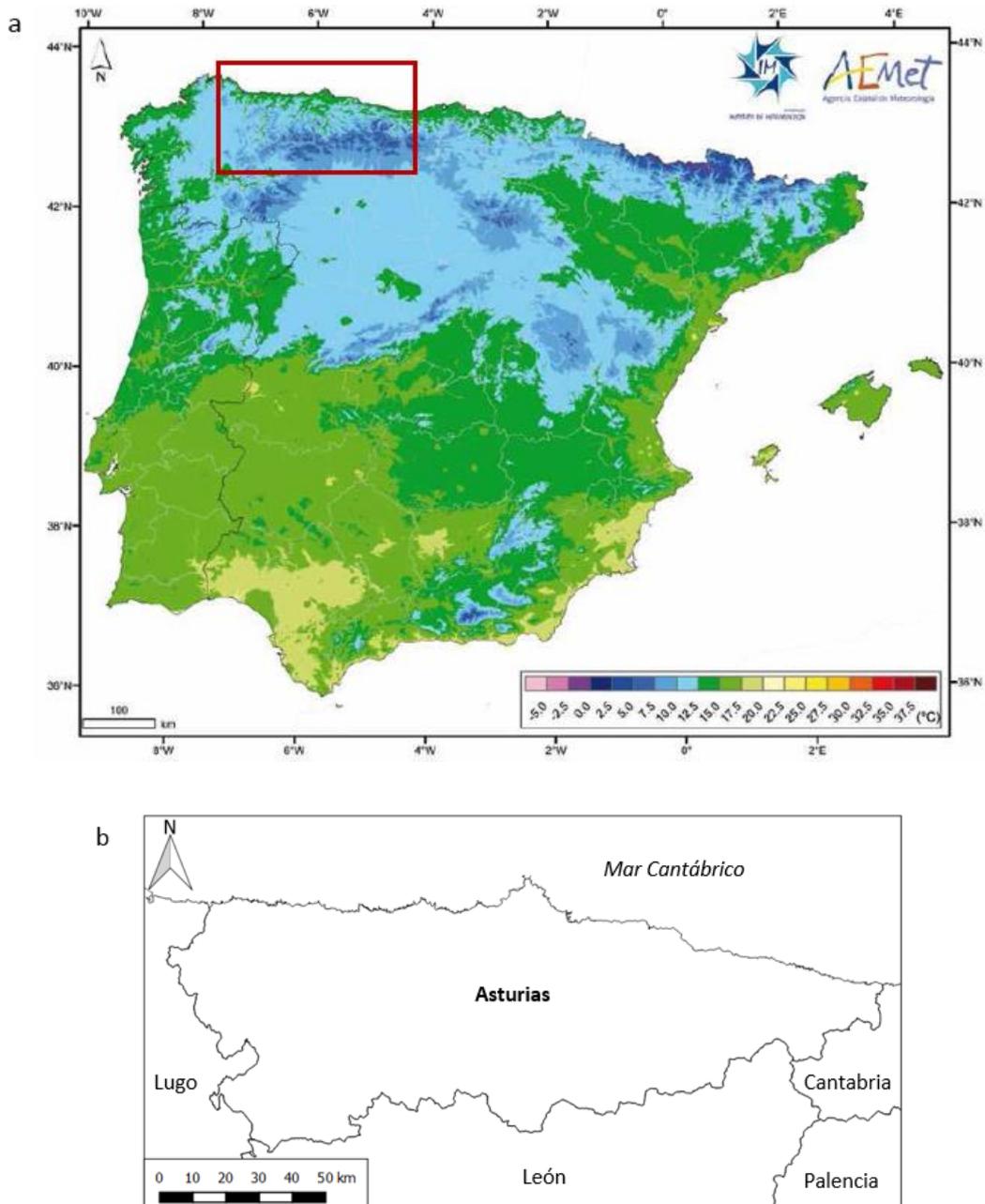
Para la realización de los mapas de temperatura y precipitación es necesario buscar el mejor método de interpolación de los valores puntuales registrados en cada estación climatológica teniendo en cuenta las variables que definen un área geográfica determinada, como son latitud, longitud y altitud. Además, la relación entre los valores de temperatura y precipitación, permite zonificar el territorio siguiendo la clasificación climática de Köppen-Geiger con límites modificados (Essenwanger, 2001).

AEMET cuenta con cartografías climáticas de este tipo en algunas comunidades autónomas, como Castilla y León (Atlas Agroclimático de Castilla y León, 2013) o Murcia (Atlas Climático de la Región de Murcia, 2014). Este trabajo pretende hacer una descripción de la Climatología centrada en el Principado de Asturias, no realizada específicamente hasta ahora, y que sirva de complemento al trabajo realizado por AEMET para toda la Península Ibérica.

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 Área de estudio

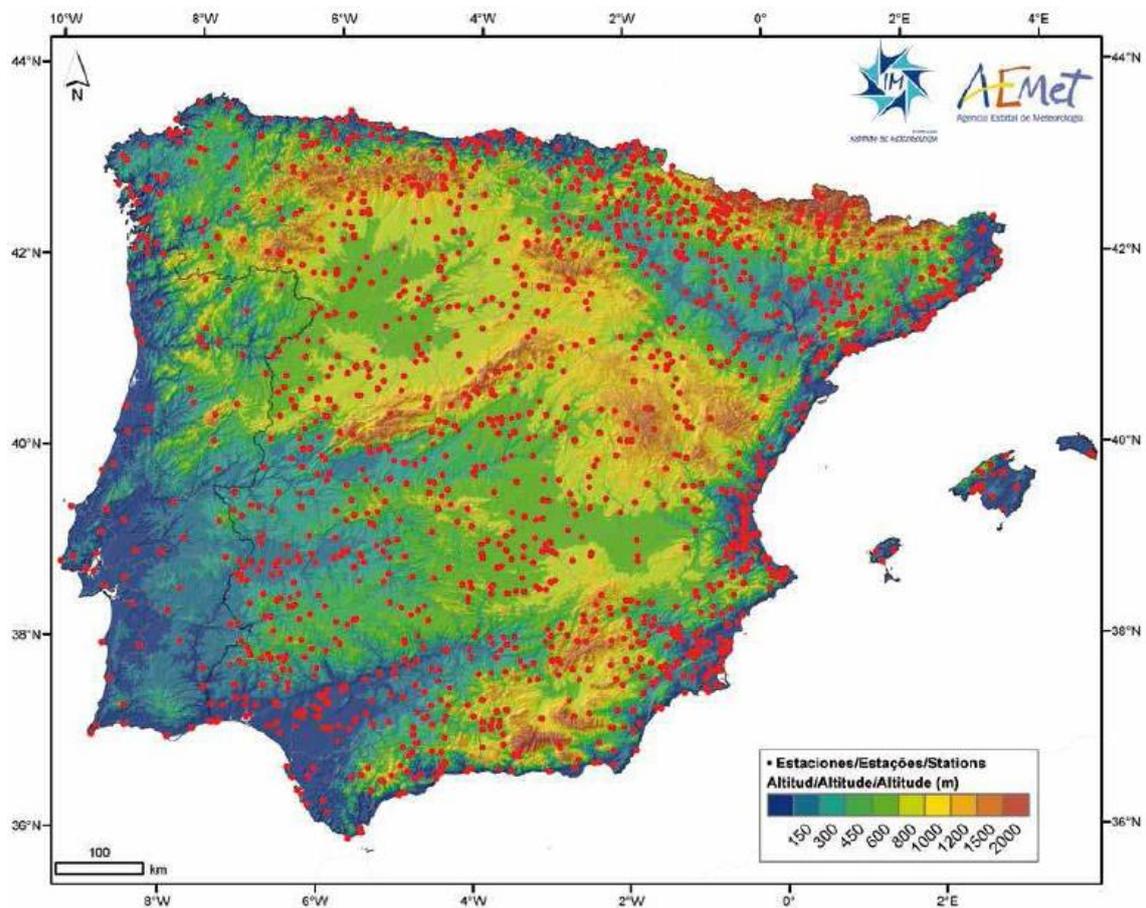
El área de estudio para este trabajo es el Principado de Asturias, comunidad al norte de la Península Ibérica (Figura 1), con una superficie de 10.603,57 km<sup>2</sup>, que limita al norte con el mar Cantábrico, al sur con la provincia de León, al este con la Comunidad Autónoma de Cantabria y al oeste con la provincia de Lugo.



**Figura 1.** a) Mapa de temperatura media anual del aire (1971-2000) para la Península Ibérica (Atlas Climático Ibérico, 2011) y ubicación del área de estudio; b) Ubicación de Asturias y las provincias limítrofes.

### 3.2 Datos de partida

Los datos de temperatura y precipitación para el presente estudio se obtienen de la red de más de 4.500 estaciones climatológicas que AEMET tiene distribuidas en todo el territorio nacional (Figura 2).



**Figura 2.** Red de estaciones climatológicas de la temperatura del aire para la Península Ibérica y Baleares (Atlas Climático Ibérico, 2011).

Para este trabajo se tienen en cuenta tres tipos de estaciones de registro, las manuales, las semiautomáticas y las automáticas. Las estaciones manuales, pertenecientes a la denominada red climatológica ordinaria, están operadas por el cuerpo de colaboradores de AEMET, cuya labor es esencial para la investigación climatológica pues consiste en tomar medidas diarias de los valores de temperaturas máximas y mínimas, precipitación acumulada en periodos de 24 horas y meteoros observados. Las estaciones automáticas constan de sensores que registran y transmiten de forma continua las distintas variables atmosféricas. Están sometidas a un estricto control de calidad, incluyendo programas de verificación y calibración y constituyen la denominada red principal de observación. Las estaciones semiautomáticas (figura 3) están

atendidas por personal de AEMET, que completa las observaciones manuales con otras variables, como nubosidad, visibilidad, algunos meteoros, etc. (Redes de observación de superficie y en altura, AEMET). En este trabajo la temperatura se presenta en grados Celsius (°C) y la precipitación en milímetros (mm), siendo 1 mm equivalente a 1 litro/m<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Izquierda: jardín meteorológico de estación meteorológica semiautomática. Entre el instrumental se encuentran termómetros seco y húmedo, higrómetros, anemómetro, etc. Derecha: detector de tipo de precipitación y su valor acumulado. [www.aemet.es](http://www.aemet.es)

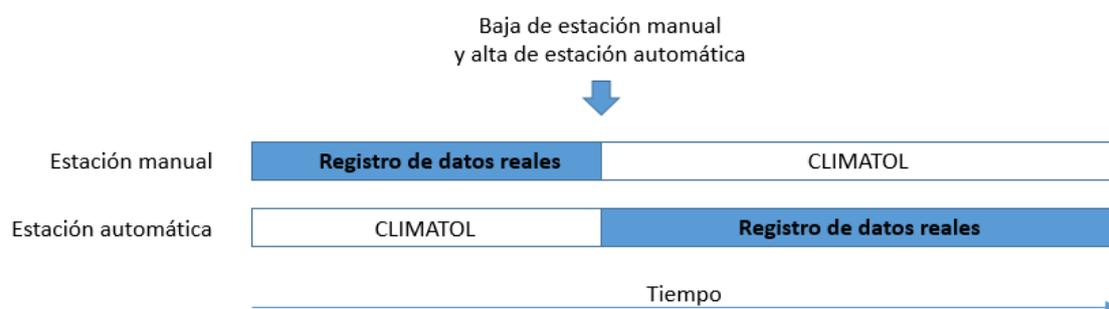
### 3.3 Tratamiento de los datos

Antes de proceder al análisis de los datos es necesario tener en cuenta dos aspectos. El primero es que será necesario realizar un filtrado de los datos que se van a emplear para la obtención de la cartografía de la temperatura. El segundo es que, tanto para la temperatura como para la precipitación, el estudio se hará considerando estaciones ubicadas en Asturias y en las provincias limítrofes, acotando después los resultados al Principado de Asturias.

#### 3.3.1 Filtrado de los datos de temperatura

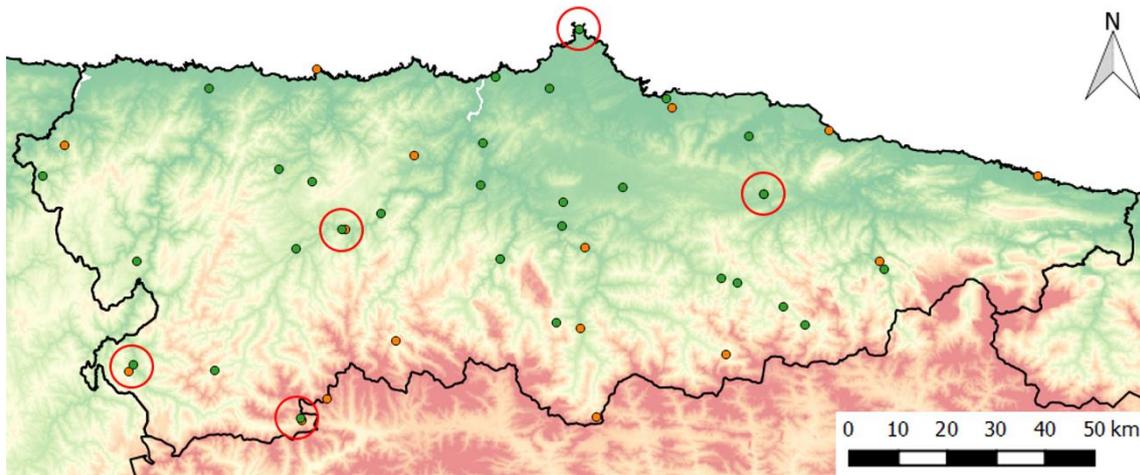
Los datos para este trabajo han sido facilitados por AEMET y proceden de la base de datos de la Agencia. En esta base de datos para series temporales se incluyen todas las estaciones de la red climatológica (manuales, automáticas y semiautomáticas) de AEMET en todo el territorio nacional, tanto si están activas como si están en desuso. Hay que tener en cuenta que la continuidad en las observaciones sólo está asegurada en las estaciones semiautomáticas o dotadas de personal, ya que tanto las automáticas como las manuales pueden presentar lagunas (periodos sin datos) debido a averías o incidencias del colaborador. Existe un parámetro clave en la base de datos que es el porcentaje de datos de temperatura media mensual (PDTT) registrada en el periodo 1981-2010. Este parámetro se refiere a la cantidad de *datos reales*, es

decir, registrados efectivamente por las estaciones de la red de AEMET. Debido a lo comentado anteriormente, es frecuente encontrarse ausencia de datos en series temporales, especialmente cuanto más larga es la serie, debido a errores puntuales en el registro de los datos. Para corregir este hecho, AEMET ha desarrollado una herramienta para el relleno de estos datos ausentes denominada CLIMATOL (Guijarro, 2011). Así, la base de datos utilizada para este trabajo distingue dos series, una con más de un 50% de datos medidos (SERIE 1) y otra con menos de un 50% de datos medidos (SERIE 0). Ambas series dan el valor de temperatura media mensual y anual del periodo de referencia 1981-2010, con la salvedad de que en la denominada SERIE 0, más de un 50% de datos ha sido obtenido por técnicas de relleno estadístico con la herramienta CLIMATOL. Para este trabajo, se decide mantener la serie con un mayor valor de PDTT, es decir, la serie que tenga mayor porcentaje de datos reales registrados (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema de registro de series de temperatura en una estación manual que se actualiza a una automática. En este caso, se elimina de la base de datos la serie de temperaturas registrada por la estación manual.

Conviene también aclarar que la actualización de estaciones se puede hacer sustituyendo un equipo por otro en la misma ubicación o en un punto próximo. Las estaciones de Asturias que han presentado estos problemas se muestran en la figura 5 y su identificador y nombre en la tabla 1, en la que además se aprecia uno de los problemas frecuentes en el trabajo con bases de datos, que es la incongruencia de nombres de entidades, lo que normalmente genera conflictos en el manejo de tablas en un Sistema de Información Geográfica.



**Figura 5.** Estaciones con series duplicadas ubicadas en un mismo punto o en puntos muy próximos en las que se elimina la serie con menor porcentaje de datos reales medido.

<b>Identificador</b>	<b>Nombre estación</b>
1199B	BARGAEDO
1199X	BARGAEDO PILOÑA
1210	CABO DE PEÑAS
1210X	CABO PEÑAS
1302F	DEGAÑA, COTO CORTES
1302G	DEGAÑA COTO CORTES
1309	SAN ANTOLIN DE IBIAS
1309C	SAN ANTOLIN DE IBIAS-LINARES
1272	SOTO DE LA BARCA
1272B	SOTO DE LA BARCA

**Tabla 1.** Estaciones duplicadas.

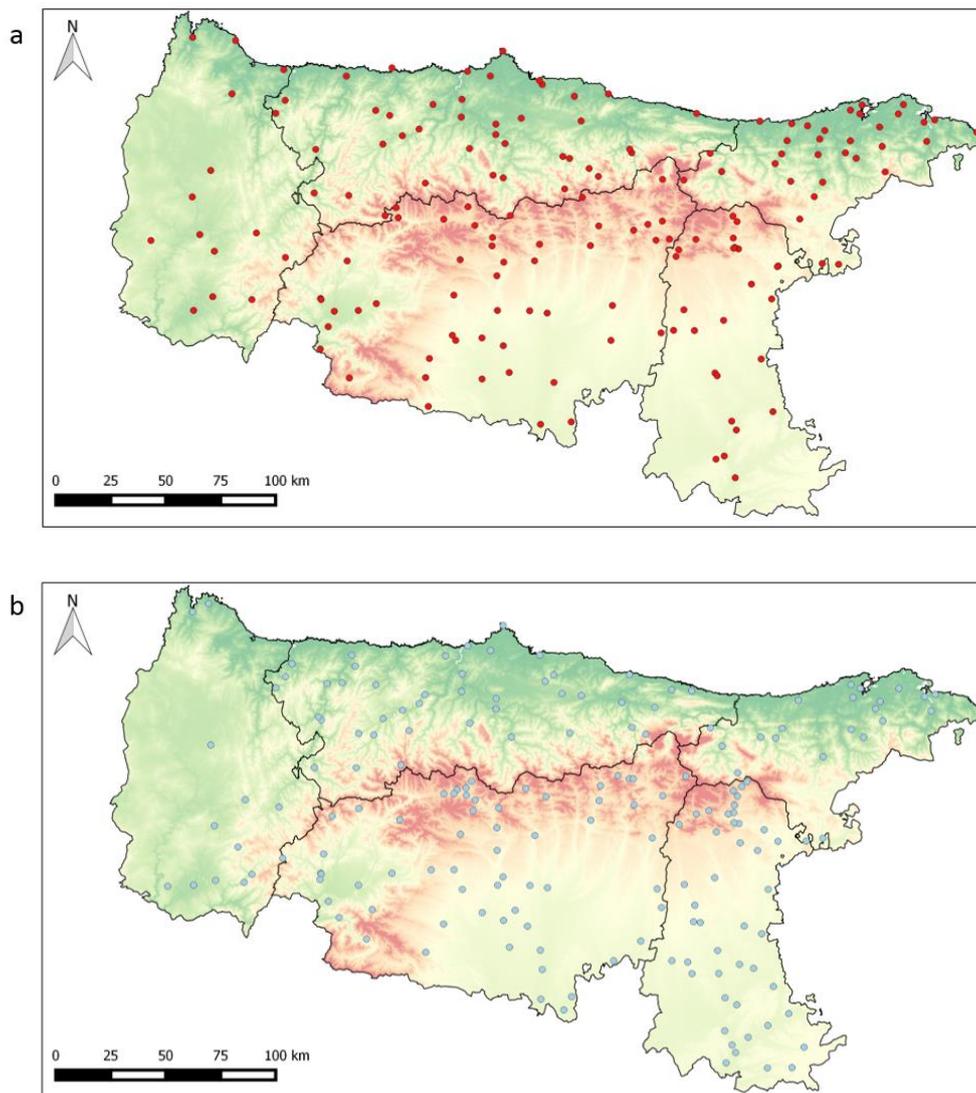
### 3.3.2 Ampliación de la zona de estudio

Los mapas obtenidos con métodos de interpolación pueden presentar anomalías en las zonas más externas del estudio debido a la ausencia de datos. Así pues, se amplía el área de estudio, pasando de trabajar con datos de Asturias a contener también los datos de las provincias limítrofes: Lugo, León, Palencia y Cantabria. Los resultados se presentarán recortando el área de estudio a la provincia de Asturias. Además de poder contar con datos de apoyo para la interpolación, ampliar la zona de estudio también afina los análisis de algunas variables, como la latitud. Asturias es una región con muy poca extensión N-S (unos 75 km en la zona más

amplia), por lo que trabajando con datos con mayor distribución espacial podemos entender mejor la influencia de las variables en los modelos de regresión, como veremos más adelante.

Los datos de precipitación no presentan estos problemas ya que la base de datos que se recibe para trabajar pertenece a un documento de AEMET y la serie 1981-2010 ha sido ya filtrada y publicada; Valores normales de precipitación mensual 1981-2010 (2013).

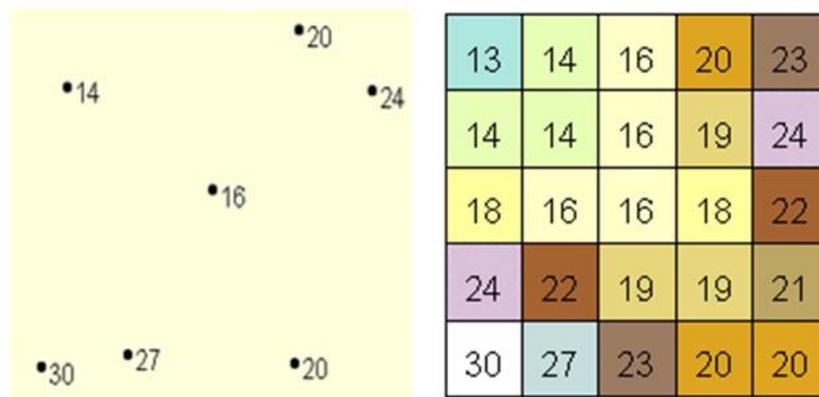
En la figura 6 se muestran todas las estaciones de temperatura (Figura 6a) y de precipitación (Figura 6b) utilizadas para la realización de este trabajo, tanto en Asturias como en las provincias limítrofes.



**Figura 6.** Estaciones climatológicas de la red de AEMET utilizadas para este estudio, ubicadas en Asturias y sus provincias limítrofes. a) Ubicación de las 164 estaciones de temperatura, 42 de ellas en Asturias, b) ubicación de las 185 estaciones de precipitación, 43 de ellas en Asturias. Puntos representados sobre un modelo digital de elevaciones (MDE) de 100 metros de resolución.

