

# CUANTIFICACIÓN DE LOS GRADIENTES CLIMÁTICOS ALTITUDINALES EN LA VERTIENTE NORTE DEL MACIZO DEL MONCAYO A PARTIR DE UNA NUEVA RED DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS EN ALTURA

Edurne MARTÍNEZ DEL CASTILLO<sup>1</sup>, Roberto SERRANO-NOTIVOLI<sup>2</sup>, Klemen NOVAK<sup>1</sup>,  
Luis Alberto LONGARES ALADRÉN<sup>1</sup>, Enrique ARRECHEA<sup>3</sup>, Martín DE LUIS ARRILLAGA<sup>1</sup>,  
Miguel A. SAZ SÁNCHEZ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Zaragoza, Spain; <sup>2</sup>Estación Experimental de Aula Dei CSIC, Spain; <sup>3</sup>Gobierno de Aragón,  
Spain \*masaz@unizar.es

## RESUMEN

Uno de los problemas de la investigación del clima en áreas de montaña es el de la escasez de observatorios. En España sólo 63 registran a más de 1.500 msnm. En este trabajo presentamos los primeros resultados obtenidos de la red automática de observatorios instalada en el año 2009 en el Macizo del Moncayo dentro del proyecto *El Parque Natural del Moncayo como observatorio del cambio global* (GA-LC-031/2010). Las estaciones se localizan en la ladera norte del macizo a 1.050 y 1.750 msnm. Esos datos han servido para completar la escasa información climática existente en la zona y construir un gradiente climático altitudinal para la vertiente norte del macizo, numerosas veces descrito pero no cuantificado.

**Palabras clave:** Macizo del Moncayo, gradientes climáticos altitudinales, red de observatorios.

## ABSTRACT

One of the main problems of climate research in mountain areas is the scarcity of weather stations. In Spain, only 63 recorded are more than 1,500 meters above sea level. In this work we present the first results of the automatic weather stations installed in 2009 in the Moncayo area (NE of Spain) within the project GA-LC-031/2010. The weather stations are located on the northern slope of the mountain at 1,050 and 1,750 meters above sea level. These data have provided information to complete the existing climate data in the area and calculate an altitudinal climatic gradient to the slopes of the mountain, many times described but not quantified.

**Key words:** NE of Spain, Moncayo, climatic elevation gradients, weather stations network.

## 1. INTRODUCCIÓN

La situación creada sobre los sistemas naturales por las recientes variaciones en el clima, ha sido uno de los temas respecto a los que más novedades ha aportado el último informe del IPCC-2007 (AR4) (TRENBERTH *et al*, 2007). Además de la tendencia positiva de las temperaturas, se ha confirmado un aumento de las precipitaciones durante el periodo 1900-2005 sobre las tierras emergidas al norte del paralelo 30° (coherente con el calentamiento detectado), su descenso desde

1970 en torno a los trópicos y el aumento de las áreas afectadas por sequías en la zona tropical y subtropical (SOLOMON *et al*, 2007). El AR4 incide asimismo en la necesidad de estudios subregionales sobre la evolución del clima y la exigencia de contar con bases de datos instrumentales densas y de contrastada calidad. Esa información resulta fundamental para la calibración de los modelos de cambio climático o la propia gestión territorial en distintos escenarios a partir del análisis de las condiciones climáticas y la monitorización de los posibles cambios mediante una toma sistemática de datos.