### 3.4 Interpolación de variables climatológicas

En Climatología se trabaja con variables de tipo puntual medidas en un conjunto de estaciones climatológicas distribuidas irregularmente por el territorio. Se trata pues de obtener valores continuos para la variable estudiada a partir de datos discretos (Figura 7). De este proceso se encarga la interpolación espacial, que consiste en la estimación de valores de una variable en celdas de una malla regular a partir de los valores conocidos de la variable en una serie de puntos, asignándole a cada celda un valor en función de los datos cercanos (Núñez, 2009).



**Figura 7.** Izquierda: datos puntuales de entrada. Derecha: superficie de interpolación (fuente: ArcGIS Resource Center).

De los métodos de interpolación habituales podemos distinguir entre los deterministas, que estiman los valores de la variable de forma puramente matemática teniendo en cuenta únicamente criterios geométricos de vecindad entre valores y los métodos estocásticos, que además de criterios geométricos tienen también en cuenta la estructura espacial de los datos de muestra. Generalmente permiten calcular la significancia estadística del campo obtenido. El uso de métodos estocásticos en el análisis espacial se conoce como Geoestadística.

Para la realización del presente trabajo se utilizarán ambos métodos de interpolación, empleando mapas de predicción de una variable y mapas de corrección sobre dicha variable (Vicente y Saz, 2002).

$$\text{Campo observado} = \text{predicción} + \text{corrector}$$

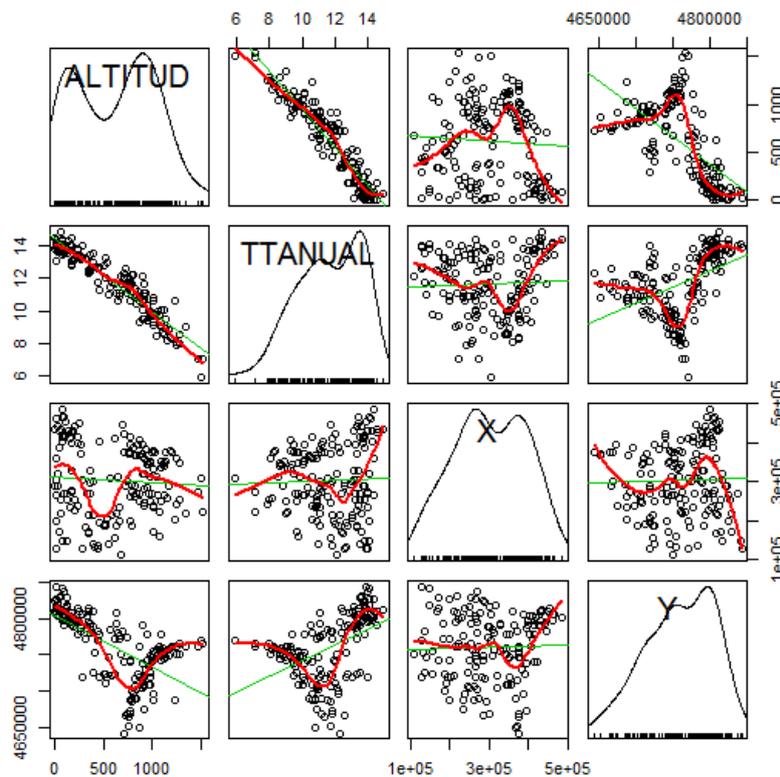
### 3.5 Análisis de los datos

#### 3.5.1 Temperatura

Lo primero que se debe hacer con los datos es analizar la relación existente entre la variable dependiente que se quiere estudiar, en este caso temperatura media del aire (medida en grados Celsius), y las variables independientes, que serán altitud, latitud y longitud (medidas en metros). Se han considerado cinco casos de estudio: temperatura media anual y temperatura media para cada una de las cuatro estaciones del año, siguiendo las definiciones internacionales adoptadas para estaciones climatológicas (González y Anadón, 2011; Atlas Climático Ibérico AEMET, 2011), que comprenden para el invierno los meses de diciembre, enero y febrero (DEF), para la primavera marzo, abril y mayo (MAM), para el verano junio, julio y agosto (JJA) y para el otoño septiembre, octubre y noviembre (SON).

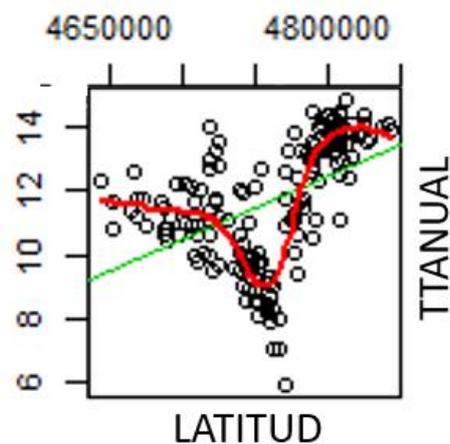
#### *Matriz de diagramas de dispersión para la temperatura*

La primera aproximación la haremos con el software estadístico libre R, cuyas herramientas de análisis nos permiten mostrar la matriz de diagramas de dispersión, que ayuda con un primer vistazo a entender la relación entre variables (Figura 8).



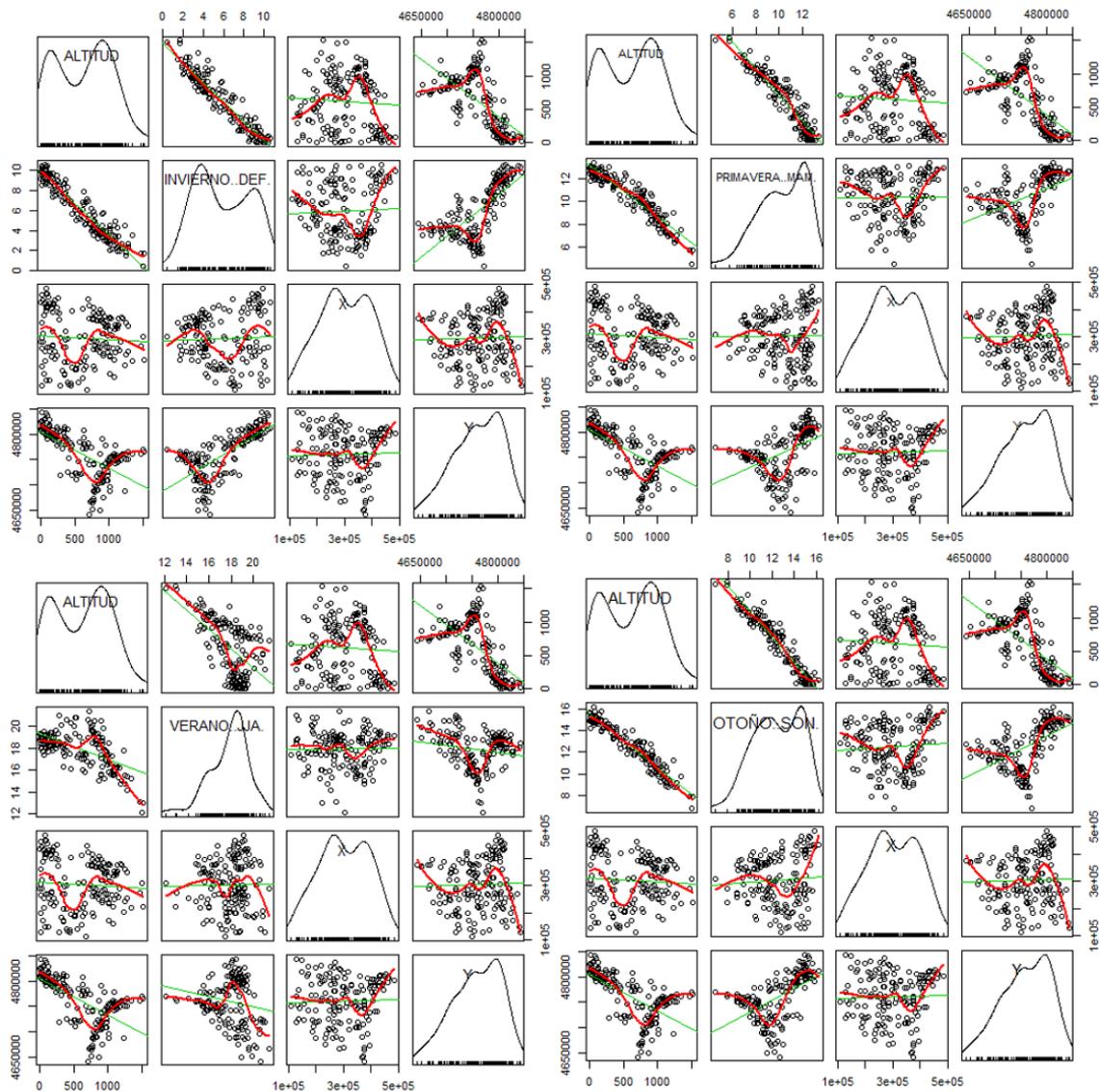
**Figura 8.** Matriz de diagramas de dispersión para la variable dependiente TTANUAL (temperatura media anual del aire) y las independientes ALTITUD, X (longitud) e Y (latitud).

En la figura podemos ver cómo la temperatura media anual del aire en la zona de estudio (TTANUAL) está fuertemente asociada con la altitud, existiendo una relación prácticamente lineal. Esto nos indica que es la variable que más peso tendrá cuando realicemos una regresión múltiple. Lo que necesitamos ahora es saber si realmente las otras variables son estadísticamente significativas para la definición del modelo, lo que determinará si se incluyen o no en análisis final para la obtención de la cartografía. Otro detalle interesante lo vemos si nos fijamos en la relación entre la temperatura y la latitud (Figura 9). Al movernos en torno a las latitudes correspondientes a la ubicación de la Cordillera Cantábrica se aprecia un notable descenso de la temperatura, lo cual tiene sentido ya que estaremos en las zonas de mayor altitud de la zona de estudio.



**Figura 9.** Fuerte disminución de los valores de temperatura media a latitudes correspondientes a la Cordillera Cantábrica, debido a la ubicación de estaciones de medición en zonas elevadas.

Hasta ahora hemos visto solamente la relación entre las variables independientes y la temperatura media anual. En la figura 10 se presenta la matriz de diagramas de dispersión para la temperatura media en las cuatro estaciones del año y podemos ver que el comportamiento es el mismo que para la media anual, excepto en el caso del verano, que se explicará en su momento.



**Figura 10.** Matrices de diagramas de dispersión para las cuatro estaciones del año. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: invierno, primavera, verano y otoño.

*Correlación lineal descriptiva para la temperatura*

Los diagramas de dispersión nos muestran la dependencia estadística (Colubi y González, 2010) entre altitud y temperatura media del aire. Se trata ahora de buscar la ecuación de la recta que mejor se ajuste a la distribución de la nube de puntos entre esas dos variables, lo que se conoce como regresión lineal.

La ecuación genérica de la regresión lineal es:

$$y(x) = b_0 + b_1x$$

donde  $b_0$  (constante u ordenada en el origen) es el valor que tendría la predicción de  $y$  cuando  $x = 0$  y  $b_1$  (pendiente) indica las unidades en las que aumenta  $y$  por cada unidad que aumenta  $x$ . Se trata de buscar los valores de  $b_0$  y  $b_1$  de manera que la recta se aproxime lo más posible a la nube de puntos según el criterio de mínimos cuadrados.

La fiabilidad de la correlación entre los datos se medirá mediante el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson ( $R$ ), que se denomina coeficiente de determinación ( $R^2$ ) e indica la proporción de la variación de  $y$  que se explica por su relación lineal con  $x$ .  $R^2$  es proporcional, por lo que su valor oscila entre 0 y 1. En el caso de hacer regresiones con varias variables independientes, como en este trabajo (longitud, latitud y altitud), el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado es el más descriptivo (Núñez, 2009).

El análisis de los datos mediante regresión lineal nos ofrece una serie de estadísticos que nos ayudan a entender mejor el modelo. Se presentan a continuación los estadísticos para la temperatura media anual. En primer lugar, se realiza un análisis de la regresión con las tres variables independientes, longitud, latitud y altitud, cuyos resultados se muestran en las tablas 2 y 3. Estos análisis se efectúan con una significación de 0,1 siguiendo los criterios empleados por AEMET (Núñez, 2009).

Coeficiente de correlación múltiple	0.963158327
Coeficiente de determinación $R^2$	0.927673963
$R^2$ ajustado	0.92631785
Error típico	0.525619024
Observaciones	164

**Tabla 2.** Estadísticas de la regresión lineal para la temperatura media anual.

	Coeficientes	P-valor
Intercepción	62.6252193	6.28421E-22
X (LONGITUD)	-5.85691E-07	0.202419698
Y (LATITUD)	-1.00007E-05	6.31777E-15
ALTITUD	-0.005172148	4.59818E-85

**Tabla 3.** Análisis de la regresión lineal para la temperatura media anual.

El valor del coeficiente de determinación  $R^2$  indica que el modelo explica un 92,76% de la variabilidad de la temperatura media anual y el  $R^2$  ajustado es de 92,63%. El P-valor del contraste de dependencia lineal de la temperatura media anual con la variable X (longitud) es mayor que

0,1 por lo que al nivel de significación del 10% no podría contrastarse la hipótesis de dependencia lineal entre ambas variables; por ello se considera su exclusión del modelo.

Hemos, pues, reducido el modelo a dos variables (latitud y altitud), por lo que es necesario volver a realizar la regresión. Los resultados de la regresión con dos variables se muestran resumidos en la tabla 4.

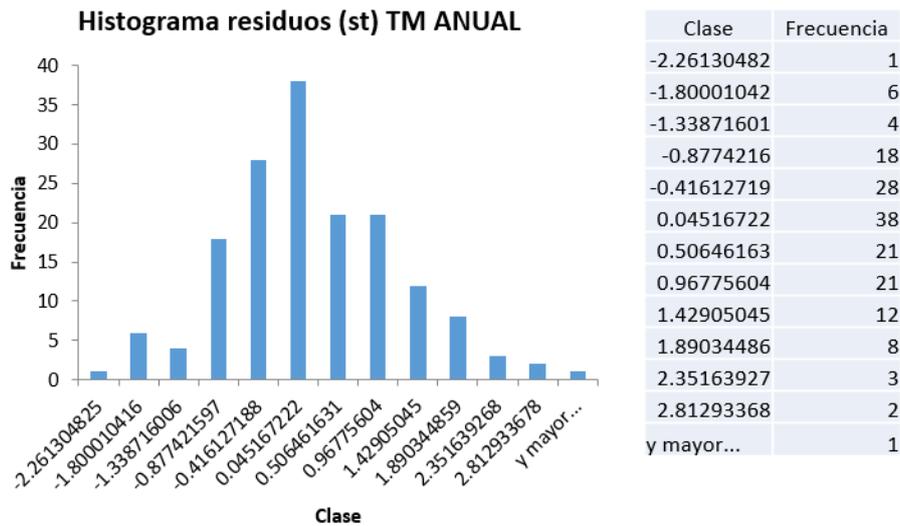
	<i>Coefficientes</i>	<i>P-valor</i>	<i>R<sup>2</sup> ajustado modelo</i>
<i>Intercepción</i>	62.32016966	8.92715E-22	0.926025
Y (LATITUD)	-9.97513E-06	7.65667E-15	
ALTITUD	-0.005161685	2.93245E-85	

**Tabla 4.** Estadísticos de regresión lineal con altitud y latitud.

Efectivamente se comprueba que el  $R^2$  ajustado del modelo sigue siendo muy alto considerando sólo dos variables y que la variabilidad de la temperatura depende en mayor parte de la altitud, según indica el P-valor para dicha variable. El P-valor de la latitud indica que la variable es estadísticamente significativa con un 90% de confianza, por lo que siguiendo las recomendaciones de AEMET, se trabajará con todas las variables que puedan influir en el modelo (Núñez, 2009).

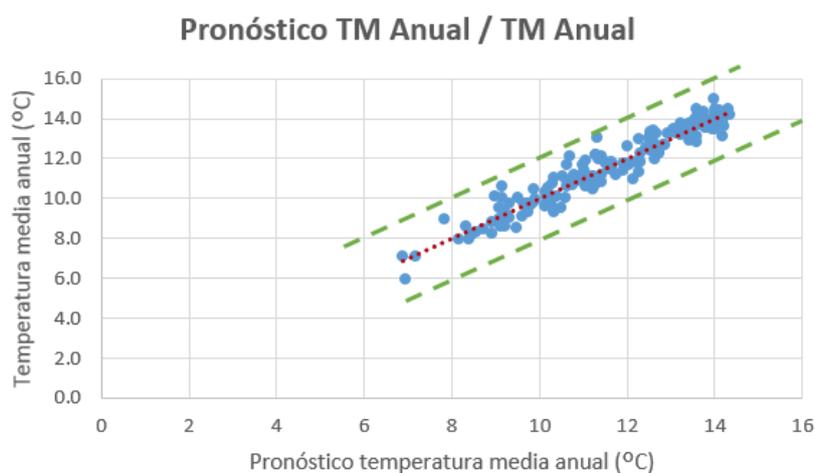
Comprobamos además que los coeficientes han variado ligeramente respecto a la regresión considerando también la longitud. El coeficiente de la altitud está dando una información útil para comprender el comportamiento de la temperatura frente a dicha variable, y es que ésta disminuye en 0,51 °C por cada 100 metros de altura que ascendemos.

Por último, para confirmar la validez del ajuste, vamos a comprobar los residuos generados, que son la diferencia entre el valor real medido en un punto y la estimación realizada mediante la regresión (Figura 11). Los residuos deberían tener una distribución aproximadamente normal y deberían situarse en un rango de valores entre [-4,4] (Colubi y González, 2010), condiciones que vemos que se cumplen en el modelo.

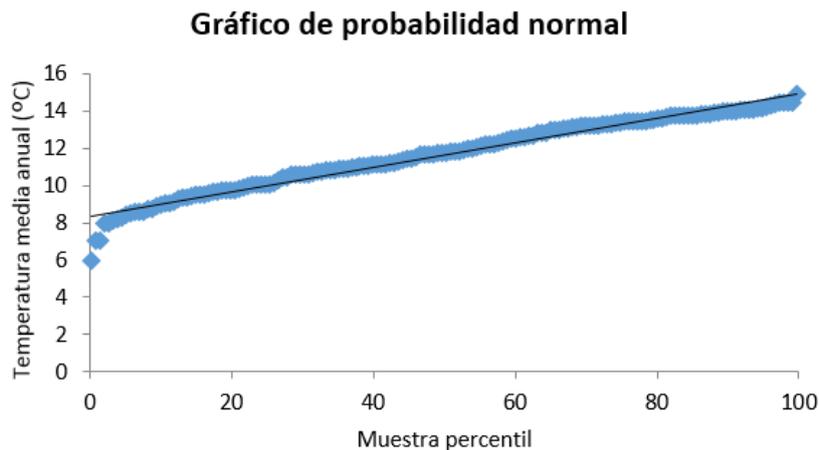


**Figura 11.** Histograma de residuos estándar para la regresión de la temperatura media anual con las variables altitud y latitud.

Si representamos los valores de temperatura media anual frente a la predicción de la temperatura media anual realizada por la regresión (Figura 12) vemos cómo la nube de puntos se distribuye de manera homogénea alrededor de la recta de regresión (linealidad) y que los datos podrían enmarcarse aproximadamente entre dos rectas paralelas (homocedasticidad). Además, en la figura 13 se muestra el gráfico de probabilidad normal (P-P) comprobando que, aproximadamente, se cumple la condición de normalidad (también comprobable mediante el histograma de los residuos, figura 11).



**Figura 12.** Predicción de la temperatura media anual frente a su valor medido. Las líneas verdes punteadas, paralelas a la línea de tendencia (línea roja punteada), indican la condición de homocedasticidad.



**Figura 13.** Gráfico de probabilidad normal (P-P) para los residuos.

Estas tres condiciones; linealidad, homocedasticidad y normalidad, junto con la no autocorrelación de los residuos, nos permitirían poder realizar inferencias sobre el modelo (Colubi y González, 2010), pero eso implicaría o bien comprobar la validez de las condiciones de las variables de forma independiente, o bien simplificar el modelo a la variable más estadísticamente significativa. Siguiendo los criterios de AEMET (Núñez, 2009), se prioriza el trabajar con el mayor número de variables posible, ya que reducir sólo a la altitud sería simplificar en exceso el modelo, aun sabiendo que es la variable con mayor influencia en la variabilidad de la temperatura media.

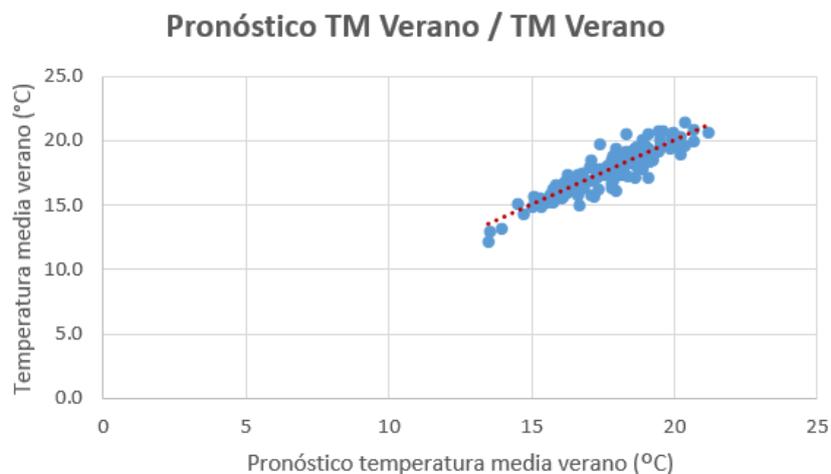
Una vez comprobada la validez de la regresión lineal para el caso de la temperatura media anual, vamos a estudiar los otros cuatro casos: las temperaturas medias para las estaciones climatológicas del año; invierno, primavera, verano y otoño con las mismas variables, longitud, latitud y altitud. Tras una primera regresión con las tres variables se comprueba que la longitud no es estadísticamente significativa en ninguno de los cuatro casos. En la tabla 5 se muestran los estadísticos obtenidos al repetir la regresión lineal pero sólo con las variables latitud y altitud para la temperatura media en las cuatro estaciones climatológicas del año.

Lo primero que destaca es que la longitud se elimina del modelo en todos los casos. La zona de estudio es relativamente pequeña y es tal el peso de la altitud y la latitud que la significancia de la longitud es irrelevante. El comportamiento para el invierno, la primavera y el otoño es muy similar: los valores de  $R^2$  ajustado para los modelos estacionales son similares y el valor de  $R^2$  ajustado de la altitud indica que es la variable que más influencia tiene en el comportamiento de la temperatura. Se cumplen las mismas condiciones que para la temperatura media anual, por lo que se confirma la validez de la regresión.