Los ecosistemas de montaña, espacios en general de ecotono, se muestran como especialmente sensibles a cualquier cambio en las condiciones climáticas. Su menor grado de antropización, su función refugio para especies extintas en otros lugares o de distribución limitada por la altitud, la existencia de marcados gradientes altitudinales y su fragilidad frente a los cambios ambientales son las principales razones para ello. Así por ejemplo, las masas forestales que allí se asientan pueden cambiar sus límites altitudinales de distribución en función de las tendencias termopluviométricas y las variaciones en la frecuencia de eventos extremos. En relación a esos espacios, la información climática disponible en España ofrece una situación paradójica. La red de la Agencia Estatal de Meteorología incluye más de 10.000 observatorios, un grado de cubrimiento espacial extraordinario que nos llevaría a una ratio de poco más de 50 km<sup>2</sup> por observatorio pluviométrico. Sin embargo, por encima de los 1.000 m. de altitud son muy escasas las observaciones y sólo 63 toman datos por encima de los 1.500 m. (GONZÁLEZ-HIDALGO *et al*, 2011), resultando crucial el conocimiento de su pluviometría a la hora de evaluar la disponibilidad de recursos hídricos o distintos aspectos de la gestión forestal. Iniciativas recientes han apostado por la instalación de estaciones en altura a partir de las que paliar en el futuro esa deficiencia. Es destacable la iniciativa emprendida a mediados de la pasada década por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales para la toma sistemática de datos mediante estaciones automáticas en esos Espacios Naturales Protegidos, o la ubicación de puntos de observación termopluviométrica en algunos refugios de montaña. Aunque se echa en falta una mayor sistematización en la depuración de esa información y en el modo en que puede hacerse llegar a los potenciales usuarios.

En el Parque Natural del Moncayo se planteó en 2009 la instalación de una pequeña red de estaciones en altura. En este trabajo se presentan los primeros resultados obtenidos a partir de los datos medidos por estas estaciones durante el primer año completo de registros (1-nov-2010 a 31 de octubre de 2011) y por primera vez una cuantificación de los gradientes térmicos y pluviométricos en altura en la cara norte del macizo, profusamente descritos en la bibliografía sobre el macizo pero aún no cuantificados a partir de información directa. A pesar de tratarse únicamente de un año de registros y por lo tanto de unos resultados de escasa significación estadística, la información obtenida en estos 12 meses ofrece datos interesantes sobre la presencia de situaciones de inversión térmica dentro de la ladera norte del Moncayo y una notable variabilidad de la precipitación, información fundamental para la caracterización climática de ese entorno, el estudio de los gradientes altitudinales y su aplicación en el análisis de la respuesta de las masas forestales y los sistemas naturales frente al clima.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

Con una altura máxima de 2.314, el Macizo del Moncayo se eleva desde el Valle del Ebro salvando un desnivel de 1.800 metros desde su cumbre al límite hacia el norte con las terrazas y glaciares pleistocenos de la unidad del Ebro. Su especial ubicación topo-geográfica (fig. 1) le convierte

en uno de los más claros exponentes de los ecosistemas de montaña de transición entre el mundo mediterráneo y atlántico, condicionando la acusada variación altitudinal unos notables contrastes en las condiciones climáticas que quedan reflejadas en la transición existente de la vegetación.

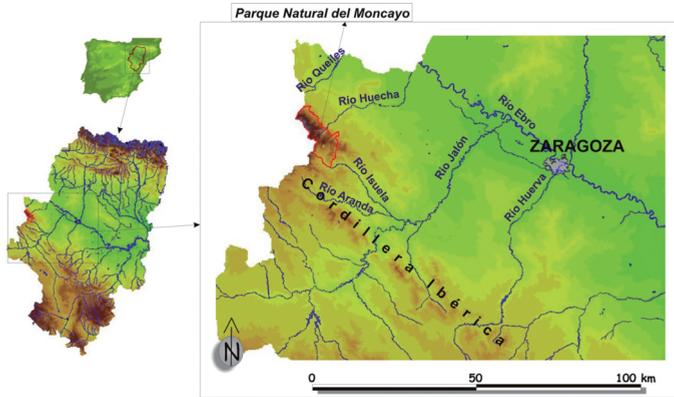


FIG. 1: Mapa de localización del Macizo del Moncayo.

Confluyen allí hasta cuatro pisos de vegetación, desde el termomediterráneo de las partes más bajas hasta el oromediterráneo de las zonas más elevadas, con pinares de *Pinus uncinata* y formaciones rastreras de *Juniperus*, que dan paso a los pastos de cumbre de *Festuca*. Entre ellas el mesomediterráneo, con predominio de los pinares de repoblación y encinares, y el supramediterráneo en el que conviven especies de ámbitos y regiones contrastadas como *Quercus pyrenaica*, *Fagus sylvatica* y *Pinus sylvestris*. Esta diversidad de ambientes y especies, con formaciones que en muchos casos se encuentran en el límite de distribución natural, le otorgan valores biogeográficos y ecológicos excepcionales, constituyendo un espacio singular y de elevado interés para la detección de señales de cambios ambientales y la aplicación de políticas de gestión adaptativa desde el adecuado conocimiento de la respuesta de los sistemas forestales.