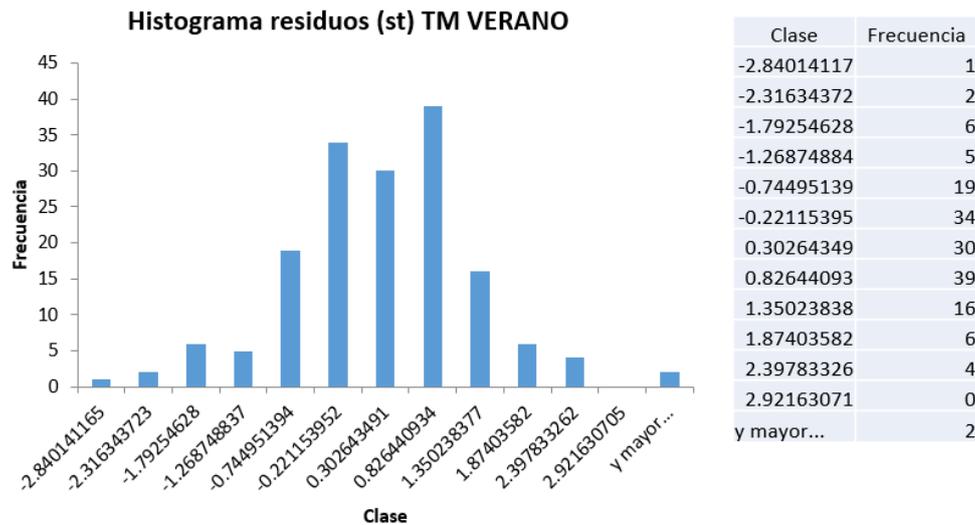
INVIERNO			R <sup>2</sup> ajustado modelo 0.922301		
	Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado		Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado
Intercepción	-40.4597	1	Intercepción	168.497454	1
ALTITUD	-0.005386	0.847451	ALTITUD	-0.004353	0.783048
LATITUD	0.00001	0.152549	LATITUD	-0.000031	0.216959
PRIMAVERA			R <sup>2</sup> ajustado modelo 0.919992		
	Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado		Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado
Intercepción	63.864891	1	Intercepción	40.099877	1
ALTITUD	-0.005138	0.901511	ALTITUD	-0.005182	0.896668
LATITUD	-0.000011	0.098489	LATITUD	-0.000005	0.103332
VERANO			R <sup>2</sup> ajustado modelo 0.790173		
	Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado		Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado
Intercepción	-40.4597	1	Intercepción	168.497454	1
ALTITUD	-0.005386	0.847451	ALTITUD	-0.004353	0.783048
LATITUD	0.00001	0.152549	LATITUD	-0.000031	0.216959
OTOÑO			R <sup>2</sup> ajustado modelo 0.925363		
	Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado		Coeficientes	R <sup>2</sup> ajustado
Intercepción	63.864891	1	Intercepción	40.099877	1
ALTITUD	-0.005138	0.901511	ALTITUD	-0.005182	0.896668
LATITUD	-0.000011	0.098489	LATITUD	-0.000005	0.103332

**Tabla 5.** Estadísticos para regresión de la temperatura media anual para cada estación climatológica del año en el periodo de referencia 1981-2010, frente a las variables independientes altitud, latitud y longitud. Se muestran sólo las variables con estadísticamente significativas ( $P$ -valor  $< 0,1$ ).

Como se dejó indicado anteriormente, el verano tiene un comportamiento algo diferente y, si bien la altitud sigue siendo la variable con mayor influencia, explicando un 78,30% de la variabilidad del modelo, vemos que la latitud entra con fuerza, con un 21,70%. Como en el caso de la temperatura media anual, vamos a comprobar el histograma de los residuos estándar para la regresión con altitud y latitud para ver si se cumple la condición de normalidad como se ha comprobado con el resto de estaciones y con la media anual. En la figura 14 se muestra el gráfico de temperatura media en verano frente a su pronóstico y en la figura 15 el histograma para los residuos estándar.



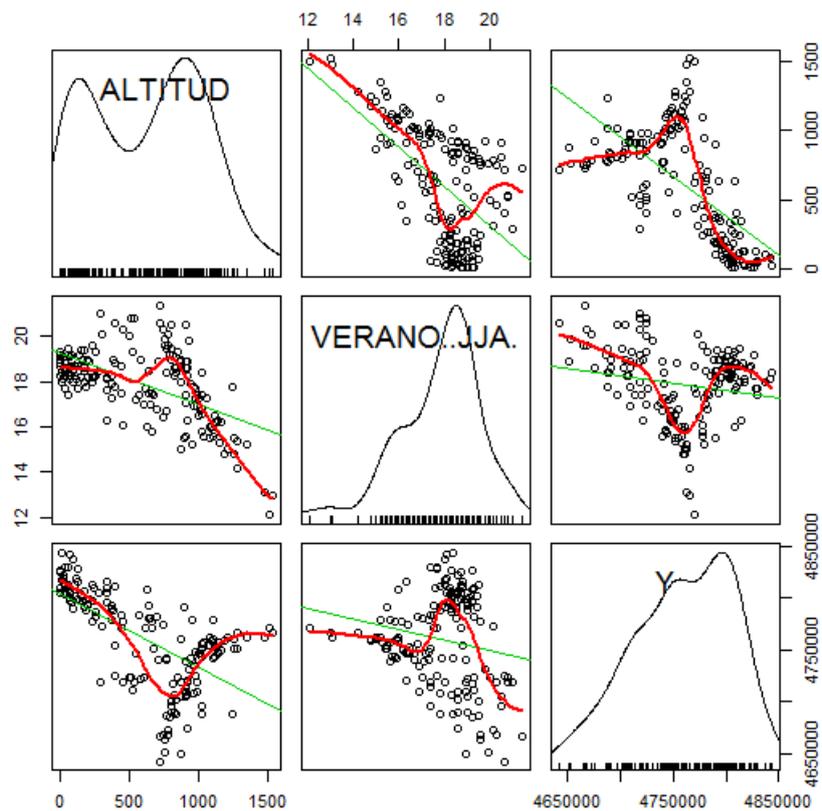
**Figura 14.** Predicción de la temperatura media en verano frente a su valor medido.



**Figura 15.** Histograma de residuos estándar para la regresión de la temperatura media en verano con las variables altitud y latitud.

Las figuras 14 y 15 parecen mostrar que el modelo de regresión sigue siendo válido, ya que se siguen cumpliendo, aproximadamente, las condiciones de linealidad y normalidad para los residuos. El histograma muestra una distribución aproximadamente normal, con unos valores máximo y mínimo de -2,84 y 3,44 respectivamente, lo que los sitúa dentro del rango de confianza de [-4,4].

Por último, si nos fijamos en la matriz de diagramas de dispersión de la temperatura media en verano, frente a la altitud y la latitud (Figura 16), podemos ver como a altitudes bajas hay una acumulación de valores de temperaturas entre 17 y 20°C aproximadamente y que, de nuevo, a las latitudes correspondientes a la Cordillera Cantábrica hay un descenso de temperaturas. Por otra parte, también se observa una acumulación de valores más altos de temperatura (18-20°C) a las latitudes correspondientes a la costa. Así pues, la entrada de latitud en el modelo de regresión de temperatura media en verano parece explicada al tener en cuenta que a las latitudes correspondientes a la costa se registran temperaturas más altas, de forma suficiente como para dar una mayor significancia estadística a esta variable.



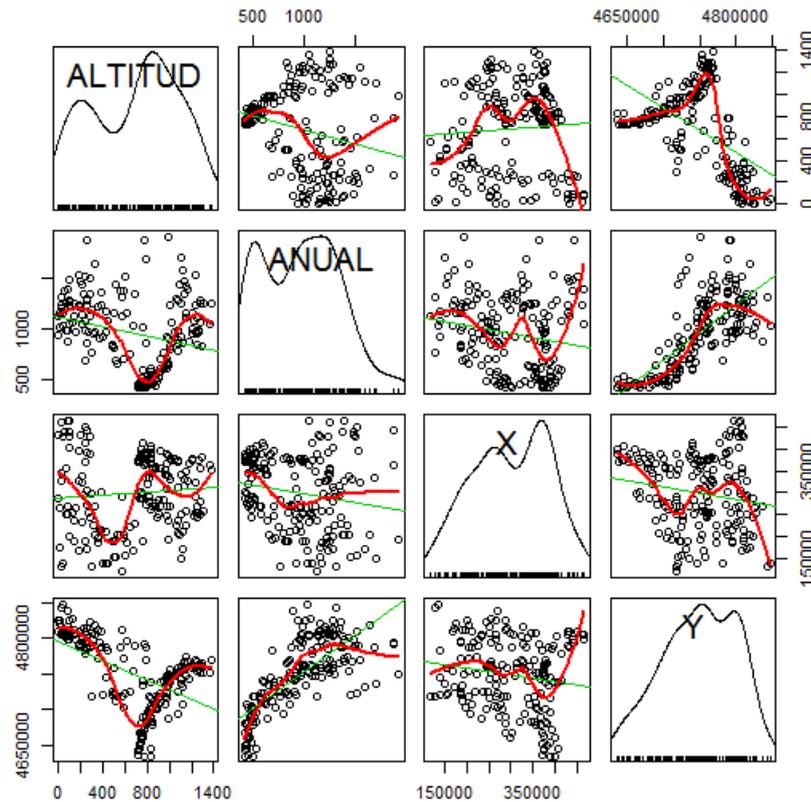
**Figura 16.** Matriz de diagramas de dispersión para la temperatura media en verano (junio, julio y agosto), frente a la altitud y la latitud.

### 3.5.2 Precipitación

Los datos de precipitaciones medias utilizados para la realización de este trabajo proceden de la serie de normales de precipitación (valores medios) en el periodo 1981-2010, publicados por AEMET en 2013. Estos datos se presentan en una hoja Excel de la que extraemos los datos de precipitación correspondientes a los doce meses del año y la precipitación acumulada anual para la provincia de Asturias y sus provincias limítrofes, al igual que en el caso de la temperatura media del aire.

#### *Matriz de diagramas de dispersión para la precipitación*

Comenzaremos estudiando el comportamiento de la precipitación anual, que es la suma de las precipitaciones para cada uno de los meses del año. La matriz de diagramas de dispersión para la precipitación anual frente a longitud, latitud y altitud se muestra en la figura 17.

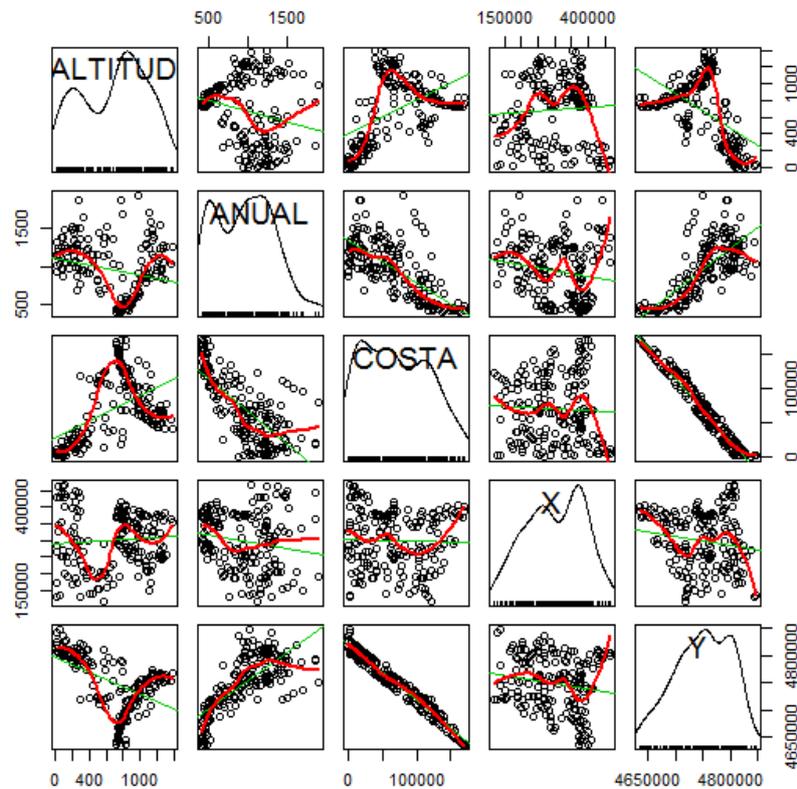


**Figura 17.** Matriz de diagramas de dispersión para la variable dependiente ANUAL (precipitación anual acumulada) y las independientes ALTITUD, X (longitud) e Y (latitud).

De la matriz de la figura 17 podemos sacar algunas ideas del comportamiento de la precipitación. Lo primero es que no hay una relación lineal con la altitud como había en el caso de la temperatura. En este caso, se observa un aumento aproximadamente lineal de la precipitación para altitudes medias y altas (por encima de los 800 metros), pero una mayor dispersión de los valores para altitudes bajas (por debajo de los 800 metros y hasta el nivel del mar). También se puede apreciar una cierta relación entre la precipitación y la latitud, viéndose mayores valores de precipitación hacia las zonas costeras. Estos dos comportamientos indican que, para una zona de estudio de estas características, la latitud es la variable con mayor peso en el comportamiento de la precipitación.

En los estudios de precipitación se suele introducir otra variable en el modelo, la distancia al mar. Se ha calculado, mediante un Sistema de Información Geográfica, ArcGIS versión 10.2.2, la distancia de cada estación de precipitación a la línea de costa. Los valores se añaden a la base de datos y se presenta la nueva matriz de diagramas de dispersión (Figura 18), en la que se aprecia que la latitud y la distancia al mar aportan una información similar. La introducción,

pues, de una nueva variable en este modelo no supone una mejora respecto a la explicación del comportamiento de la precipitación.



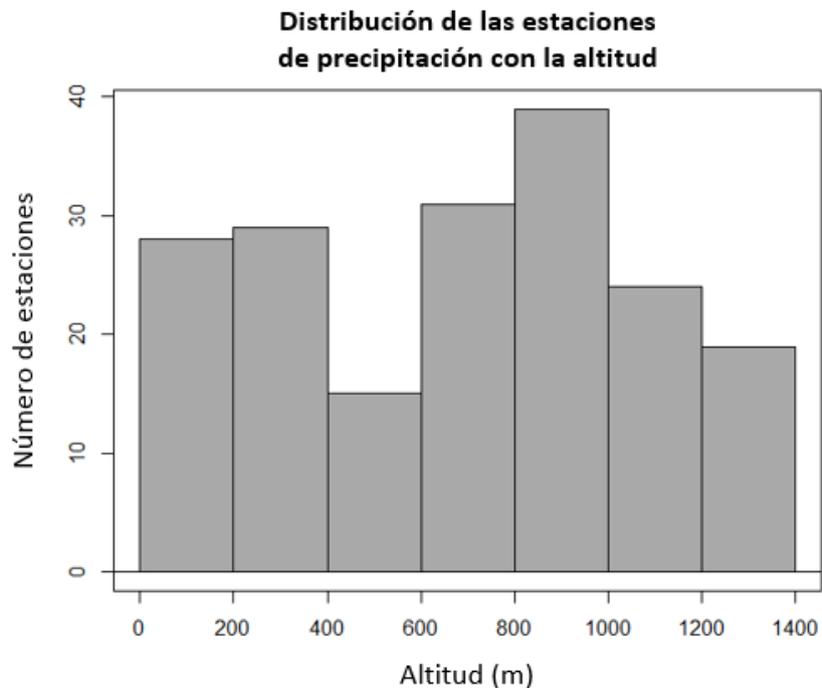
**Figura 18.** Matriz de diagramas de dispersión para la variable dependiente ANUAL (precipitación anual acumulada) y las independientes ALTITUD, X (longitud), Y (latitud) y COSTA (distancia al mar).

Realizando el mismo análisis para la precipitación mensual para cada uno de los meses del año se aprecia un comportamiento similar, por lo que el análisis y metodología aplicada a la precipitación acumulada serán los mismos en todos los casos de estudio de la precipitación.

#### *Correlación lineal descriptiva para la precipitación*

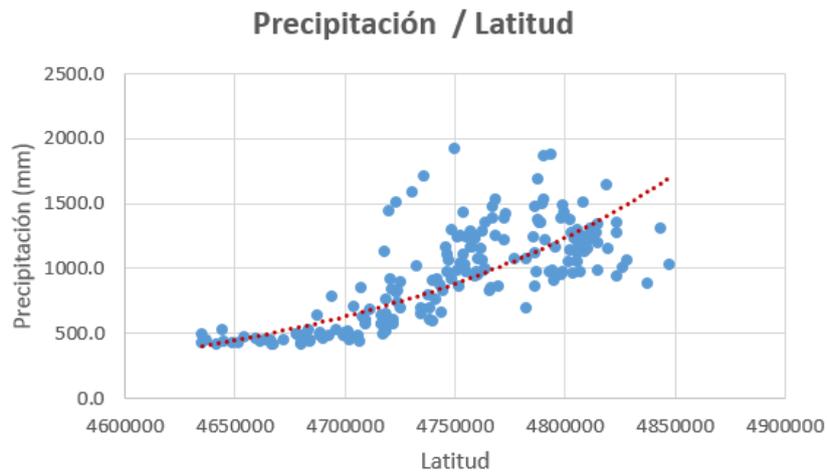
Tras el análisis del comportamiento de la precipitación, tanto anual acumulada como mensual, nos encontramos con que no se observan unas condiciones tan claras para hacer regresiones lineales como teníamos en el caso de la temperatura. Por una parte, la presencia de una cadena montañosa al sur de Asturias condiciona mucho el comportamiento climático, generando variaciones importantes en zonas de poca extensión geográfica. Además, la presencia de estaciones climatológicas no suele acumularse en zonas de montaña, por lo que esto genera un

déficit de mediciones, complicando la generación de la cartografía para zonas donde no se dispone de datos (Vicente y Saz, 2002). En la figura 19 se muestra la distribución de las estaciones de precipitación utilizadas para el estudio con respecto a la altitud. Se aprecia como hay una acumulación de estaciones para altitudes medias y bajas, disminuyendo el número de puntos de estudio a medida que aumenta la altitud.



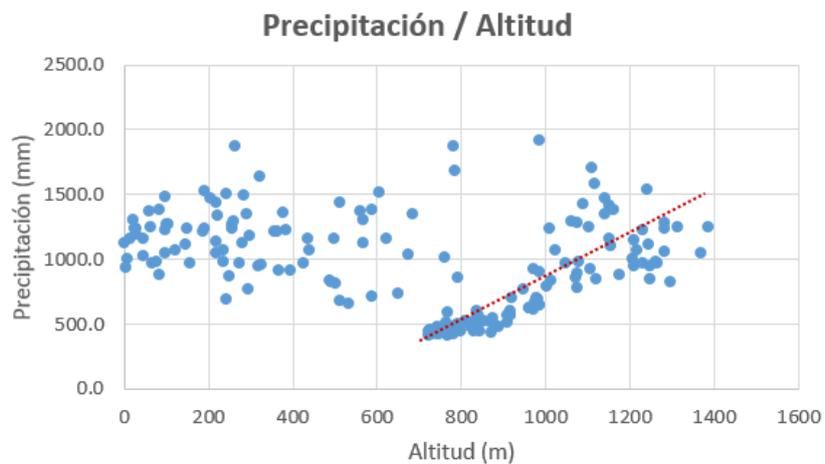
**Figura 19.** Número de estaciones climatológicas de medida de precipitación y su distribución en función de la altitud a la que se ubican.

Podemos tratar de buscar el mejor ajuste de los datos de precipitación con respecto a las variables para intentar ver en detalle el comportamiento del modelo. En la figura 20 se muestra la precipitación frente a la latitud, que es la pareja de variables con mayor correlación según vimos en los diagramas de dispersión de la figura 17. El mejor ajuste logrado presenta un  $R^2$  de 0,6506 pero ya no es un ajuste lineal, sino exponencial.



**Figura 20.** Representación de la precipitación anual acumulada frente a la latitud.

En la figura 21 vemos el comportamiento de la precipitación respecto a la altitud y comprobamos las diferentes tendencias de los datos que se mencionaba antes, con una mayor correlación para altitudes superiores a los 800 metros y mayor dispersión por debajo de estos valores.



**Figura 21.** Representación de la precipitación anual acumulada frente a la altitud.

Lo que vemos aquí es que para altitudes elevadas (por encima de los 800 metros) parece haber mayor correlación con la precipitación, pero es precisamente a altitudes elevadas donde hay menos datos.

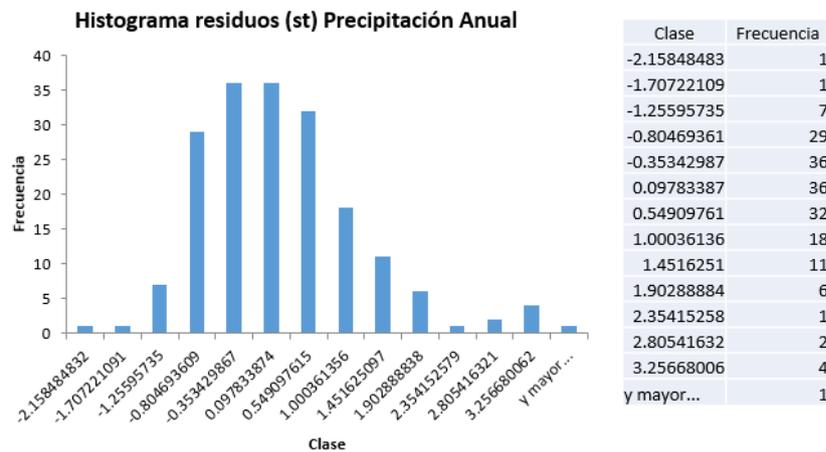
Para elegir finalmente qué metodología se empleará para la generación de los mapas de precipitación, se hará una comparación entre la regresión lineal y el cokriging, en ambos casos con las variables independientes longitud, latitud y altitud y también en ambos casos

interpolando los residuos generados en el análisis mediante splines. El análisis de regresión se realizará con el Sistema de Información Geográfica libre SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses), versión 2.1.2, mientras que el cokriging se hará con el software ArcGIS, versión 10.2.2.

a) Regresión lineal con longitud, latitud y altitud.

Hacemos el análisis de la misma manera que se hizo con la temperatura, obteniendo en todos los casos de estudio (precipitación anual acumulada y 12 meses independientes) que la latitud es la variable con mayor correlación con la altitud, variando los valores de  $R^2$  ajustado entre 0,4339 y 0,7259.

Los residuos estándar muestran una distribución aproximadamente normal, con ligera desviación hacia valores negativos (Figura 22).



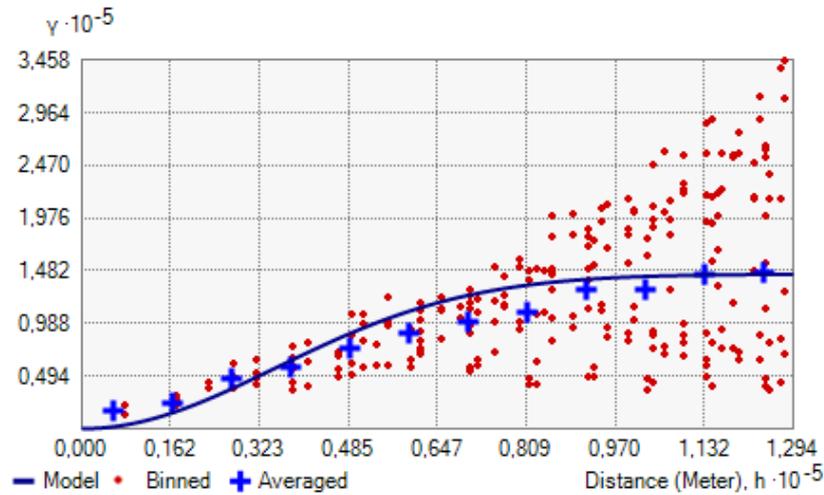
**Figura 22.** Histograma de residuos estándar para la regresión de la precipitación anual acumulada con las variables longitud, latitud y altitud.

b) Cokriging

El kriging es un método de interpolación geoestadístico que, al contrario que los métodos de interpolación puramente matemáticos (métodos determinísticos), tiene en cuenta las relaciones estadísticas entre los puntos medidos.

En este caso se realiza el mapa de predicción de la precipitación anual introduciendo en el modelo las tres variables habituales, por lo que el método se denomina cokriging (modelo de regresión lineal multivariable). El tipo de cokriging seleccionado es el ordinario.

La figura 23 muestra el mejor ajuste conseguido mediante un semivariograma de tipo gaussiano. Los residuos estándar se sitúan en un rango entre -2,78 y 2,40.



**Figura 23.** Semivariograma para el cokriging ordinario de la precipitación anual con longitud, latitud y altitud.

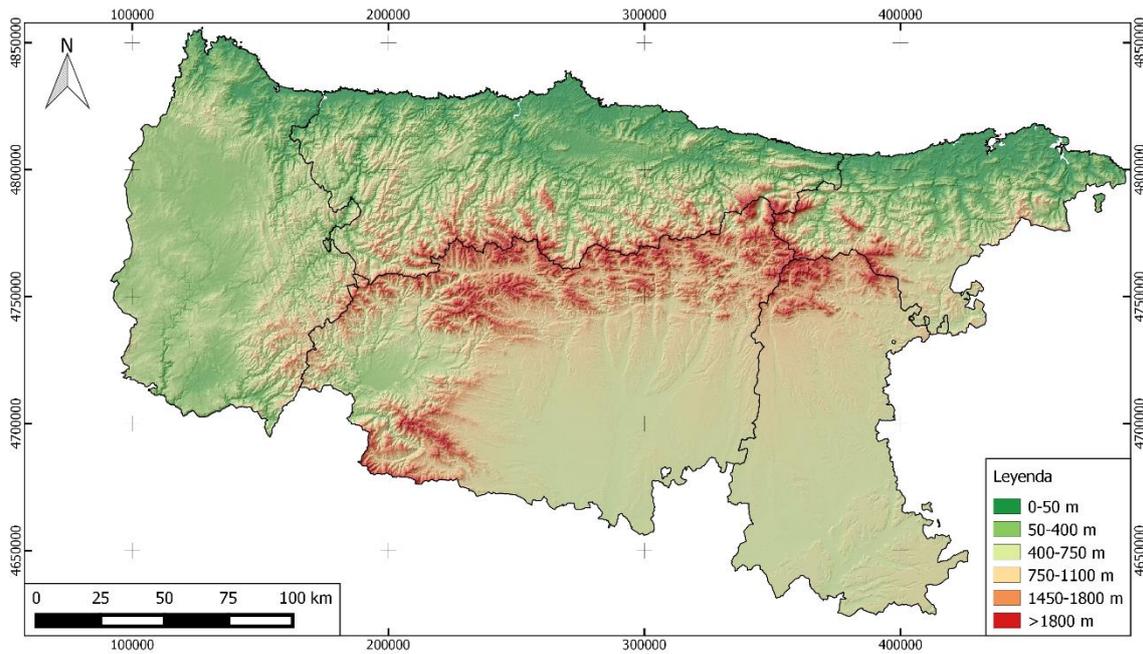
En el capítulo de resultados se mostrará una comparativa entre los mapas de precipitación obtenidos por ambos métodos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Mapas de temperatura media del aire

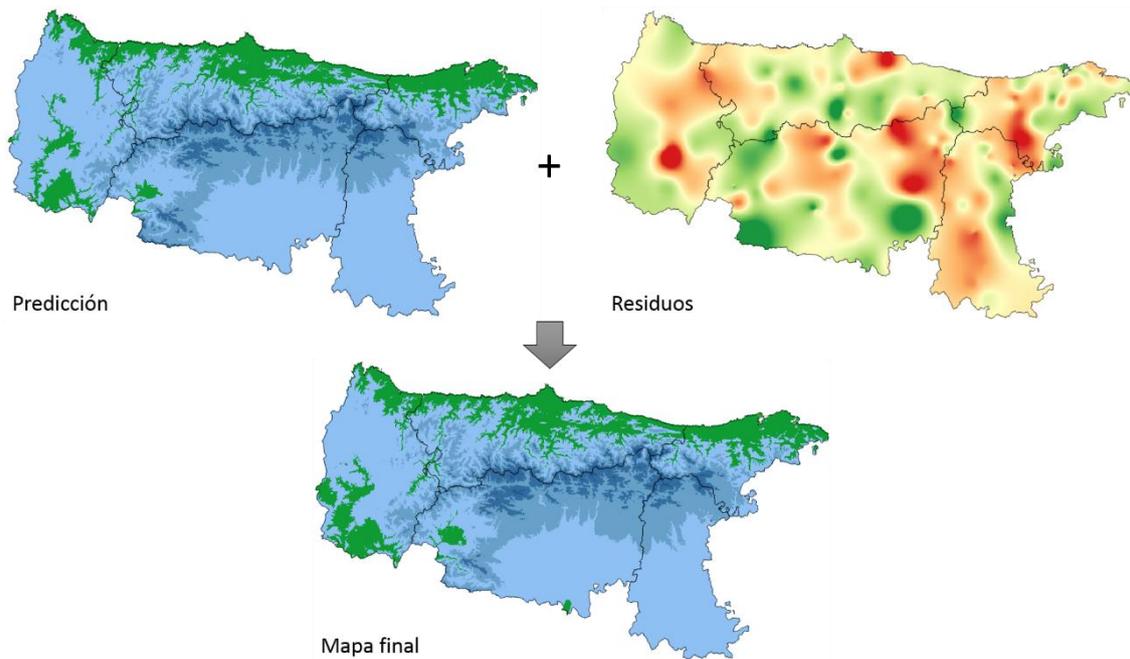
Una vez vista la relación entre las variables y comprobadas las condiciones del modelo de regresión lineal, se elaborarán los mapas de temperatura media del aire para cada uno de los casos de estudio en el periodo 1981-2010. El procedimiento se lleva a cabo con el software SAGA.

En análisis de regresión dentro de SAGA se hace con dos tipos de variables. Por un lado de tipo numérico, que son variables que proceden directamente de la base de datos y se encuentran en tablas (temperaturas medias, longitud y latitud). Por otro lado, la altitud se introduce en el modelo trabajando directamente con un raster, que en este caso es el MDE de 100 metros de resolución con el que contamos para el trabajo (Figura 24).



**Figura 24.** Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de 100 metros de resolución para las provincias de Asturias, Lugo, León, Palencia y Cantabria sobre un hillshade para apreciar mejor el relieve.

Primero se hace una estimación de la variable que se quiere estudiar (temperatura media), mediante la regresión lineal, de forma que se obtiene para cada punto un valor de los residuos. Estos residuos, al ser calculados para cada punto, tienen también una estructura espacial, por lo que serán interpolados mediante splines, que es un método de interpolación exacto, donde el valor estimado en el punto de observación coincide con el valor real (Vicente y Saz, 2002). Como también conocemos las ecuaciones de regresión para cada caso (Tabla 6), las aplicamos mediante álgebra de mapas, obteniendo el mapa de estimación de la variable. La suma del mapa de predicción de la variable y del mapa de la interpolación de los residuos dará como resultado el mapa final de temperatura media (Figura 25).

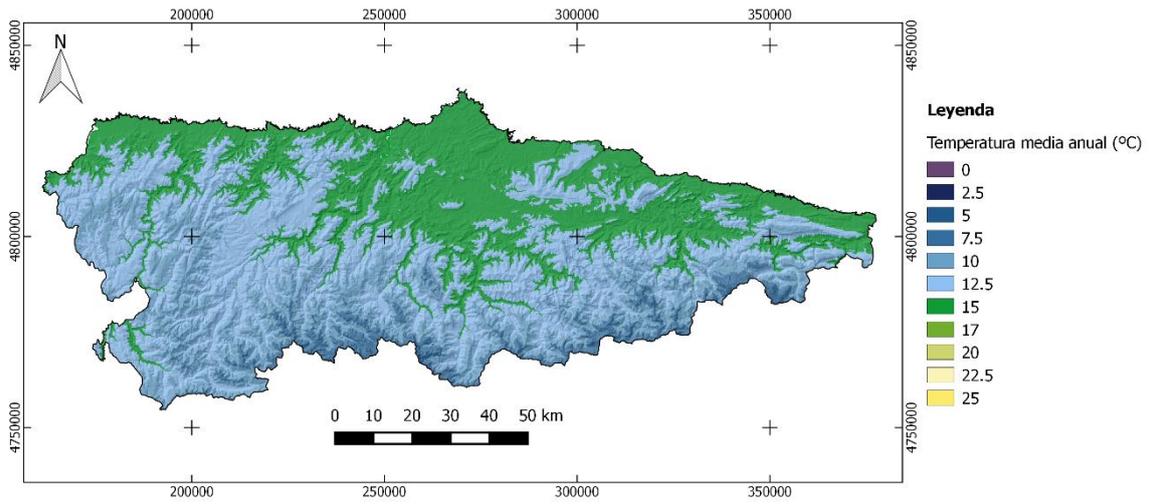


**Figura 25.** Proceso de interpolación de temperatura media del aire. El mapa final es el resultado de la suma de los mapas de estimación de la variables más la suma de los residuos para cada valor estimado.

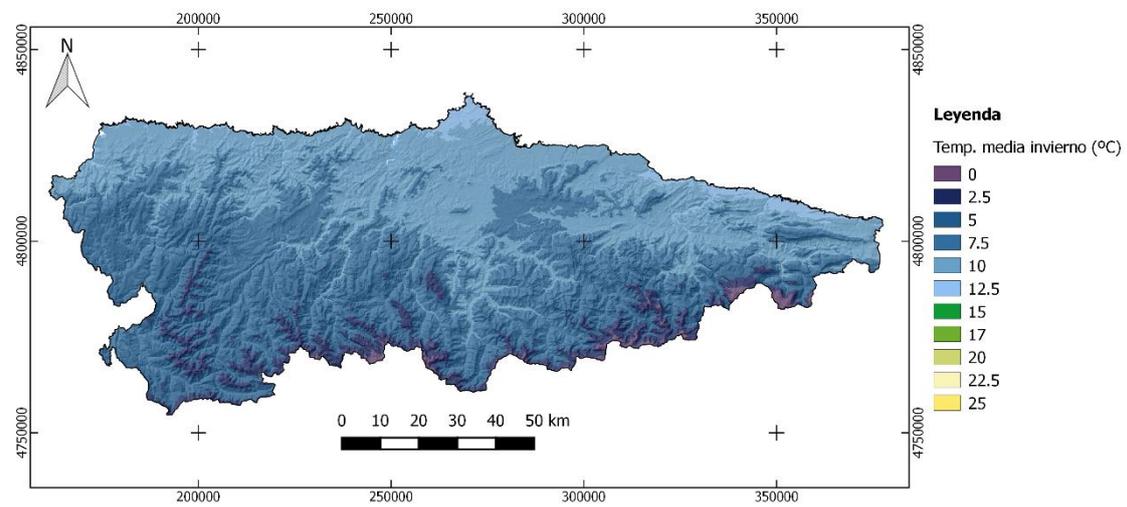
Estación	Ecuación de la regresión
Media anual	$62.3201 - 0.005161 * ALT - 0.000010 * LATITUD$
Invierno	$-40.4597 - 0.005386 * ALTITUD + 0.000010 * LATITUD$
Primavera	$63.8648 - 0.005138 * ALTITUD - 0.000001 * LATITUD$
Verano	$168.4974 - 0.004353 * ALTITUD - 0.000031 * LATITUD$
Otoño	$40.0998 - 0.005182 * ALTITUD - 0.000005 * LATITUD$

**Tabla 6.** Ecuaciones de regresión para cada uno de los casos de estudio de la temperatura media del aire en el periodo de referencia 1981-2010.

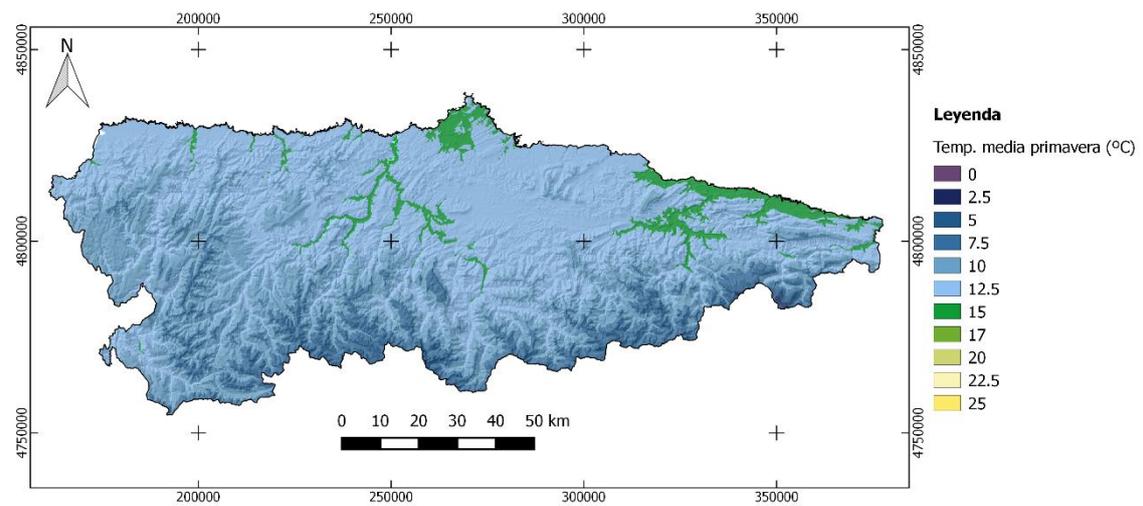
Las figuras 26 a 30 muestran los mapas de la temperatura media del aire en el periodo 1981-2010, teniendo en cuenta las variables independientes latitud y altitud. Todas las capas de datos y mapas finales presentados en este trabajo han sido gestionados con el Sistema de Información Geográfica libre QGIS versión 2.8.1 (Wien).



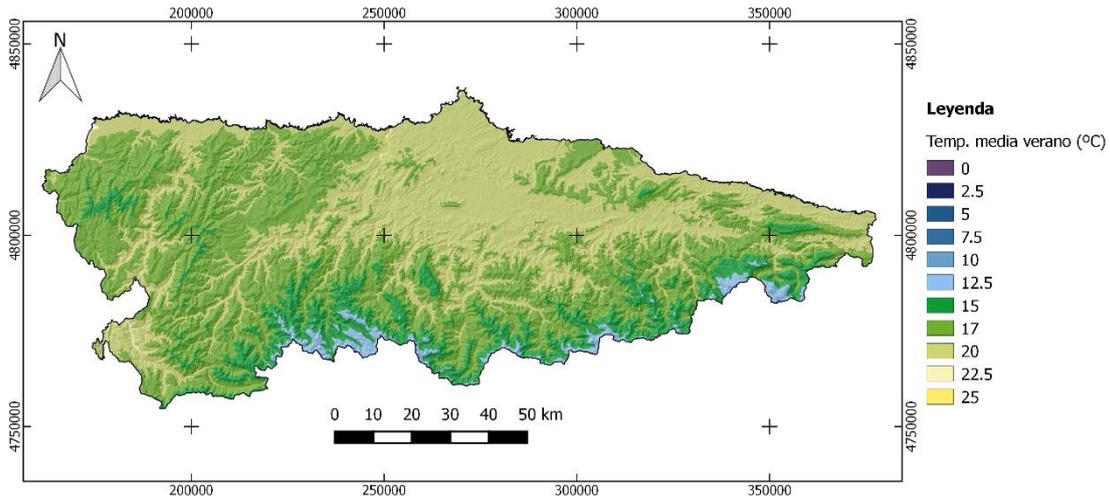
**Figura 26.** Temperatura media anual.



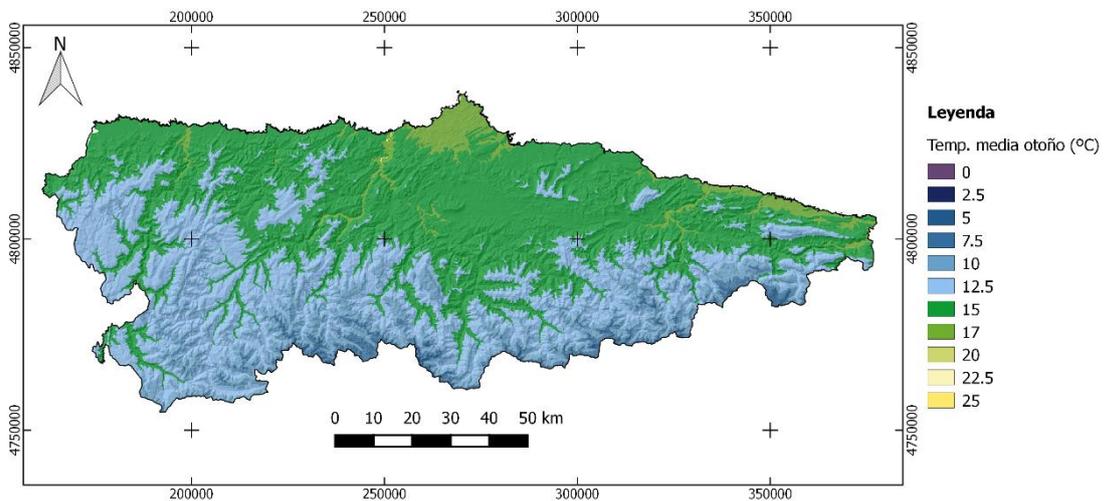
**Figura 27.** Temperatura media en invierno.



**Figura 28.** Temperatura media en primavera.



**Figura 29.** Temperatura media en verano.



**Figura 30.** Temperatura media en otoño.

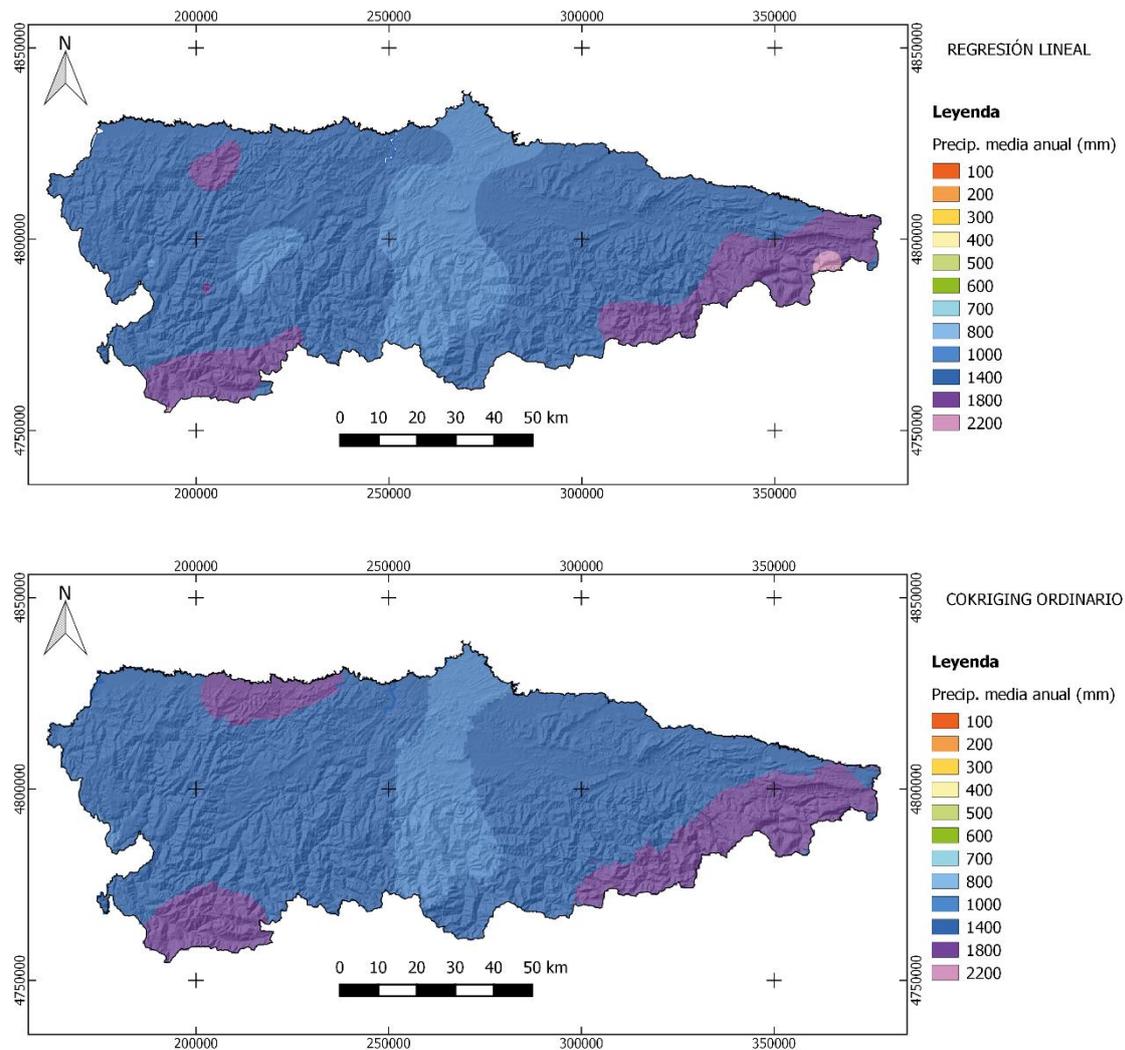
#### 4.2 Mapas de precipitaciones medias

En el caso de las precipitaciones, vamos a presentar una comparativa entre los mapas obtenidos mediante regresión lineal en SAGA y cokriging en ArcGIS, tal y como se especificaba en el capítulo de análisis de datos.