Hasta la instalación de esos observatorios en el año 2009, sólo registraba en la actualidad en altura datos del Macizo del Moncayo la estación de *Tarazona-Casa Blanca* (AEMET 9306B), localizada a 1.170 m. de altura y con una serie exclusivamente pluviométrica que arrancaba en 1987. Previamente estuvo en funcionamiento una estación pluviométrica en *Agramonte de Moncayo* (1.050 m) que dejó de funcionar hace más de 15 años.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

En el año 2009 el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón instaló una red de tres estaciones automáticas en el interior del Parque Natural del Moncayo con objeto de monitorizar la evolución de las principales variables climatológica en el interior del espacio natural protegido. Estas estaciones se localizan en *Agramonte* (1.090 msnm), *Calcena* (811 msnm) y *Majada Baja* (1.789 msnm). En el marco del proyecto de investigación *El Parque Natural del Moncayo como observatorio de cambio global* (DGA-LC-031/2010) se ha desarrollado la depuración y explotación de los datos de esa red, cuyos primeros resultados en relación a los gradientes termoplumiométricos en altura, siempre preliminares y asumiendo la no significación de la serie temporal, se presentan en este trabajo. Se trata de estaciones

meteorológicas *Campbell Scientific* alimentadas por red eléctrica en el caso de Agramonte y Calcena, con batería de mantenimiento en caso de pérdida de energía y para Majada Baja placa solar. La fecha de instalación fue del 30 de septiembre de 2010 en Calcena, 14 de octubre de 2010 en Agramonte y 15 de octubre de 2010 en Majada Baja. En el caso de Agramonte la estación se colocó en orientación noroeste, sobre el edificio del centro de interpretación y montada en un poste de 2 metros, en un espacio abierto en el entorno de un pinar de repoblación y rebollar (fig. 2). En Majada Baja la estación está también orientada hacia el noroeste, colocada sobre un refugio, montada en un poste de 2 metros y en un entorno despejado. En Calcena la estación está orientada hacia el sur, sobre el edificio de las escuelas municipales y también sobre un poste de 2 metros, en un entorno despejado en las afueras de la localidad.

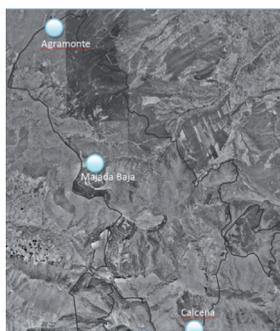


FIG. 2: Mapa de localización de las estaciones e imágenes de cada una de ellas. Izquierda: Agramonte; centro: Majada Baja; derecha: Calcena.

Los sensores instalados registran con una frecuencia quinceminutal la temperatura y humedad relativa, radiación global, pluviometría mediante pluviómetro de cazoletas (calefactados en Agramonte y Calcena), anemoveleta para velocidad y dirección de viento. Todo ello registrado por un *datalogger* Campbell CR800. Los datos para los que disponemos en este trabajo cubren en Agramonte y Majada Baja el periodo que va desde el 1 de noviembre de 2010 al 31 de octubre de 2011, lo que representa un año completo de mediciones. No se ha hecho uso de los datos de Calcena puesto que la estación dejó de funcionar durante los meses de marzo, abril y mayo de 2011 debido a problemas con la alimentación eléctrica que ya resueltos. Descargados los datos quinceminutales, estos fueron convertidos en datos diarios mediante la utilización de la librería *gstat* del paquete estadístico *R*. El análisis de calidad de la información mediante la detección de extremos y el relleno de lagunas se desarrolló programando las rutinas de identificación y corrección mediante *R*. La detección y corrección de posibles inhomogeneidades en las series de registros, mediante la utilización del programa *ProClimDB* (Stepanek, P 2008). Mientras que el análisis de la información y la elaboración de climatologías en el transecto altitudinal estudiado se desarrolló a su vez con *ProClimDB*.

#### 4. RESULTADOS

Como hemos señalado anteriormente, los resultados preliminares que aquí se presentan se refieren a un año completo de registros, el que transcurre entre noviembre de 2010 y octubre de 2011. Podemos con ello obtener una visión general de las temperaturas y precipitaciones en el macizo del Moncayo a distintas altitudes y realizar una cuantificación de los gradientes altitudinales, referidos a ese año y por lo tanto escasamente significativos desde el punto de vista estadístico, pero ya interesantes para la evaluación del comportamiento de los sistemas naturales en el área de estudio.

En la figura 3 aparece la evolución de la temperatura media, máxima y mínima diaria. Consecuencia de una respuesta común a los mismos condicionantes meteorológicos, la correlación entre las series medidas de cada variable en ambos es elevada, de 0.96 en el caso de la media, 0.97 en la máxima y 0.94 en la mínima. En la tabla 1 aparecen los valores de la temperatura media anual, media anual de las máximas y media anual de las mínimas, así como los gradientes altitudinales obtenidos. La diferencia entre las medias anuales de los dos puntos de observación es de 3.46 °C, lo que resulta en un descenso medio de los promedios anuales de -0.49 °C / 100 m. La media de las máximas ofrece un valor de gradiente más elevado, de -0.64° / 100 m, similar al valor medio general de 0.65 °C profusamente descrito por la literatura como valor estándar para el descenso de la temperatura en altura. Las mínimas ofrecen sin embargo valores de gradiente más reducidos, de sólo -0.39 °/100 m.

Mes a mes encontramos situaciones diferenciadas. Las graficas de la figura 3 muestran además de la evolución en medias la diferencia entre los valores diarios obtenidos en ambos puntos de observación. En el caso de las máximas vemos que esa diferencia cursa de forma más o menos regular a lo largo del año. Sin embargo, en el caso de las mínimas es entre noviembre y abril cuando encontramos las diferencias más importantes. Este hecho hemos tratado de cuantificarlo en la tabla 2. En todos los casos, los valores medios mensuales son inferiores en Majada Baja que en Agramonte, fruto del esperable efecto altitudinal. El ciclo anual es similar en ambos observatorios, tanto para las medias, como para las máximas y mínimas. Enero se configura como el más frío, con una media de 3.18 °C en Agramonte y de -0.05 °C en Majada y agosto el más cálido, con 19.98 °C y 16.86 °C respectivamente, algo que no es inusual en espacios de tendencia continental. Y simplemente merecería destacarse el hecho de que en Majada el mes de marzo aparece como más frío que febrero, así como que noviembre también se muestre más frío que diciembre, circunstancia que no es habitual al manejar promedios mensuales basados en series plurianuales pero que no resulta excepcional al tratar valores de un año concreto.

El análisis de los gradientes obtenidos a partir de la diferencia entre los valores promedio mensual observados sí ofrece en cambio aspectos destacables. En el caso de las temperaturas medias mensuales, los valores obtenidos para el gradiente altitudinal oscilan entre los -0.67 °C / 100 m de noviembre y los -0.37 °C / 100 m de junio, siendo noviembre, febrero y marzo los meses en los que la diferencia entre la temperatura media diaria observada en Majada Baja y Agramonte es más importante en favor de este último. En el caso de las temperaturas máximas son esos mismos tres meses los que ofrecen un mayor descenso de los valores medidos en altitud, habiéndose obtenido un gradiente térmico altitudinal -0.76 °C / 100 m en marzo, -0.74 °C / 100 m en noviembre y -0.73 °C / 100 m en febrero. Diciembre, con un descenso de -0.48 °/100 m, es el mes en el que la diferencia entre las máximas observadas es menor en favor del observatorio localizado a menor altitud. Para las mínimas, sin embargo, se diferencia claramente cómo es entre noviembre y marzo, el que podríamos considerar como semestre frío, cuando obtenemos los gradientes negativos más importantes, de entre

-0.43 °C / 100 m y -0.65 °C / 100 m, siendo en este periodo mayor la diferencia entre la temperatura media de las mínimas de los dos observatorios. Junio es el que ofrece un gradiente más moderado, de sólo -0.17 °C / 100 m. Así, en el caso de la temperatura media de las máximas mensual, la diferencia entre el mes con un mayor y menor gradiente térmico altitudinal es de -0.28 °C, mientras que en el caso de las mínimas roza el medio grado, alcanzando los 0.48 °C, mostrando la mayor influencia que sobre este parámetro tiene el distinto rango altitudinal en el que se ubican los dos observatorios.