El procedimiento es similar en ambos casos. Con la regresión lineal se procede igual que se hizo en el caso de la temperatura; primero se realiza un mapa de estimación de la variable, después uno con los residuos interpolados mediante splines y, finalmente, se suman ambos mapas. En el caso del cokriging el mapa de estimación se obtiene siguiendo el asistente de ArcGIS para el análisis geoestadístico, que permite el ajuste del modelo mediante el semivariograma. El cokriging es, en definitiva, un método de análisis geoestadístico flexible. La interpolación de los

residuos se realiza también mediante splines y, de nuevo, se suman ambos mapas para obtener el mapa final.

La figura 31 muestra los resultados de la interpolación de la precipitación anual acumulada mediante regresión lineal y mediante cokriging ordinario. Al igual que en el caso de las temperaturas medias, los mapas han sido creados con QGIS 2.8.1.

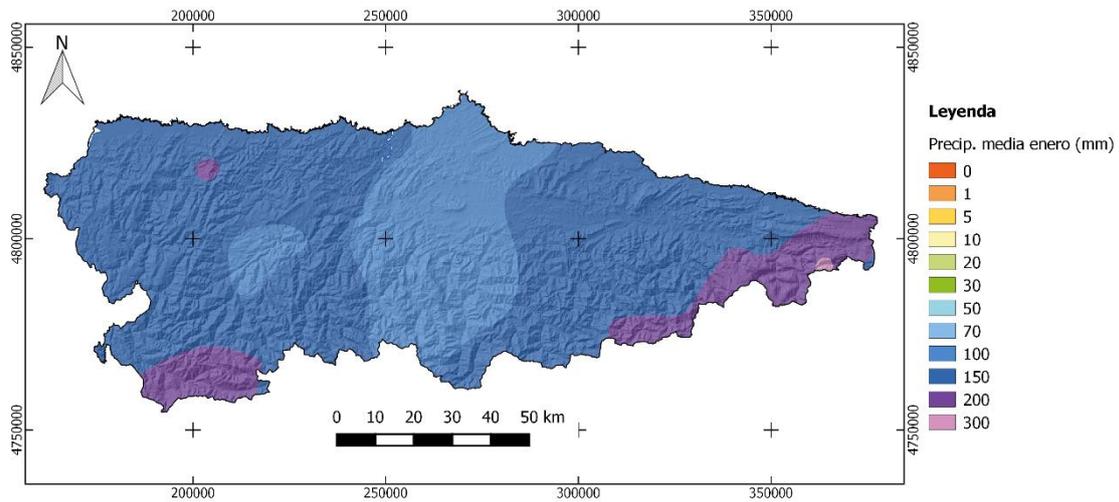


**Figura 31.** Comparativa entre dos métodos de interpolación de la precipitación anual acumulada. Arriba: regresión lineal múltiple. Abajo: cokriging ordinario. Ambos casos con variables independientes longitud, latitud y altitud.

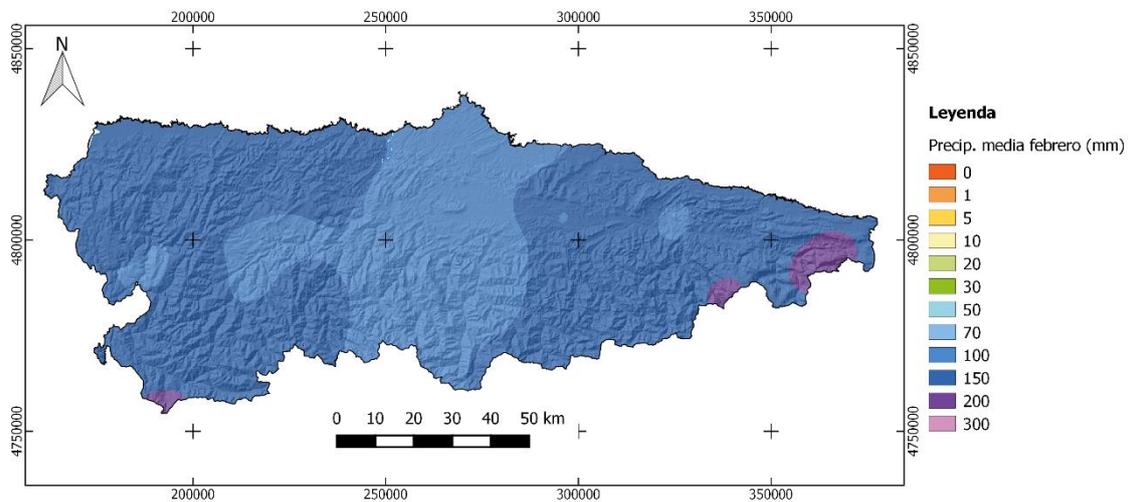
Viendo que los resultados son muy similares y que AEMET suele trabajar haciendo regresiones lineales en SAGA, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos siguiendo la misma metodología, si bien hemos comprobado en el capítulo de análisis de datos que sería

conveniente un mayor número de datos en estaciones situadas a altitudes elevadas para poder estimar mejor la relación entre las variables.

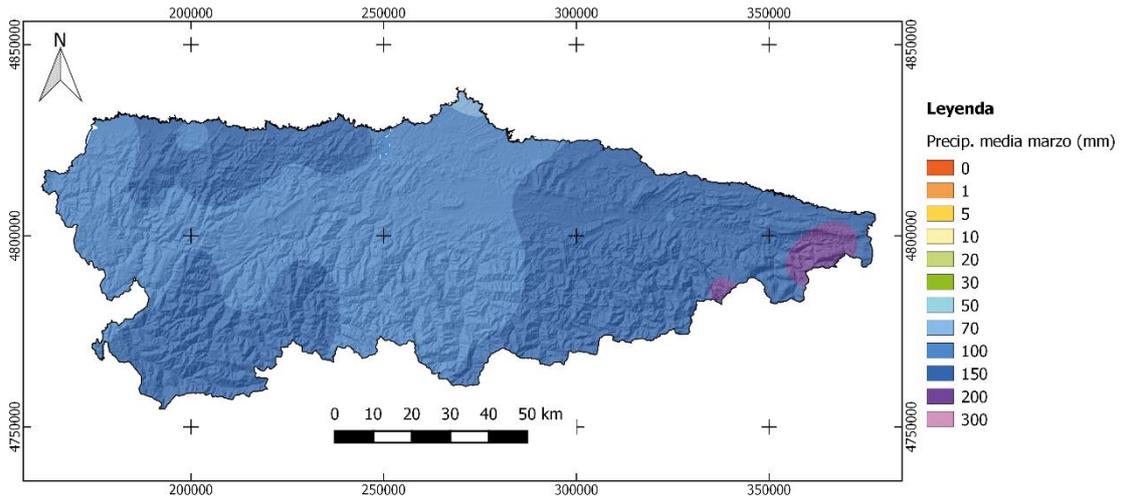
En la figura 31 ya se ha presentado el mapa con la precipitación anual acumulada en el periodo 1981-2010. En las figuras 32 a 43 se muestran los mapas de precipitación para cada mes en el mismo periodo.



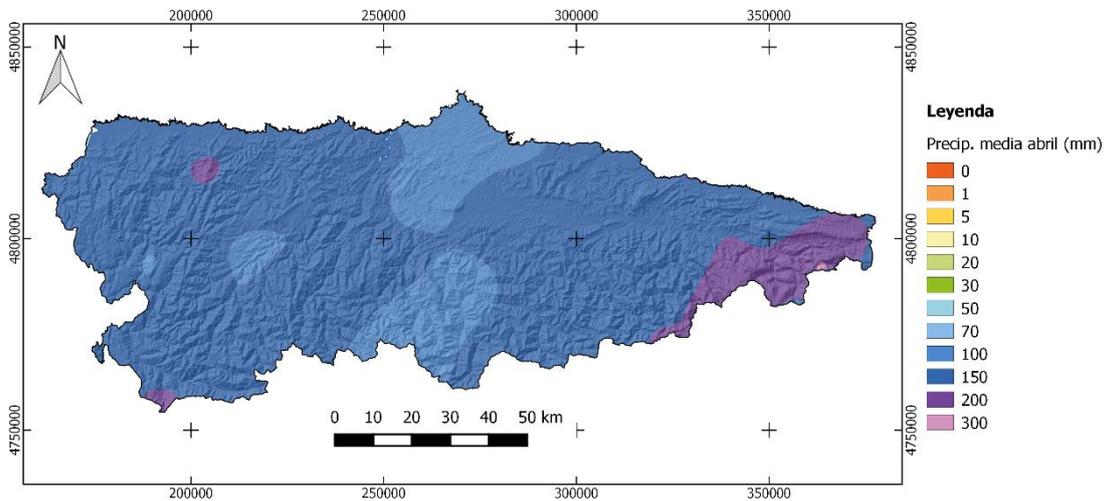
**Figura 32.** Precipitación media para el mes de enero.



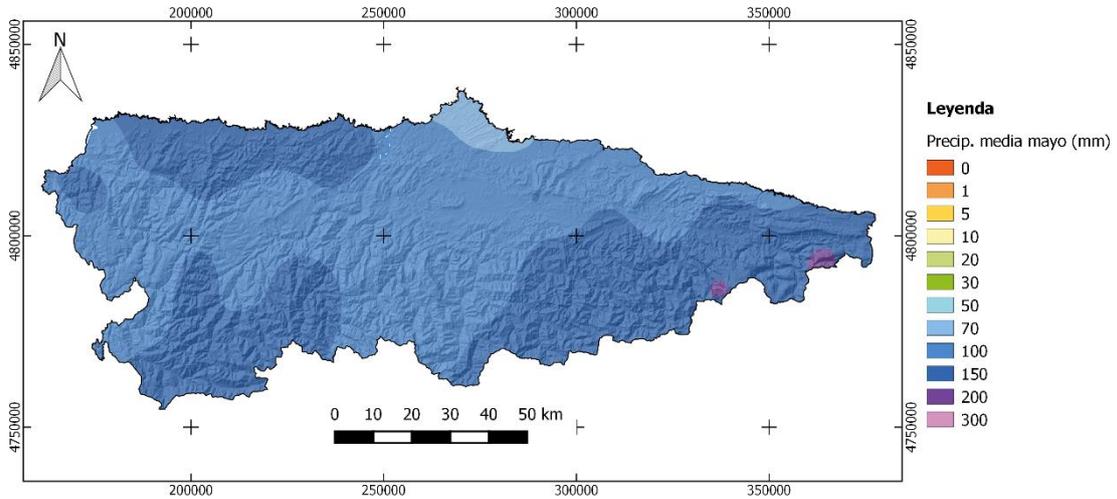
**Figura 33.** Precipitación media para el mes de febrero.



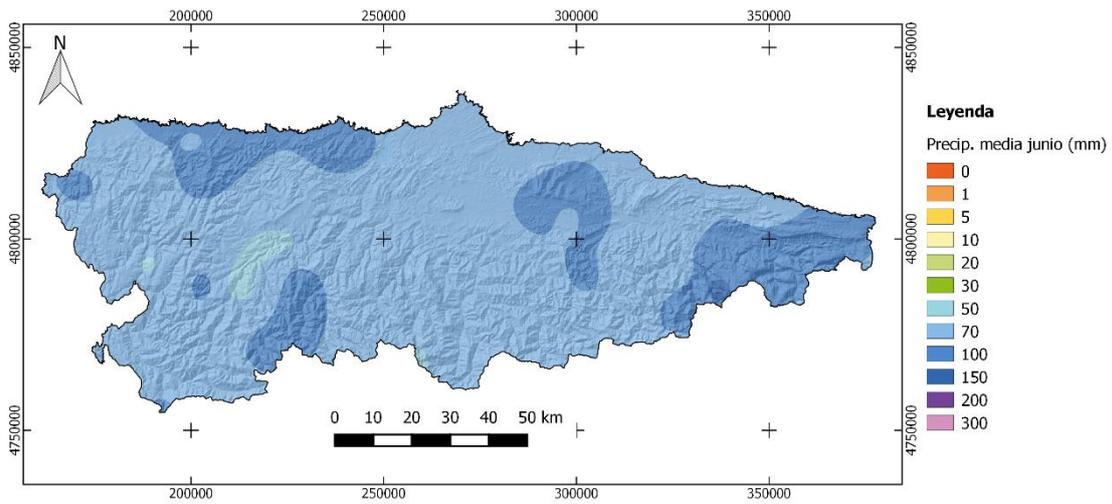
**Figura 34.** Precipitación media para el mes de marzo.



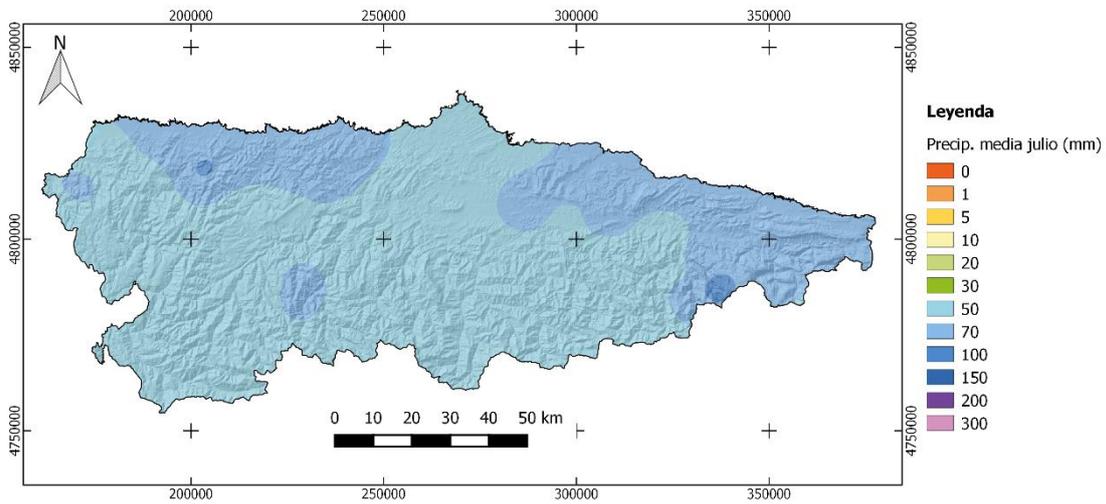
**Figura 35.** Precipitación media para el mes de abril.



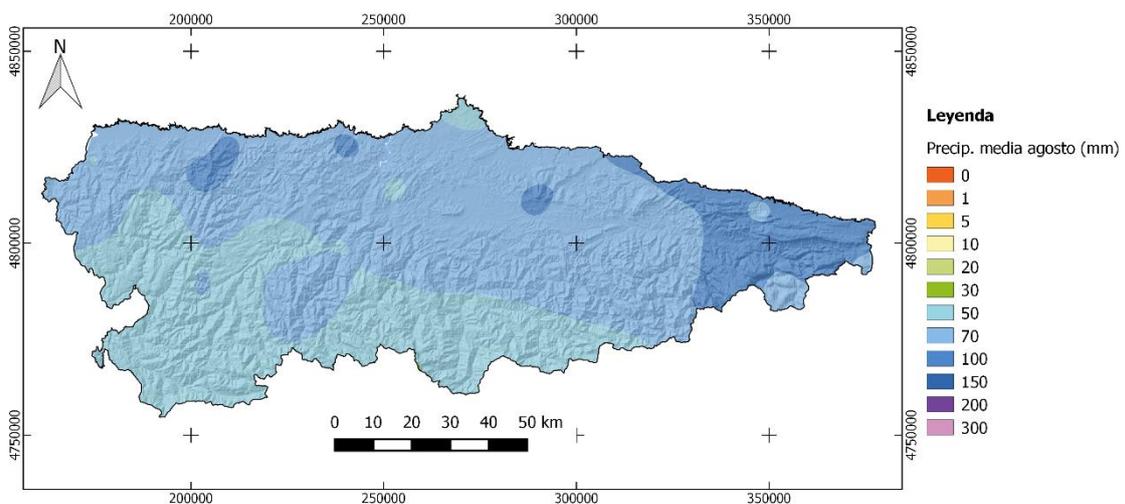
**Figura 36.** Precipitación media para el mes de mayo.



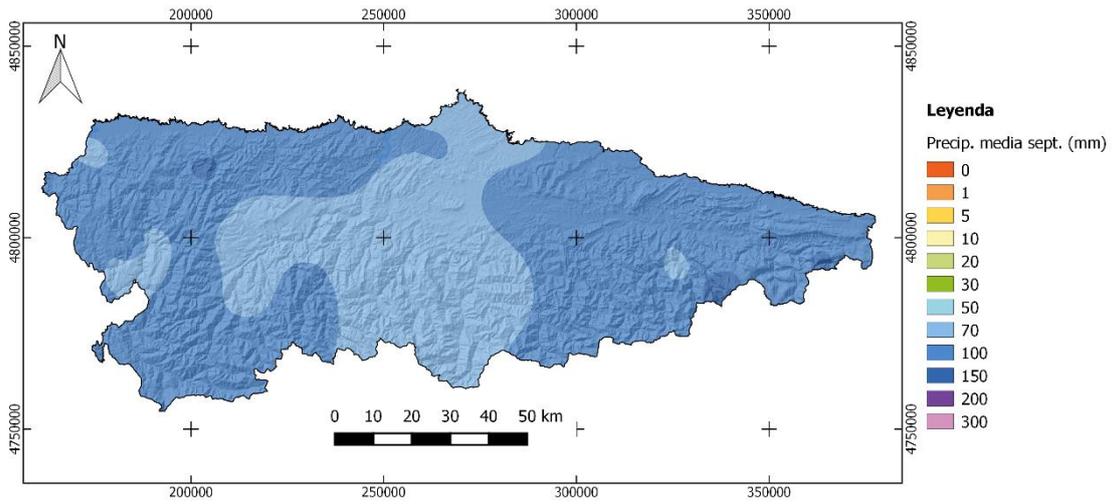
**Figura 37.** Precipitación media para el mes de junio.



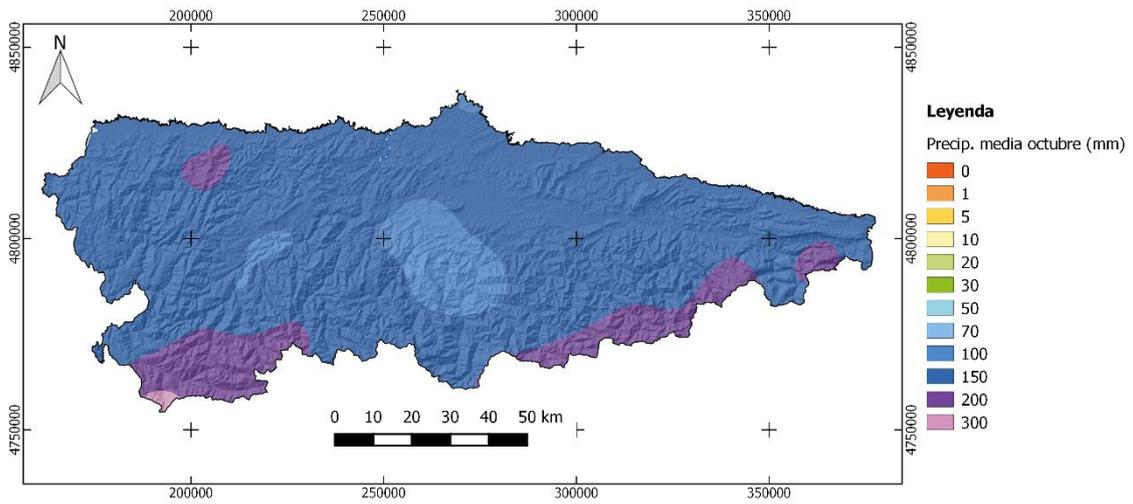
**Figura 38.** Precipitación media para el mes de julio.



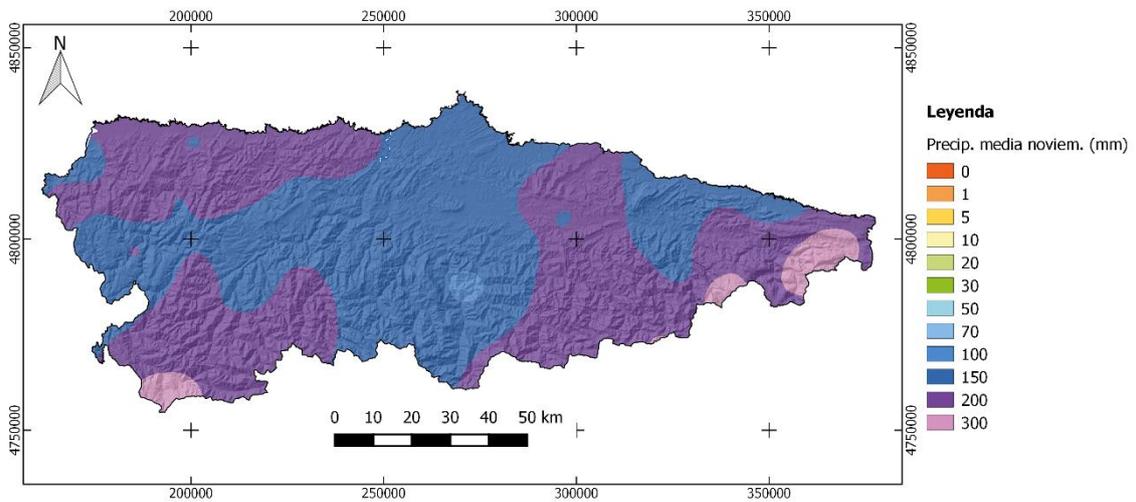
**Figura 39.** Precipitación media para el mes de agosto.