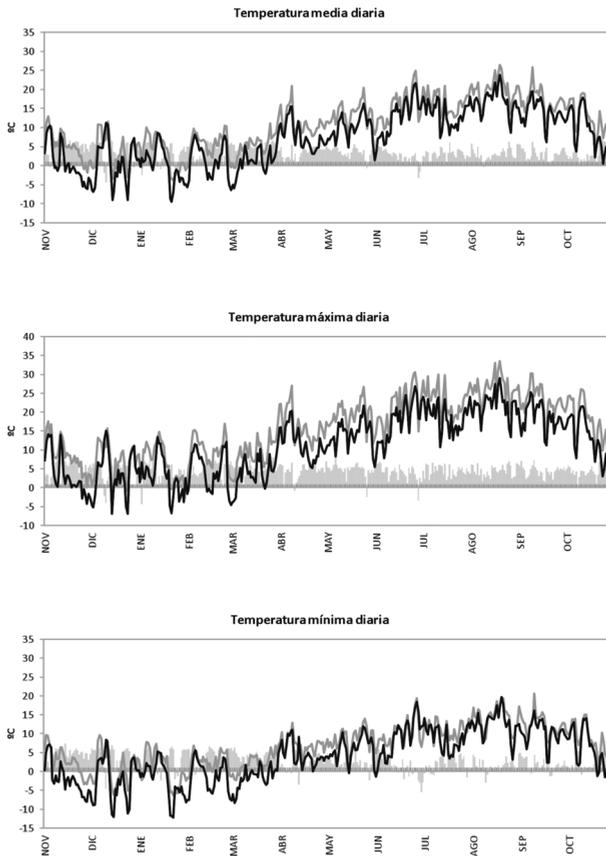


FIG. 3: Evolución de las temperaturas medias, máxima y mínima diaria en Agramonte (curva gris) y Majada Baja (curva negra). Barras horizontales muestran la diferencia.

	Altitud	Tmedia anual	Tmedia anual máximas	Tmedia anual mínimas
Agramonte	1050	10,87	15,77	6,81
Majada Baja	1750	7,41	11,28	4,08
Diferencia	700	3,46	4,49	2,73
Gradiente (°C/100 m)		-0,49	-0,64	-0,39

TABLA 1: Valores promedio anual de la temperatura en Agramonte y Majada Baja y gradiente térmico altitudinal obtenido.

	Agramonte		Majada		Dif	gradiente	Agramonte		Majada		Dif	gradiente
	Tmedia			Tmedia máximas				Tmedia min				
nov-10	5,28	0,55	4,72	-0,67	8,64	3,45	5,18	-0,74	2,66	-1,91	4,57	-0,65
dic-10	3,83	0,76	3,07	-0,44	7,18	3,83	3,35	-0,48	0,88	-2,18	3,06	-0,44
ene-11	3,18	-0,05	3,23	-0,46	6,37	2,82	3,55	-0,51	0,64	-2,37	3,01	-0,43
feb-11	5,67	1,57	4,09	-0,58	9,77	4,68	5,09	-0,73	2,66	-1,08	3,74	-0,53
mar-11	5,72	1,42	4,30	-0,61	9,68	4,39	5,29	-0,76	2,56	-1,19	3,74	-0,53
abr-11	11,21	7,72	3,48	-0,50	16,07	11,61	4,47	-0,64	7,11	4,52	2,58	-0,37
may-11	13,52	9,89	3,63	-0,52	19,20	14,27	4,93	-0,70	8,57	5,96	2,60	-0,37
jun-11	15,48	12,92	2,56	-0,37	21,46	17,49	3,98	-0,57	10,16	8,98	1,18	-0,17
jul-11	16,62	13,54	3,08	-0,44	23,24	18,77	4,47	-0,64	11,15	8,97	2,18	-0,31
ago-11	19,98	16,86	3,12	-0,45	26,47	21,91	4,56	-0,65	14,31	12,64	1,67	-0,24
sep-11	17,05	13,98	3,07	-0,44	22,96	18,56	4,40	-0,63	12,10	10,29	1,81	-0,26
oct-11	12,62	9,33	3,29	-0,47	17,77	13,17	4,60	-0,66	8,73	5,98	2,75	-0,39