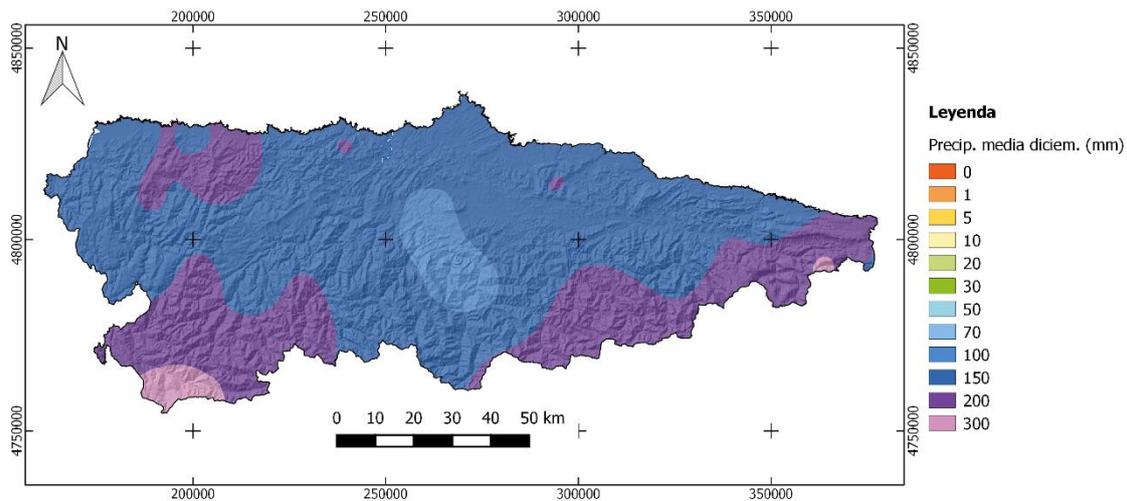
**Figura 40.** Precipitación media para el mes de septiembre.



**Figura 41.** Precipitación media para el mes de octubre.



**Figura 42.** Precipitación media para el mes de noviembre.



**Figura 43.** Precipitación media para el mes de diciembre.

### 4.3 Clasificación climática de Köppen-Geiger para Asturias

La clasificación climática de Köppen, originalmente creada en 1900, se utiliza para definir distintos tipos de clima en función de los valores medios mensuales de temperatura y precipitación. Con estos valores se diferencian varios grupos y subgrupos climáticos que se identifican por un código de letras. Posteriores modificaciones a la clasificación original, introducidas por el propio Wladimir Köppen y otros autores, conducen a la clasificación modificada de Köppen-Geiger, que será la que se utilice en este trabajo. El código de letras que se utiliza consta de una primera letra mayúscula que define el clima en cinco grandes grupos basándose, principalmente, en criterios térmicos, una segunda letra minúscula que subdivide el grupo anterior según la distribución estacional de la precipitación y una tercera letra minúscula que define el régimen térmico de la zona (Cuadrat y Pita, 1997).

Según los criterios térmicos, los principales grupos climáticos son:

*A – clima tropical lluvioso.* Todos los meses la temperatura media es superior a 18 °C. No existe estación invernal y las precipitaciones son abundantes.

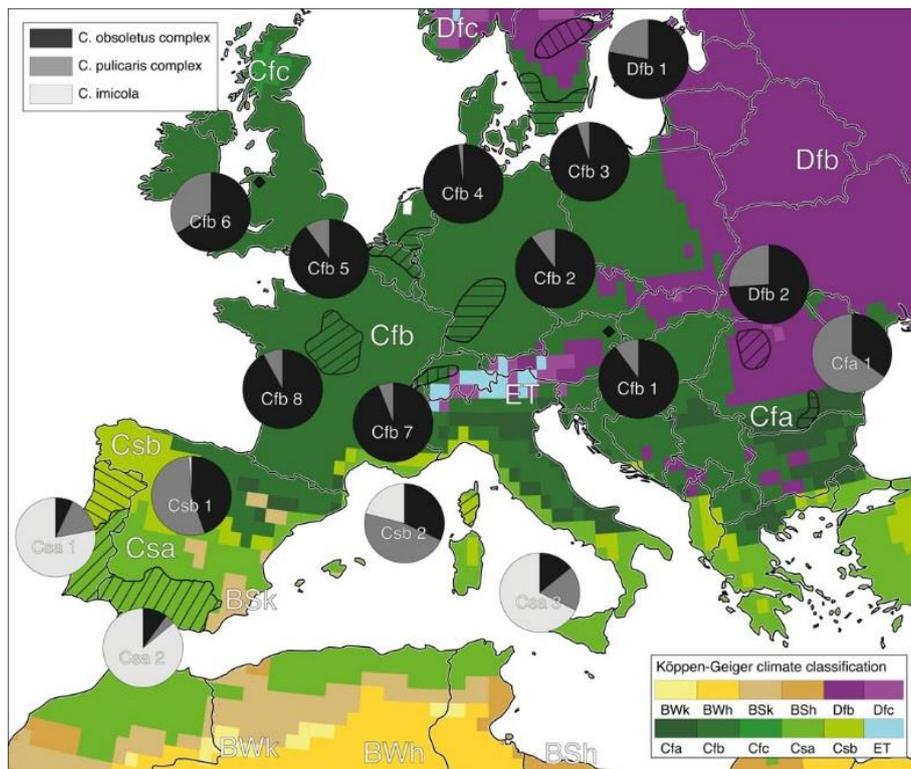
*B – climas secos.* La evaporación es superior a la precipitación.

*C – climas templados y húmedos.* El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 0 y 18 °C y la media del mes más cálido supera los 10 °C.

*D – climas templados de invierno frío.* La temperatura media del mes más frío es inferior a 0 °C y la del mes más cálido está por encima de 10 °C.

*E – climas polares.* No tienen estación cálida y el promedio mensual de las temperaturas es siempre inferior a 10 °C. Cuando el mes más cálido oscila entre 0 y 10 °C de media se denomina clima ET (clima de tundra) y cuando la temperatura media no supera en ningún mes los 0 °C se denomina EF (clima de hielo permanente).

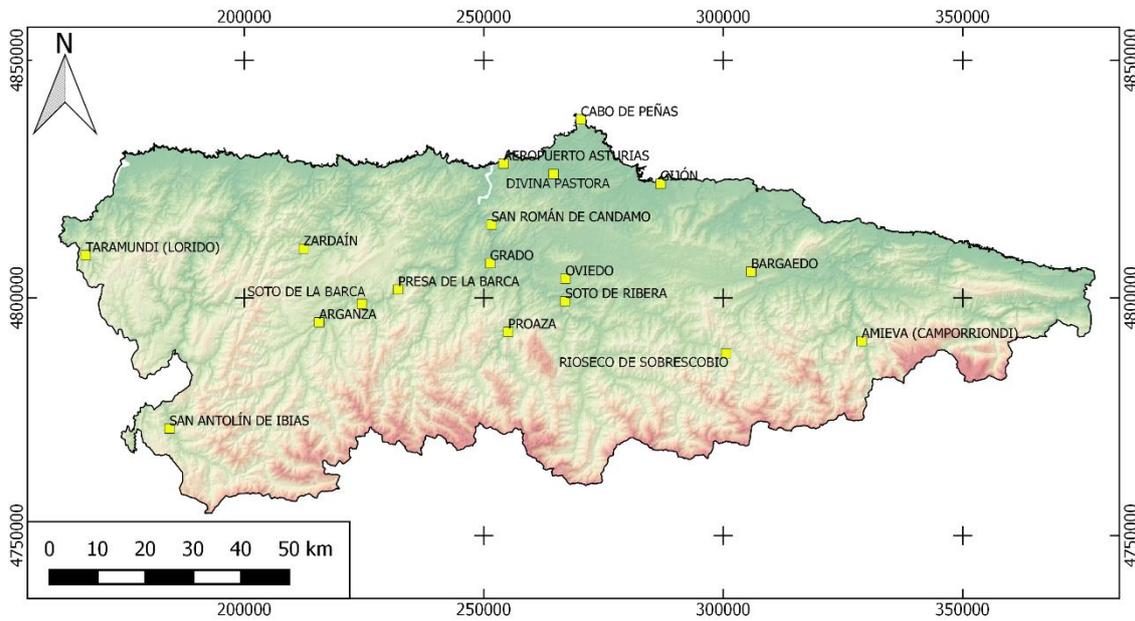
En la figura 44 se muestra la clasificación climática modificada de Köppen-Geiger para Europa, donde se aprecia que la Península Ibérica queda definida principalmente por climas B y C, aunque AEMET distingue en zonas de alta montaña en regiones de muy poca extensión los climas D y E (Atlas Climático Ibérico, 2011).



**Figura 44.** Clasificación modificada de Köppen-Geiger para Europa. La Península Ibérica queda definida esencialmente por climas de tipo B (secos) y C (templados y húmedos). Fuente: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>

Para elaborar la clasificación climática que defina Asturias con más precisión que en la figura 44 utilizamos los datos de temperatura y precipitación estudiados durante este trabajo, seleccionando las estaciones que registran durante el periodo 1981-2010 ambas series de datos a la vez (estaciones termopluviométricas). La ubicación de las 18 estaciones seleccionadas se muestra en la figura 45. Aplicando los criterios de clasificación que se resumen en la figura 46, se establecen los intervalos de precipitación y temperatura que dividen la zona de estudio en

dos climas, Cfb y Csb. Los climas Cfb son climas templados sin estación seca y con verano templado; es el tipo de clima que domina la cornisa cantábrica. Los climas Csb son climas templados con verano seco y templado; es el clima predominante en el noroeste de la Península Ibérica.

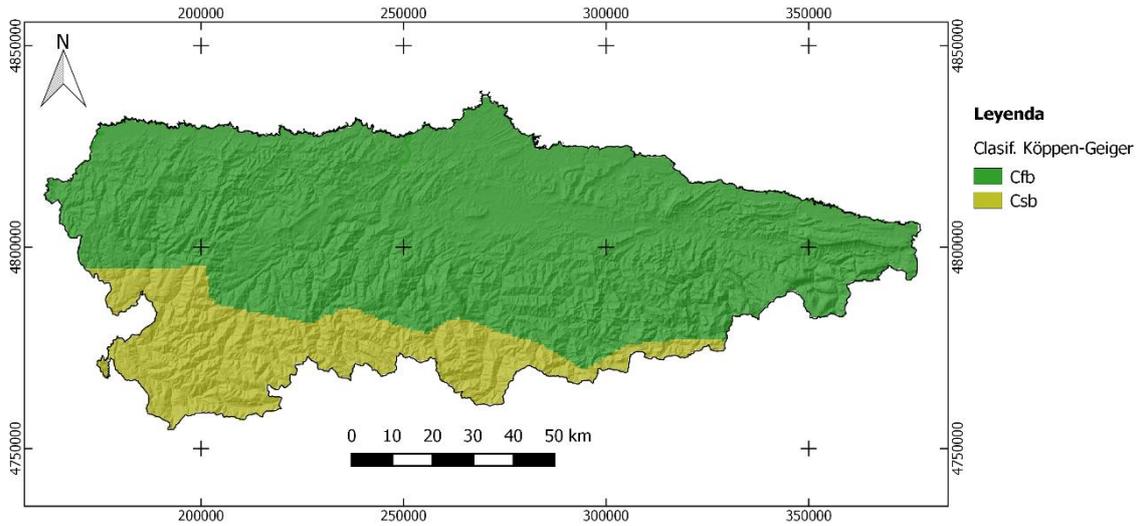


**Figura 45.** Ubicación de las 18 estaciones termopluviométricas dentro de la zona de estudio para el periodo 1981-2010.

Código	Criterio	Código	Criterio
<b>A</b>	T del mes más frío $\geq 18^{\circ}\text{C}$	<b>D</b>	T del mes más cálido $> 10^{\circ}\text{C}$ y T del mes más frío $\leq 0^{\circ}\text{C}$
f	R del mes más seco $\geq 60\text{ mm}$	s	R del mes más seco $< 40\text{ mm}$ y $< 1/3$ del total del mes más húmedo del invierno
m	R del mes más seco $< 60\text{ mm} > 100\text{-R}/25$	w	R del mes más seco del invierno $< 1/10$ de R del mes más húmedo del verano
w	R del mes más seco $< 100\text{-R}/25$	f	Ninguna de las condiciones anteriores
	$\geq 70\%$ de la R anual en verano y $R < 20T + 280$	a	T del mes más cálido $\geq 22^{\circ}\text{C}$
<b>B</b>	$\geq 70\%$ de la R anual en invierno y $R < 20T$	b	T de los 4 meses más cálidos $> 10^{\circ}\text{C}$ y T del mes más cálido $< 22^{\circ}\text{C}$
	$< 70\%$ de la R anual en verano e invierno y $R < 20T + 140$	c	T de uno a tres meses $\geq 10^{\circ}\text{C}$ y T del mes más cálido $< 22^{\circ}\text{C}$
W	$R < 1/2(20T)$	d	T del mes más frío $< -38^{\circ}\text{C}$
S	$R < (20T)$ y $R > 1/2(20T)$	<b>E</b>	T del mes más cálido $\leq 10^{\circ}\text{C}$
h	$T > 18^{\circ}\text{C}$	T	T del mes más cálido entre $0$ y $10^{\circ}\text{C}$
k	$T < 18^{\circ}\text{C}$	F	T del mes más cálido $\leq 0^{\circ}\text{C}$
<b>C</b>	T del mes más cálido $> 10^{\circ}\text{C}$ y T del mes más frío entre $0$ y $18^{\circ}\text{C}$		
s	R del mes más seco $< 40\text{ mm}$ y $< 1/3$ del total del mes más húmedo del invierno		
w	R del mes más seco del invierno $< 1/10$ de R del mes más húmedo del verano		
f	Ninguna de las condiciones anteriores		
a	T del mes más cálido $\geq 22^{\circ}\text{C}$		
b	T de los 4 meses más cálidos $> 10^{\circ}\text{C}$ y T del mes más cálido $< 22^{\circ}\text{C}$		
c	T de uno a tres meses $\geq 10^{\circ}\text{C}$ y T del mes más cálido $< 22^{\circ}\text{C}$		

**Figura 46.** Criterios de temperatura (T) y precipitación (R) según la clasificación modificada de Köppen-Geiger. A: clima tropical lluvioso, B: clima seco, C: clima templado y húmedo, D: clima templado de invierno frío, E: clima polar.

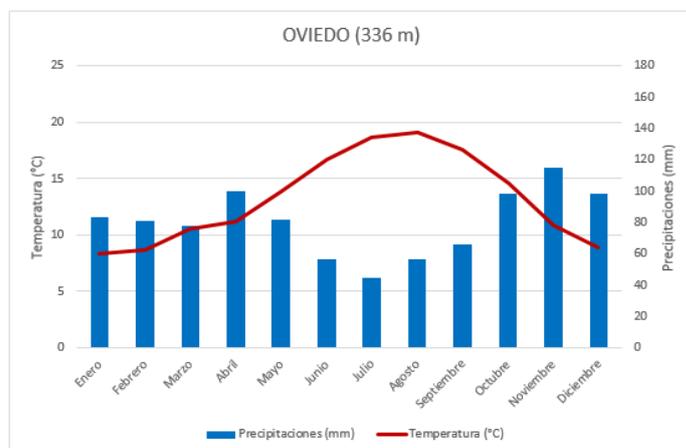
La figura 47 presenta, finalmente, el mapa con la clasificación climática modificada de Köppen-Geiger de Asturias elaborada con los datos disponibles para la realización de este trabajo.



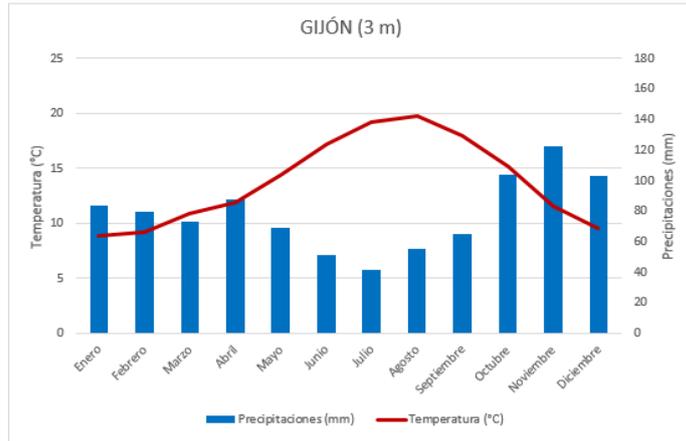
**Figura 47.** Mapa con la clasificación climática modificada de Köppen-Geiger para Asturias, región que queda definida por climas de tipo Cfb (templados sin estación seca y con verano templado) y Csb (templados con verano seco y templado).

En la figura 48 se presentan los climogramas de las estaciones empleadas para la clasificación con sus valores medios de temperatura y precipitación durante el periodo 1981-2010. En ellos se aprecian las condiciones que definen los climas tipo C, temperaturas medias templadas (el mes más frío nunca baja de 0 °C) y lluvioso todo el año. Por último, las tablas 7 y 8 muestran los valores promedio, mínimo y máximo para la temperatura media del aire y la precipitación media en cada caso de estudio planteado en este trabajo.

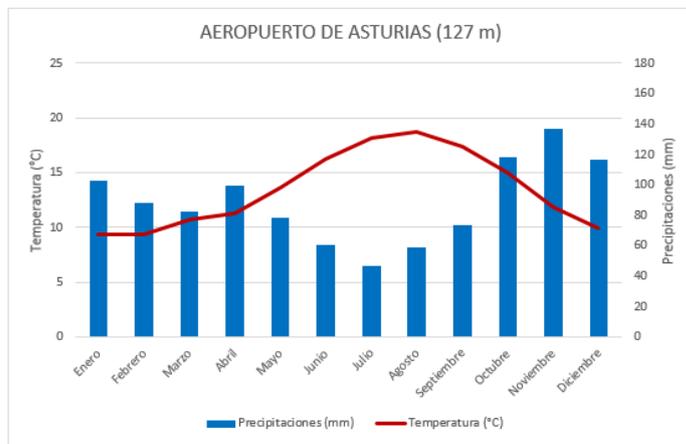
OVIEDO		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	8.3	83.6
Febrero	8.7	80.9
Marzo	10.5	77.7
Abril	11.2	99.9
Mayo	13.9	81.8
Junio	16.7	56.8
Julio	18.7	44.9
Agosto	19.1	56.4
Septiembre	17.6	66.1
Octubre	14.6	98.5
Noviembre	10.9	114.7
Diciembre	8.9	98.5



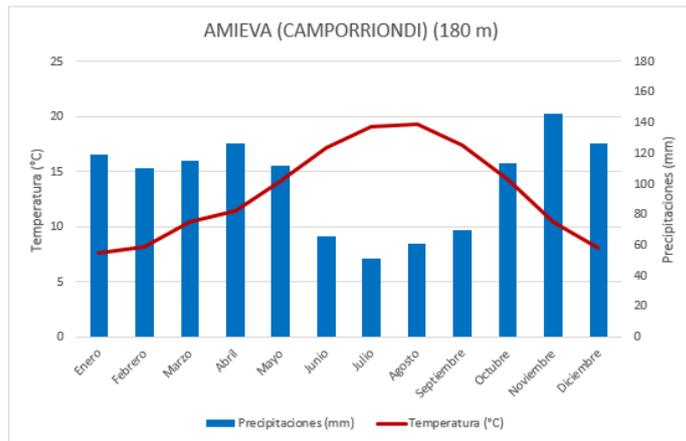
GIJÓN		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	8.9	83.3
Febrero	9.2	79.9
Marzo	10.9	73.3
Abril	11.9	87.5
Mayo	14.4	68.7
Junio	17.1	51.3
Julio	19.3	41.5
Agosto	19.8	55.6
Septiembre	17.9	65.1
Octubre	15.1	103.9
Noviembre	11.6	122.6
Diciembre	9.5	102.9



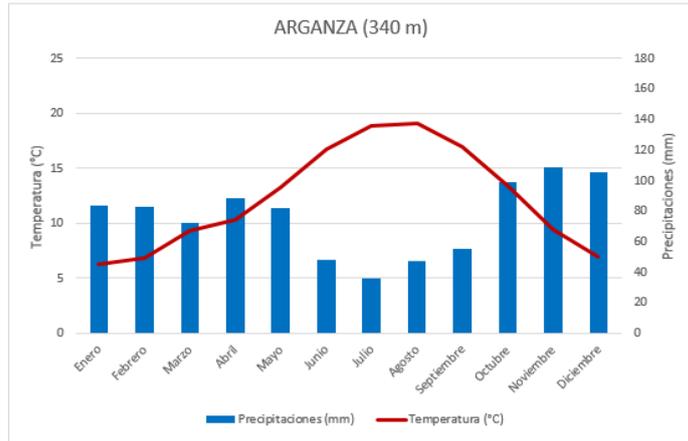
AEROPUERTO DE ASTURIAS		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	9.4	102.8
Febrero	9.4	88.2
Marzo	10.7	82.3
Abril	11.3	99.2
Mayo	13.6	78.7
Junio	16.2	60.7
Julio	18.2	46.9
Agosto	18.8	59.1
Septiembre	17.4	73.2
Octubre	15.0	118.1
Noviembre	11.8	137.1
Diciembre	10.0	116.8



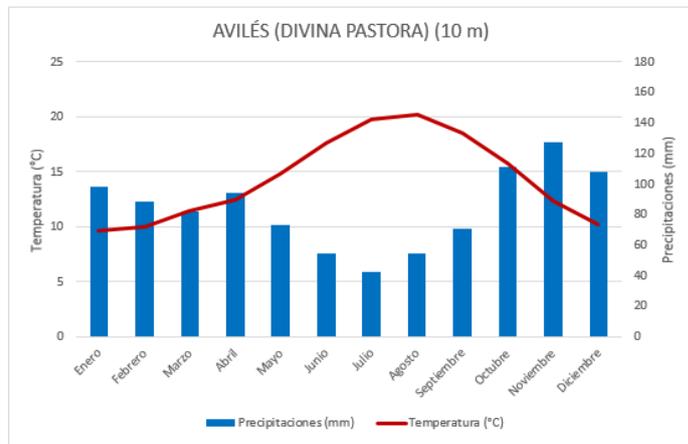
AMIEVA (CAMPORRIONDI)		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	7.7	119.7
Febrero	8.2	110.7
Marzo	10.4	115.0
Abril	11.4	126.3
Mayo	14.2	112.4
Junio	17.1	65.8
Julio	19.1	51.3
Agosto	19.3	60.9
Septiembre	17.4	69.7
Octubre	14.3	113.7
Noviembre	10.4	145.6
Diciembre	8.1	126.5