TABLA 2: Valores promedio mensual de la temperatura en Agramonte y Majada Baja y gradiente térmico altitudinal obtenido.

En la figura 3 se observa cómo, consecuencia de ese lógico condicionante altitudinal, en la mayor parte de los casos la temperatura máxima y mínima registradas, así como la media, son superiores en el observatorio de Agramonte. Sin embargo puede verse que en ocasiones se producen situaciones de inversión térmica. En la figura 4 se ha representado el histograma de frecuencias de las diferencias de temperatura diaria máxima, mínima y media entre los dos observatorios. En el caso de las máximas diarias es prácticamente testimonial el caso de días en que la temperatura sea mayor en Majada. Sólo en 10 días se da esta circunstancia, siendo lo más frecuente cuantificar diferencias en favor del observatorio de Agramonte de entre 5 y 7 °C. En el caso de las temperaturas mínimas sin embargo encontramos una mayor frecuencia de situaciones de inversión térmica. En 47 ocasiones, casi el 13 % de los días en los que tenemos dato registrado, la temperatura mínima diaria fue superior en el observatorio situado a una mayor altitud, permitiendo este dato cuantificar la frecuencia de situaciones de inversión térmica. En la figura 3 aparecen algunos ejemplos de estas situaciones mediante la representación de la información quinceminutal registrada.

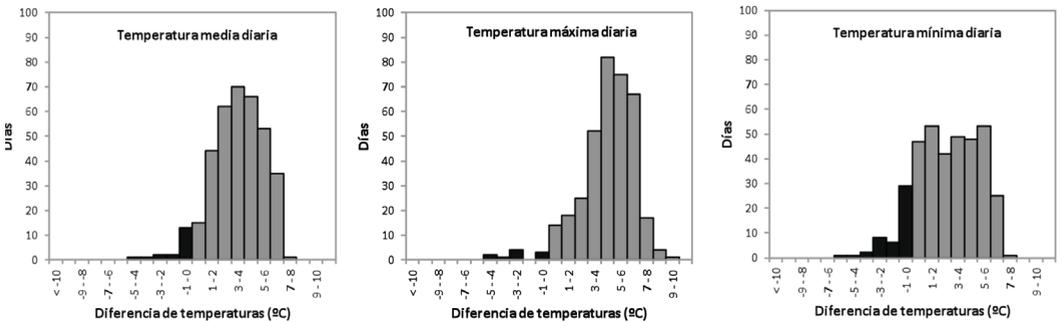


FIG. 4: Histograma de frecuencias de las diferencias de temperatura diaria máxima, mínima y media entre los dos observatorios. Las barras grises corresponden a anomalías positivas a favor del observatorio localizado a menor altitud. Las barras negras corresponden a situaciones de inversión térmica.

En relación a las precipitaciones, en la tabla 3 se muestran los valores obtenidos para la precipitación total anual en los dos observatorios objeto de estudio. En el caso de Agramonte, el registro es de 403.5 mm, siendo superior en el de Majada, donde se registraron en el periodo de

observación 562.4 mm. Estos valores nos llevan a cuantificar un gradiente de incremento de la precipitación en altura para ese periodo cuantificable en +22.7 mm / 100 m.

	<b>Agramonte (mm)</b>	<b>Majada (mm)</b>	<b>Dif (mm)</b>	<b>Gradiente mm/100 m</b>
nov	51,7	39,3	12,4	-1,8
dic	60,5	63,0	-2,5	0,4
ene	24,7	37,0	-12,3	1,8
feb	35,2	42,1	-6,9	1,0
mar	113,5	98,2	15,3	-2,2
abr	35,0	74,5	-39,5	5,6
may	2,9	74,9	-72,0	10,3
jun	0,6	37,3	-36,7	5,2
jul	18,9	14,0	4,9	-0,7
ago	8,5	6,7	1,9	-0,3
sep	28,4	47,0	-18,5	2,6
oct	23,5	28,5	-5,0	0,7
anual	403,5	562,4	-158,9	22,7

TABLA 3: *Precipitación total mensual y anual en Agramonte y Majada Baja. Diferencia y cuantificación del gradiente altitudinal.*

La correlación entre los valores de los dos observatorios es sensiblemente inferior a la señalada para las temperatura, con una R en el caso de la precipitación de 0.22 que indicaría la presencia de factores atmosféricos diferenciales a la hora de explicar los eventos de lluvia. El ciclo anual refleja un máximo en ambos observatorios en el mes de marzo y un mínimo que en el caso de Majada se encuentra en agosto y en Agramonte en junio. Ha de recordarse de nuevo que no estamos manejando series plurianuales de registros sino de observaciones continuas de un sólo año. La elevada variabilidad espacio-temporal de la precipitación, notablemente mayor que en el caso de las temperaturas, puede condicionar el reparto intranual de los valores llevándonos a ciclos anuales que pueden diferir notablemente del obtenido a partir de una serie larga. Sin embargo llama especialmente la atención las diferencias que se observan en los meses de abril, mayo y junio entre lo precipitado en Agramonte y en Majada, superándose ampliamente en este punto los valores registrados más abajo. La diferencia es especialmente notable en mayo, mes en el que frente a los 2.9 mm de Agramonte se registraron hasta 74.9 mm en Majada, descartándose problemas en el funcionamiento de ambos data-logger. En ocho de los doce meses los registros son superiores en el observatorio localizado a mayor altitud, confirmándose ese gradiente pluviométrico positivo esperado. No obstante es de destacar la presencia de meses en los que la precipitación es más elevada en el observatorio localizado a menor altitud. Series de registros más largas ayudarán a confirmar si se trata del efecto de las condiciones de un año concreto o existen factores que puedan explicar este no esperable resultado. Así pues, en razón de esa variabilidad espacio-temporal antes señalada, los gradientes obtenidos, reflejados en la tabla 3, ha de comprobarse en futuros trabajos si quedan condicionados a la propia dinámica atmosférica del año de registros y no tanto a factores más generales que puedan afectar al conjunto de la zona de estudio analizada.

## 5. DISCUSIÓN

Como señalábamos en la introducción, en cualquier estudio de entornos de montaña es frecuente aludir a la existencia de gradientes térmicos y pluviométricos en la vertical que sin embargo en pocas ocasiones han sido cuantificados a partir de observaciones *in situ*. Las aproximaciones más tradicionales señalan la existencia de un descenso de las temperaturas de  $0.65\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ , que en ausencia de mediciones ha sido utilizado indistintamente en distintos espacios geográficos e incluso en laderas de diferente exposición. En cuanto a las precipitaciones siempre se alude a la mayor dificultad derivada de la mayor complejidad espacial en el reparto de esta variable.