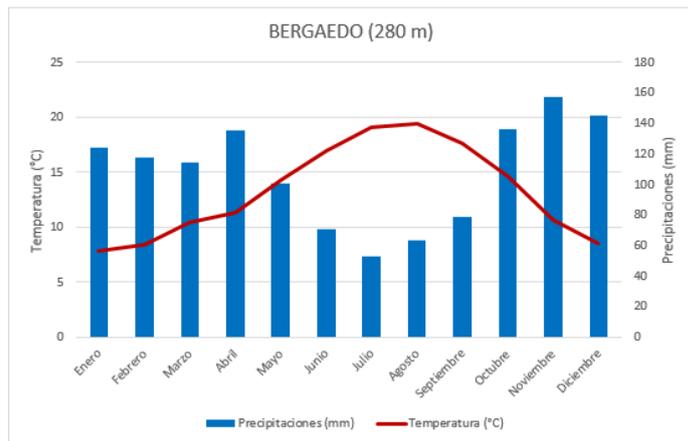
ARGANZA		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	6.3	83.4
Febrero	6.9	82.6
Marzo	9.3	72.2
Abril	10.3	88.5
Mayo	13.2	82.4
Junio	16.7	48.2
Julio	18.9	36.2
Agosto	19.1	47.1
Septiembre	16.9	55.2
Octubre	13.4	99.1
Noviembre	9.4	108.7
Diciembre	7.0	105.6



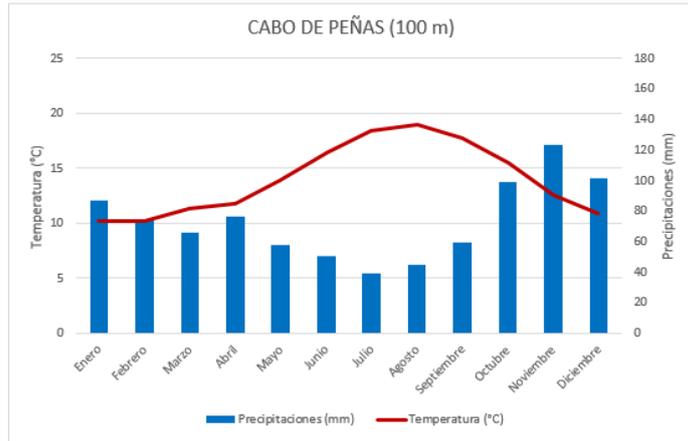
AVILÉS (DIVINA PASTORA)		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	9.7	98.5
Febrero	10.0	88.8
Marzo	11.4	82.4
Abril	12.4	94.4
Mayo	14.9	73.5
Junio	17.6	54.3
Julio	19.7	42.3
Agosto	20.2	54.6
Septiembre	18.5	70.4
Octubre	15.8	111.6
Noviembre	12.4	127.6
Diciembre	10.3	108.1



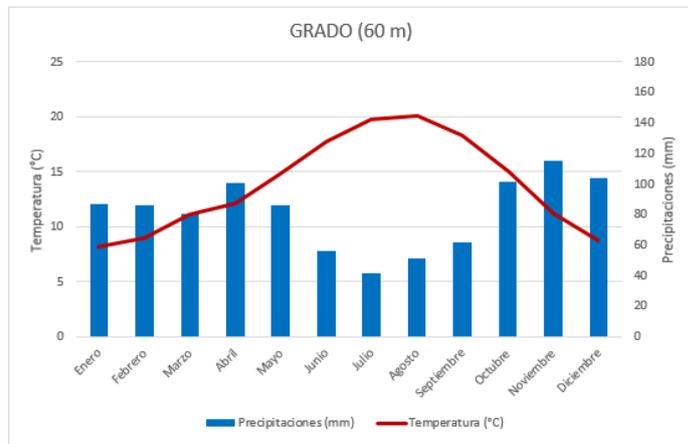
BERGAEDO		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	7.8	124.2
Febrero	8.4	117.3
Marzo	10.4	114.4
Abril	11.4	135.2
Mayo	14.2	100.8
Junio	17.0	70.9
Julio	19.1	52.8
Agosto	19.4	63.5
Septiembre	17.6	79.2
Octubre	14.6	136.1
Noviembre	10.7	157.1
Diciembre	8.5	145.2



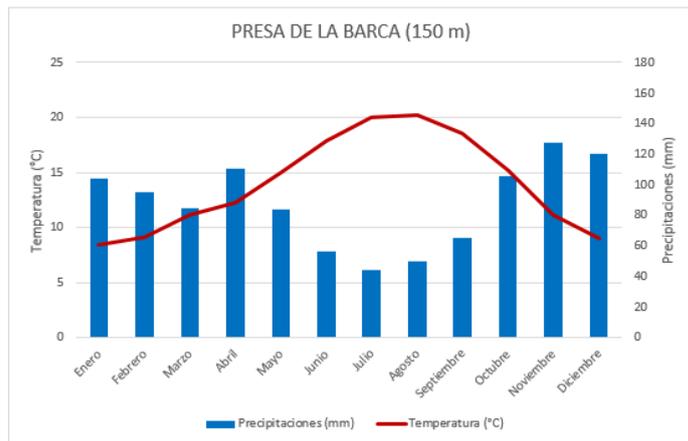
CABO DE PEÑAS		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	10.2	86.6
Febrero	10.2	73.9
Marzo	11.3	66.1
Abril	11.8	76.6
Mayo	14.0	58.1
Junio	16.4	50.7
Julio	18.4	39.1
Agosto	19.0	45.1
Septiembre	17.7	59.5
Octubre	15.5	98.8
Noviembre	12.6	123.4
Diciembre	10.9	101.4



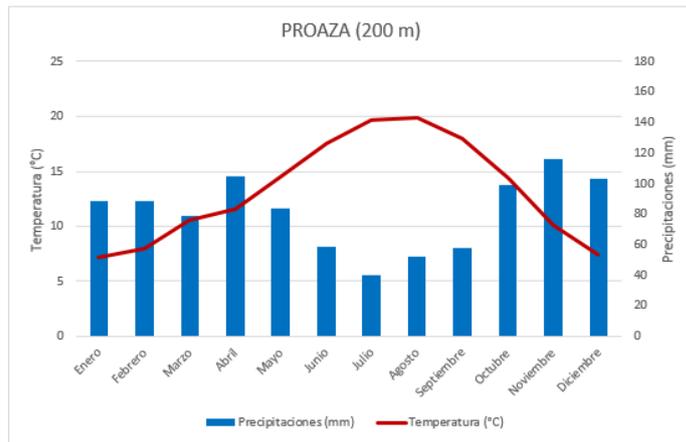
GRADO		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	8.2	87.3
Febrero	8.9	86.0
Marzo	11.1	80.8
Abril	12.1	101.0
Mayo	14.9	86.4
Junio	17.8	56.0
Julio	19.8	42.0
Agosto	20.1	51.4
Septiembre	18.3	62.1
Octubre	15.1	101.4
Noviembre	11.2	115.5
Diciembre	8.7	104.0



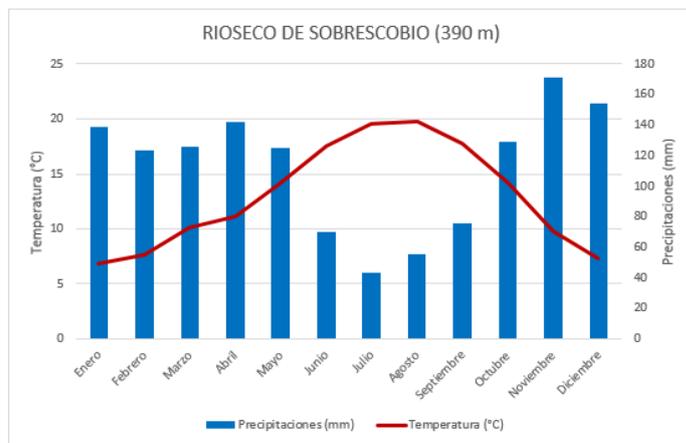
PRESA DE LA BARCA		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	8.4	104.3
Febrero	9.1	95.1
Marzo	11.1	84.5
Abril	12.2	110.9
Mayo	14.9	84.2
Junio	17.9	56.4
Julio	20.0	44.2
Agosto	20.3	49.9
Septiembre	18.6	65.5
Octubre	15.2	105.9
Noviembre	11.2	127.7
Diciembre	9.0	120.2



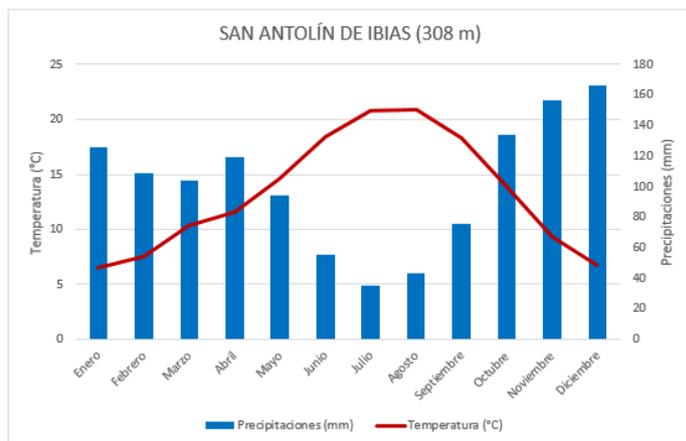
PROAZA		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	7.2	88.2
Febrero	8.0	88.3
Marzo	10.6	79.0
Abril	11.6	105.0
Mayo	14.5	83.7
Junio	17.6	58.6
Julio	19.7	39.8
Agosto	19.9	52.0
Septiembre	18.0	58.2
Octubre	14.4	99.2
Noviembre	10.1	116.5
Diciembre	7.4	103.0



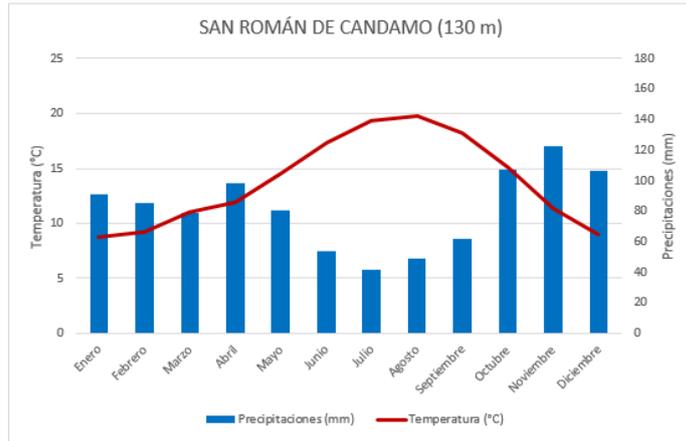
RIOSECO DE SOBRESOBIO		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	6.8	138.5
Febrero	7.6	123.2
Marzo	10.1	125.5
Abril	11.1	142.3
Mayo	14.1	125.2
Junio	17.5	70.2
Julio	19.6	43.0
Agosto	19.8	55.6
Septiembre	17.8	76.0
Octubre	14.2	128.8
Noviembre	9.8	171.1
Diciembre	7.3	154.0



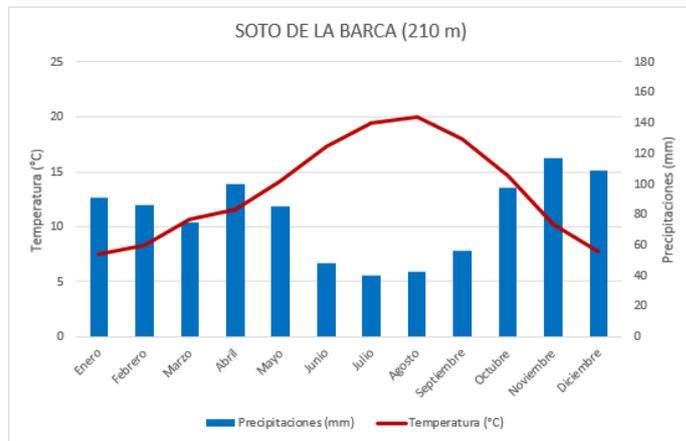
SAN ANTOLÍN DE IBIAS		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	6.5	126.1
Febrero	7.5	108.5
Marzo	10.3	104.1
Abril	11.6	119.4
Mayo	14.7	94.3
Junio	18.5	55.2
Julio	20.8	35.3
Agosto	20.9	43.5
Septiembre	18.3	75.3
Octubre	13.9	134.2
Noviembre	9.3	156.6
Diciembre	6.8	166.3



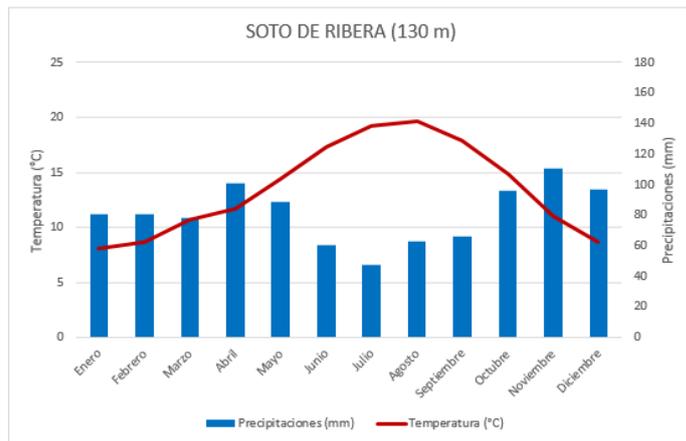
SAN ROMÁN DE CANDAMO		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	8.7	91.1
Febrero	9.2	85.7
Marzo	11.1	79.2
Abril	11.9	98.7
Mayo	14.5	80.8
Junio	17.3	53.7
Julio	19.3	41.9
Agosto	19.8	49.2
Septiembre	18.2	62.3
Octubre	15.0	107.1
Noviembre	11.3	122.4
Diciembre	9.0	106.1



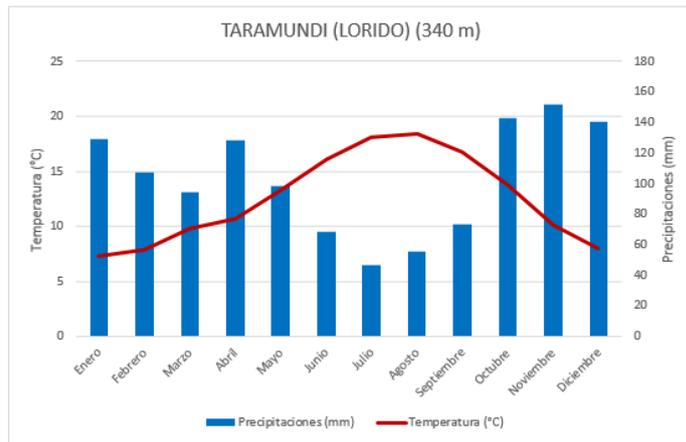
SOTO DE LA BARCA		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	7.5	91.3
Febrero	8.3	86.2
Marzo	10.7	75.1
Abril	11.6	100.0
Mayo	14.2	85.5
Junio	17.3	48.3
Julio	19.5	39.9
Agosto	20.0	42.2
Septiembre	18.0	56.4
Octubre	14.6	97.8
Noviembre	10.3	117.1
Diciembre	7.8	108.9



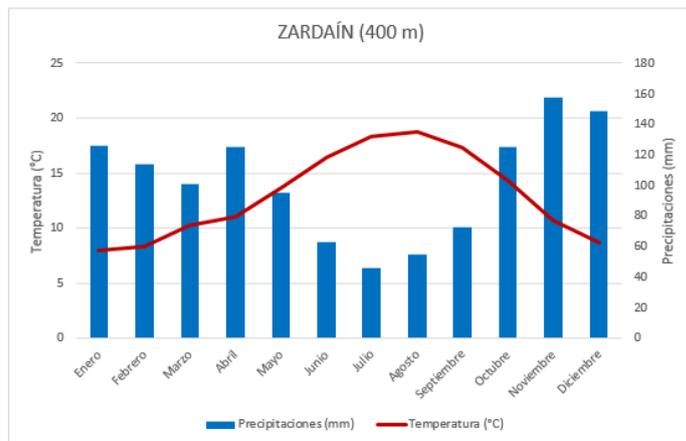
SOTO DE RIBERA		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	8.1	80.7
Febrero	8.7	80.2
Marzo	10.7	78.5
Abril	11.7	100.7
Mayo	14.4	88.3
Junio	17.3	60.0
Julio	19.3	47.6
Agosto	19.6	63.0
Septiembre	17.9	66.1
Octubre	14.8	96.3
Noviembre	11.0	110.4
Diciembre	8.6	96.7



TARAMUNDI (LORIDO)		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	7.3	128.8
Febrero	7.9	106.9
Marzo	9.8	94.5
Abril	10.7	128.6
Mayo	13.3	98.0
Junio	16.1	68.6
Julio	18.1	46.4
Agosto	18.4	55.2
Septiembre	16.7	73.2
Octubre	13.7	143.1
Noviembre	10.1	151.9
Diciembre	7.9	140.7



ZARDAÍN		
Mes	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm)
Enero	8.0	125.8
Febrero	8.3	113.8
Marzo	10.2	101.1
Abril	11.0	125.0
Mayo	13.6	95.0
Junio	16.5	63.0
Julio	18.3	46.2
Agosto	18.7	54.7
Septiembre	17.3	72.2
Octubre	14.3	125.1
Noviembre	10.7	157.8
Diciembre	8.7	148.5



**Figura 48.** Climogramas para las 18 estaciones termopluviométricas utilizadas para la realización de la clasificación modificada de Köppen-Geiger. Se indica la altura a la que se sitúa cada una de las estaciones.

TEMPERATURA (°C)	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	ANUAL
<i>Promedio</i>	7.7	11.3	17.8	13.6	12.6
<i>Mínimo</i>	1.7	5.7	13.0	7.9	7.1
<i>Máximo</i>	10.4	13.1	20.1	15.6	14.4

**Tabla 7.** Valores promedio, mínimo y máximo de la temperatura media del aire en el periodo 1981-2010.

PRECIPITACIÓN (mm)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
<i>Promedio</i>	114.6	104.5	98.3	119.6	96.4	64.0	
<i>Mínimo</i>	72.9	73.9	66.1	76.6	58.1	45.5	
<i>Máximo</i>	162.9	152.2	149.6	167.5	149.3	101.7	
	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOVIEM.	DICIEM.	ANUAL
<i>Promedio</i>	48.1	57.4	73.7	123.7	145.3	133.7	1179.3
<i>Mínimo</i>	32.7	40.5	53.8	83.3	97.0	89.1	862.5
<i>Máximo</i>	73.5	84.8	109.3	175.0	202.6	183.6	1687.5

**Tabla 8.** Valores promedio, mínimo y máximo de la precipitación media en el periodo 1981-2010.

## 5 CONCLUSIONES

Los valores de la temperatura media del aire en Asturias durante el periodo 1981-2010 están muy relacionados con la altitud. La correlación entre temperatura y altitud es tal, que prácticamente elimina la influencia del resto de variables incluidas en el modelo; longitud y latitud. La longitud queda descartada del modelo en todo caso, debido a que la zona de estudio es una región relativamente pequeña, muy influenciada por la presencia de la Cordillera Cantábrica al sur y con altitudes al nivel del mar al norte. Es esta variación de elementos geográficos en dirección N-S la que hace que la latitud sí sea una variable a tener en cuenta en los modelos de regresión para la temperatura. Este comportamiento se aprecia en todos los casos de estudio de la temperatura media menos en los meses de verano, donde la altitud sigue siendo la variable más estadísticamente significativa, aunque la latitud adquiere mayor importancia. Las explicaciones físicas a este fenómeno pueden estar en una menor oscilación térmica en la costa debido a la presencia de estratos y nieblas costeras, dando como resultado menores temperaturas en las zonas litorales que en las zonas interiores. En el hemisferio norte, el aumento de latitud conlleva un descenso de la temperatura media y, en el caso de Asturias, esta latitud se traduce como distancia al mar. En verano en la península se genera una circulación de tipo monzónico que favorece la entrada de aire marítimo con más frecuencia que en el invierno, de ahí que la latitud presente en esta estación un coeficiente de correlación mayor con la temperatura media.

La precipitación no tiene un comportamiento tan claro con respecto a la altitud como en el caso de las temperaturas, principalmente debido a que se aprecian tendencias diferentes para altitudes medias-bajas, de hasta 800 metros, y para altitudes superiores. Por encima de los 800 metros hay una mayor correlación con la temperatura, existiendo una mayor dispersión de valores a las altitudes correspondientes al nivel del mar. Esto explica que en el caso de la precipitación sea la latitud la variable que más domine en los modelos de regresión. La menor correlación de la precipitación con la altitud se podría explicar viendo la distribución de las estaciones de registro en la zona de estudio. Si bien, a altitudes por encima de los 800 metros, los valores de precipitación son mayores, no existe un número suficiente de estaciones como para poder modelar correctamente el comportamiento de la precipitación y por eso es la latitud la variable que domina el modelo. Esta falta de estaciones en zonas altas es evidente en toda la cordillera cantábrica, pero también en puntos más céntricos de la zona de estudio, como en la sierra del Aramo, con altitudes superiores a 1.700 metros y donde, con los datos disponibles, no se aprecia un comportamiento de la precipitación diferente al que se observa en zonas más bajas. En definitiva, en el estudio de la precipitación hay otros factores complejos que serían

interesantes para analizar, como la orientación de la estación de medición y la situación de la misma a barlovento o a sotavento, que podrían ayudar a conseguir un mejor ajuste del modelo.

La relación entre los valores de temperaturas y precipitaciones medias en Asturias en el periodo 1981-2010 permite la clasificación de la zona de estudio en dos climas siguiendo los criterios de la clasificación modificada de Köppen-Geiger. La mayor parte de Asturias queda definida por un clima tipo Cfb, clima templado y húmedo sin estación seca. El sector SW de Asturias se corresponde con un clima de tipo Csb, clima templado y húmedo, pero con un verano más seco. Los climogramas ayudan a completar la clasificación climática; la estación termopluviométrica de San Antolín de Ibias, por ejemplo, muestra un mes de julio con valores por debajo del umbral (40 mm) de precipitaciones que marca el límite entre clima Cfb y Csb, además de un verano con temperaturas elevadas.

En general, las temperaturas medias anuales en Asturias tienen valores suaves, con una media de 12,6 °C y un mínimo localizado en la estación de Valgrande-Pajares, a 1480 metros de altitud, con una media de 7,1 °C. La temperatura media en los meses más fríos es de 7,7 °C y en los meses más cálidos de 17,8 °C.

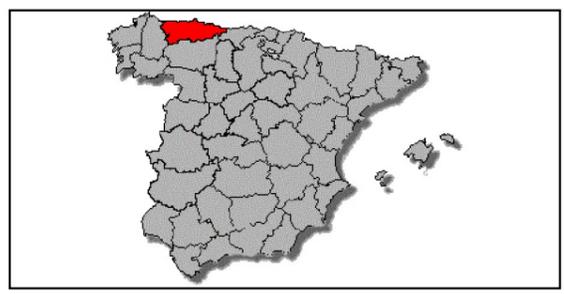
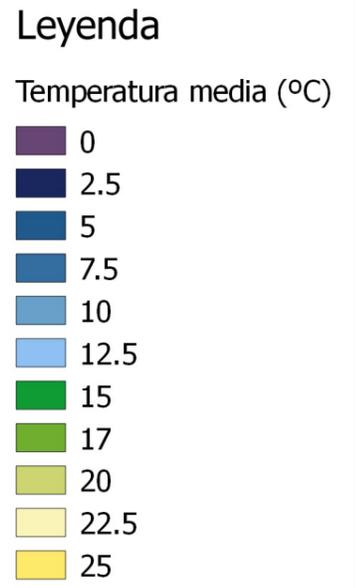
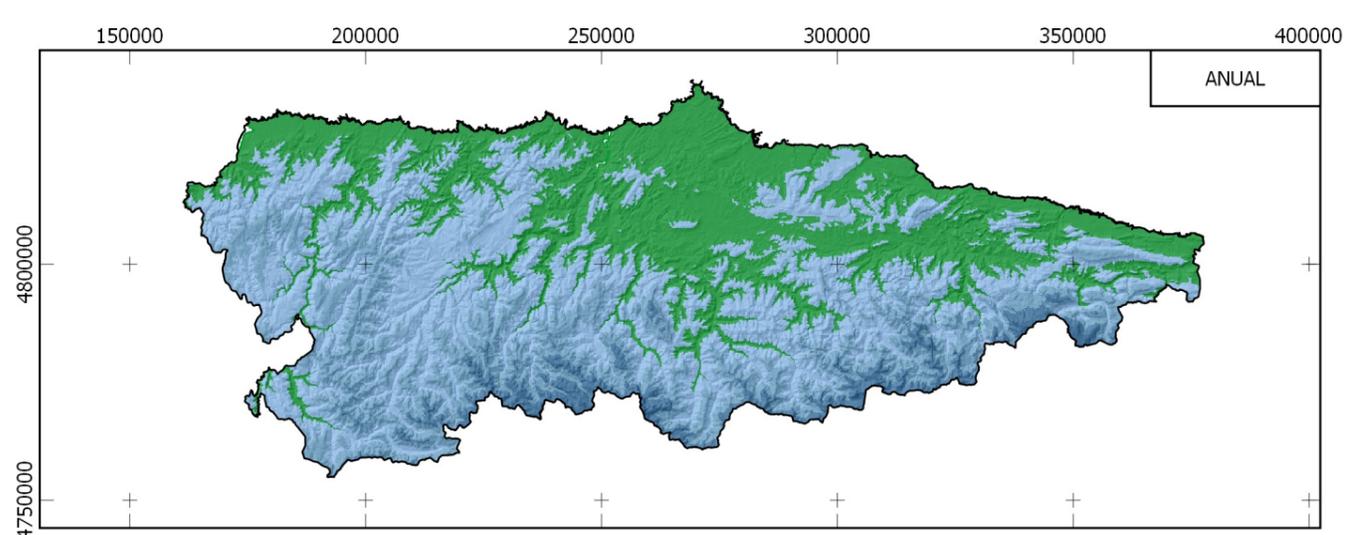
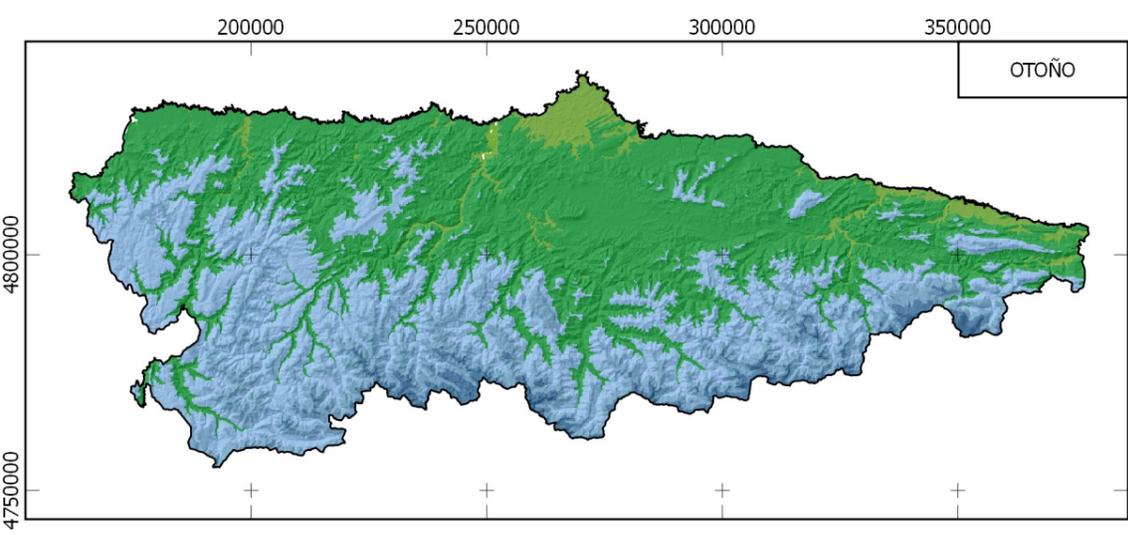
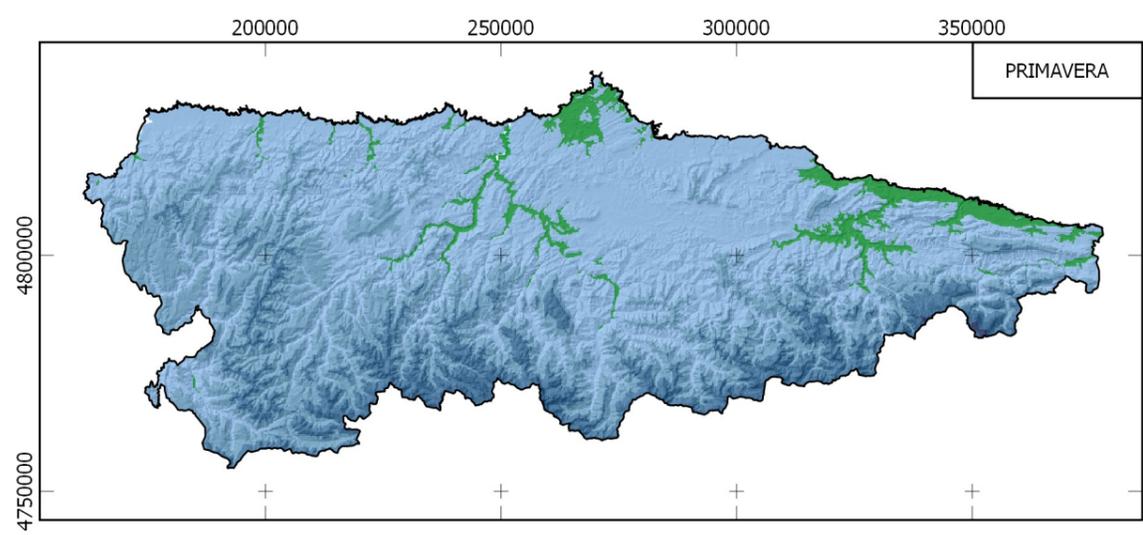
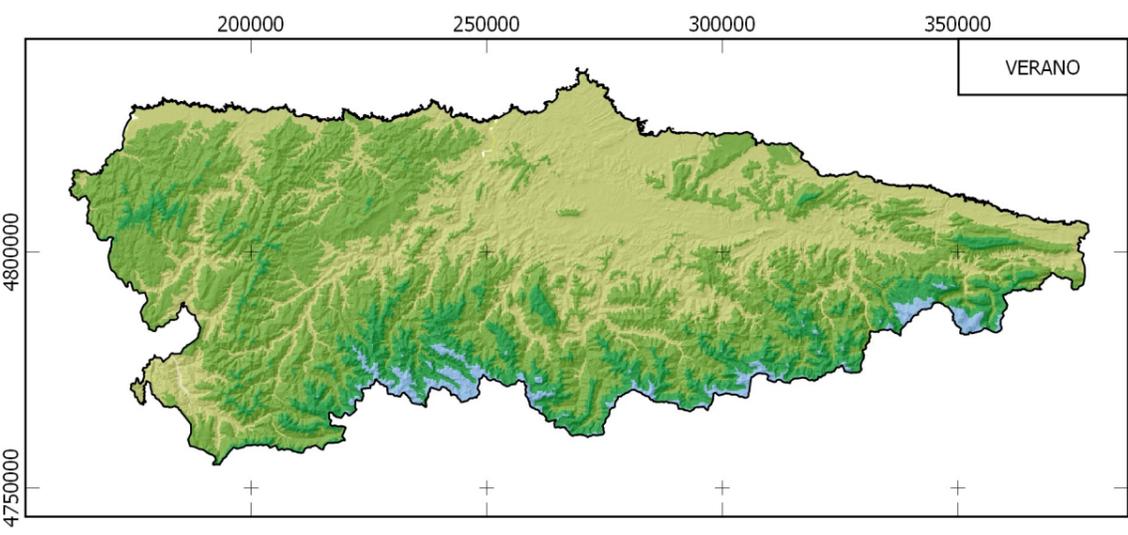
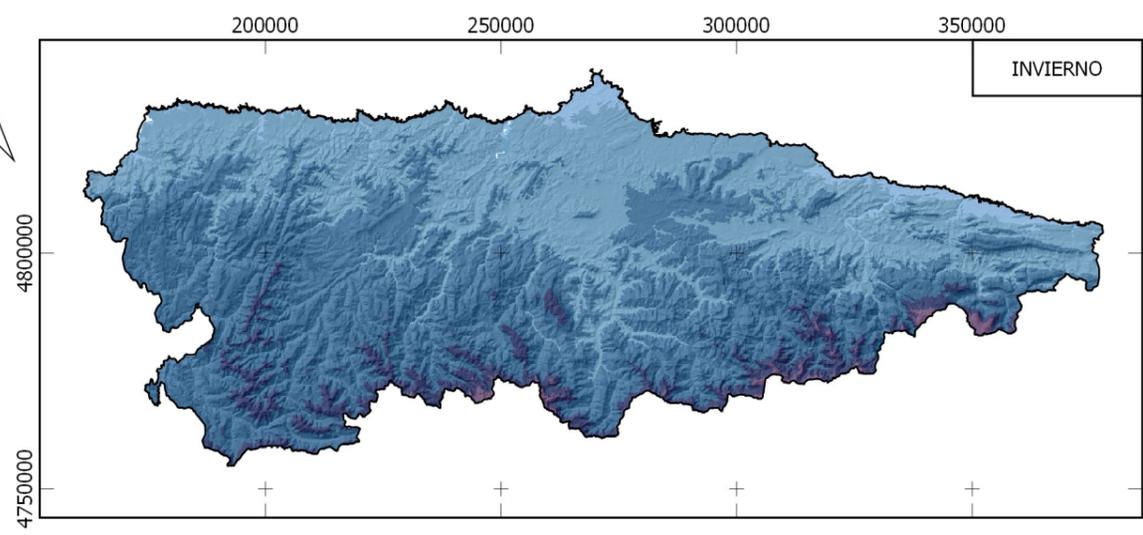
Las precipitaciones en Asturias son frecuentes todo el año, sin una marcada estación seca y la media anual se sitúa en los 1179,3 mm. El mínimo de precipitación en el mes más seco (julio) es de 32,7 mm, registrado en la estación del embalse de Grandas de Salime y el máximo en el mes más lluvioso (noviembre) es de 202,6 mm, registrado en El Restañu (Amieva).

## 6 REFERENCIAS

- ATLAS AGROCLIMÁTICO DE CASTILLA Y LEÓN (2013): ED. Agencia Estatal de Meteorología.
- ATLAS CLIMÁTICO DE LA REGIÓN DE MURCIA (2014): ED. Agencia Estatal de Meteorología.
- ATLAS CLIMÁTICO IBÉRICO (2011): ED: Agencia Estatal de Meteorología.
- COLUBI, A. Y GONZÁLEZ, G. (2010): Regresión lineal descriptiva. En: *Curso de estadística aplicada*. ED. Ediciones Lobo.
- CUADRAT, J.M. Y PITA, M.F. (1997). El sistema de clasificación de Köppen. En *Climatología*, ED. Cátedra.
- ESSENWANGER, O.M. (2001): *General Climatology 1C: Clasiffication of Climates*. Elsevier Science.
- GONZÁLEZ, F. Y ANADÓN, R. (2011): *Análisis de escenarios de cambio climático en Asturias*. ED. Gobierno del Principado de Asturias.
- GUIJARRO, J.A. (2011): *A contributed R package for homogenization of climatological series*. [www.climatol.eu](http://www.climatol.eu)
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, GLOSSARY (1995):  
<https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ipcc-glossary.pdf>
- NÚÑEZ, J.A. (2009): *Herramientas para desarrollos meteorológicos: SIG de explotación meteorológica*. ED: Agencia Estatal de Meteorología.
- VALORES NORMALES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL 1981-2010 (2013): ED. Agencia Estatal de Meteorología.
- VICENTE, S.M. Y SAZ, M.A. (2002): *Cartografía de precipitaciones y temperaturas en el valle medio del Ebro mediante la utilización de diferentes técnicas estadísticas*. *Geographicalia*, 42, 73-92.
- [https://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_997\\_es.html](https://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_997_es.html)
- [http://www.aemet.es/es/idi/observacion/observacion\\_convencional](http://www.aemet.es/es/idi/observacion/observacion_convencional)
- <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#/na/009z0000006w000000/>
- <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/applications.htm>

## ***ANEXO***

Mapas de temperatura media del aire y precipitación media 1981-2010.



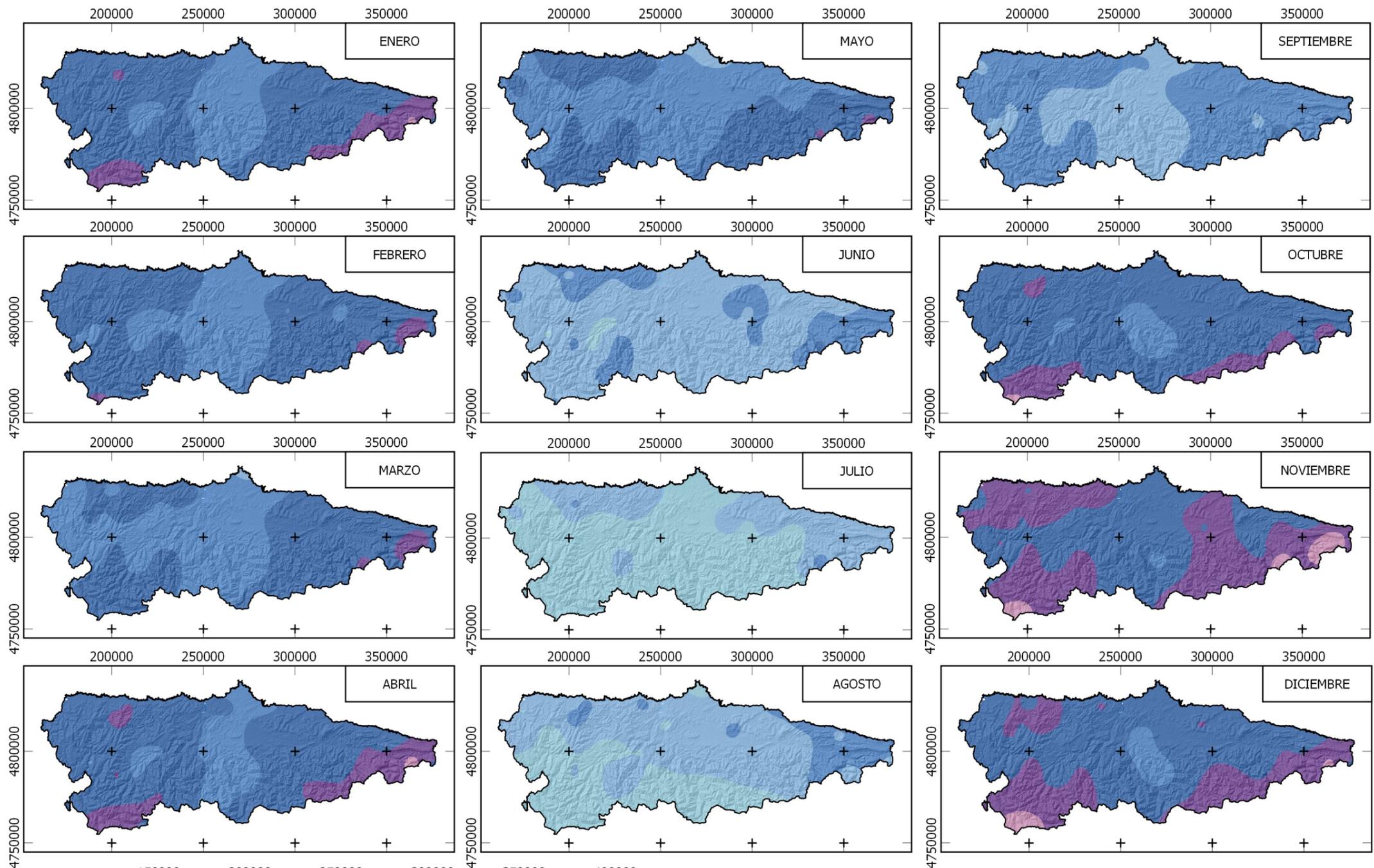
Sistema de Referencia Geodésico ETRS89  
Proyección UTM Huso 30 N  
Elipsoide GRS80:  
Semieje mayor (a)=6.378.137 m  
Aplanamiento (f)=1:298.26

Mapas de temperatura media del aire anual y para cada una de las estaciones del año en el periodo 1981-2010: invierno (DEF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON).

Los mapas se obtienen a partir de la interpolación mediante regresión lineal de datos puntuales registrados por las estaciones de AEMET en la zona de estudio. Los residuos obtenidos se interpolan mediante splines y el mapa final es la suma del mapa de estimación obtenido con la regresión y del mapa de residuos.

La representación del zonado de temperatura se hace sobre un hillshade para apreciar el relieve del terreno.

<b>Título</b> <b>MAPAS DE TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE EN ASTURIAS 1981-2010</b>			
<b>Autor</b> Carlos Olivares Navarro	<b>Tutores</b> Manuel A. Mora García Gil González Rodríguez	<b>Tipo de documento</b> Mapa temperaturas	<b>Estado</b> Aprobado
<b>Centro</b> 	<b>Entidad responsable</b> Universidad de Oviedo	<b>Firma autor</b> 	<b>Núm. Identificación</b> ANEXO 1
	<b>Escala</b> 1:1.500.000		<b>Fecha</b> 10-07-2015



**Leyenda**

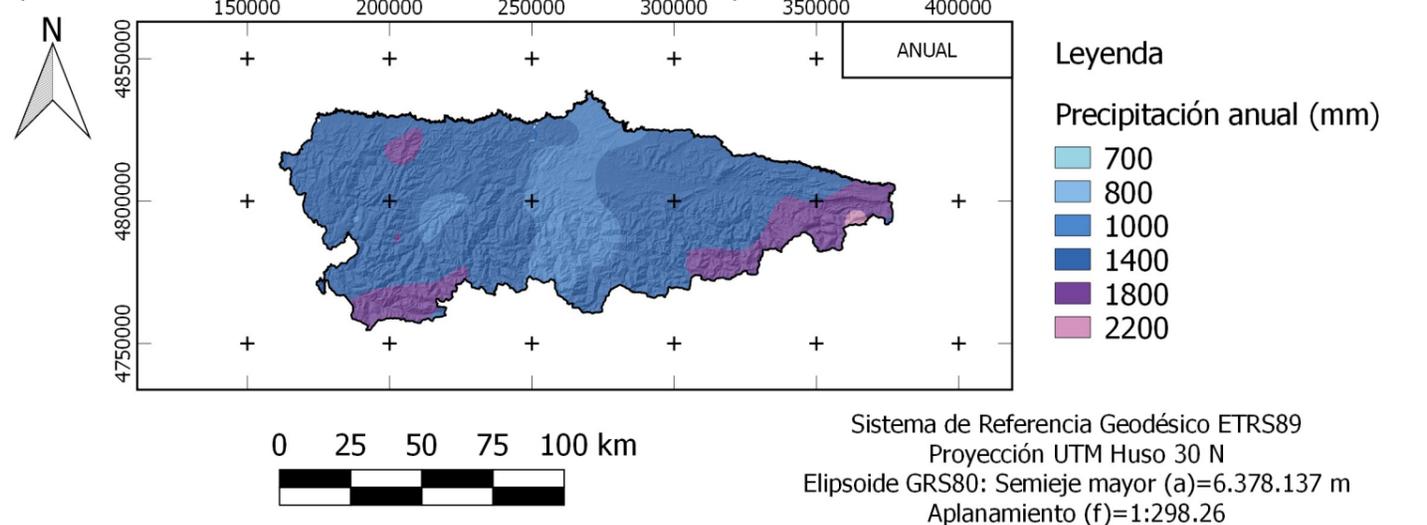
Precipitación mensual (mm)

- 30
- 50
- 70
- 100
- 150
- 200
- 300

Mapas de precipitación media anual y para cada uno de los meses del año en el periodo 1981-2010.

Los mapas se obtienen a partir de la interpolación mediante regresión lineal de datos puntuales registrados por las estaciones de AEMET en la zona de estudio. Los residuos obtenidos se interpolan mediante splines y el mapa final es la suma del mapa de estimación obtenido con la regresión y del mapa de residuos.

La representación del zonado de precipitación se hace sobre un hillshade para apreciar el relieve del terreno.



Sistema de Referencia Geodésico ETRS89  
 Proyección UTM Huso 30 N  
 Elipsoide GRS80: Semieje mayor (a)=6.378.137 m  
 Aplanamiento (f)=1:298.26

<b>Título</b> MAPAS DE PRECIPITACIONES MEDIAS EN ASTURIAS 1981-2010			
<b>Autor</b> Carlos Olivares Navarro	<b>Tutores</b> Manuel A. Mora García Gil González Rodríguez	<b>Tipo de documento</b> Mapa precipitaciones	<b>Estado</b> Aprobado
<b>Centro</b> 	<b>Entidad responsable</b> Universidad de Oviedo	<b>Firma autor</b> 	<b>Núm. Identificación</b> ANEXO 2
	<b>Escala</b> 1:2.500.000		<b>Fecha</b> 10-07-2015