La forma de aproximarnos al cálculo de los gradientes altitudinales puede ser a partir de una modelización espacial y estimación de valores en altura o a partir de la toma directa de datos. En el primer grupo podríamos encuadrar el trabajo de DALY *et al* (1993) que presentan un modelo analítico que distribuye puntos de medidas de precipitación y temperaturas mensuales y anuales para regular los valores de las celdas de un grid. Este modelo, llamado PRISM analiza las relaciones entre precipitación y elevación ofreciendo una combinación de conceptos climatológicos y estadísticos para cartografiar la precipitación orográfica. Este modelo es comparado con otros métodos geoestadísticos (*kriging*, *detrended kriging* y *cokriging*). En una línea similar, GUAN y WILSON (2005) introducen un modelo geoestadístico conocido como ASOADEK para estimar las variaciones altitudinales de la precipitación en una región montañosa de Nuevo México. GÓMEZ *et al* (2008) presentan un método para la estimación de temperatura y precipitación media para zonas con relieves complejos o faltas de información, mediante la interpolación simple complementada con análisis estadísticos. La zona de estudio es el municipio de Tepehuandes, en el estado de Durango (Mexico), con un área de  $6.401\text{ Km}^2$  y elevaciones entre 600 y 3.200 msnm. Se trata sin embargo de aproximaciones realizadas mediante modelización espacial basada en métodos que tienen en cuenta toda la información disponible en un entorno que supera ampliamente el de la zona de montaña objeto de estudio y en los que a pesar de retener los rasgos generales de distribución de las temperaturas y precipitaciones, los datos obtenidos no tienen en cuenta la variabilidad local de estos parámetros, fundamental a la hora de desarrollar análisis de impactos del clima sobre los sistemas naturales. Más adecuada nos parece la aproximación de TANG y FANG (2006), que estudian los cambios de temperatura en el monte Tabai (3.767m), en China. Usan *microloggers* para medir la temperatura durante un año en laderas norte y sur, en 16 elevaciones diferentes entre los 1250 y los 3.250 msnm, cuantificando gradientes distintos entre ambas laderas y también a lo largo del año. En una línea similar se encuentran los resultados ofrecidos en este trabajo, si bien la densidad de puntos de observación es menor.

La importancia de las variaciones entre distintas vertientes anima a la extensión de la red actual hacia la vertiente soriana, mientras que las diferencias observadas en cuanto a la variación altitudinal de máximas y mínimas así como la distinta magnitud que a lo largo del año muestran los gradientes térmicos y pluviométricos abren nuevas líneas en cuanto al impacto de las variaciones climáticas en altura sobre los sistemas forestales, siendo particularmente útil su análisis en los límites superior e inferior de distribución, los más sensibles a los cambios ambientales y por tanto sobre los que mayor atención habría de ponerse a la hora de planificar la ubicación de nuevas estaciones.

## 6. CONCLUSIONES

El análisis de las variaciones de la temperatura y la precipitación en altura se muestra como fundamental a la hora de analizar impactos sobre los sistemas naturales en espacios especialmente

frágiles como son las zonas de montaña, así como para monitorizar la evolución del clima en un escenario de posible cambio climático. Las observaciones realizadas en el Macizo del Moncayo entre noviembre de 2010 y octubre de 2011 han ofrecido ya resultados significativos en cuanto a la cuantificación de los gradientes térmicos y las diferencias observadas en el comportamiento de máximas y mínimas y la variación de los gradientes a lo largo del año. Es también interesante la constatación de la existencia de inversiones térmicas, más numerosas en el caso del análisis de las mínimas. Los datos sobre precipitación no ofrecen resultados tan concluyentes, si bien es de esperar que una serie plurianual sí pueda ofrecer información más sólida sobre las variaciones en altura de este elemento del clima.

### *Agradecimientos*

DGA-La Caixa, (Proyecto: GA-LC-031/2010); Gobierno de Aragón (Grupo de Investigación "Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales, BOA 69, 11-06-2007). Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, Patronato del Parque Natural del Moncayo

### **REFERENCIAS**

- Daly, C., Neilson, R.P. Phillips, D.L. (1993). A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*. 33: 140-158.
- Gómez, J.D., Etchevers, J.D., Monterroso, A.I., Gay, C., Campo, J., Martínez, M. (2008). Spatial estimation of mean temperatura and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera* 21(1): 35-56.
- González-Hidalgo, J.C., Brunetti, M., De Luis, M. (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005). *Int. J. Climatol.* 31: 715-731.
- Guan, H., Wilson, J.L. (2005). Geostatistical mapping of mountain precipitation incorporating autosearched effects of terrain climatic characteristics. *Journal of Hydrometeorology*. 6: 1018-1031.
- Stepanek, P. (2008). *ProClimDB - software for processing climatological datasets*. CHMI, regional office Brno.
- Tang, Z., Fang, J. (2006). Temperature variation along the northern and southern slopes of Mt. Taibai, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139: 200-207.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, et al. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press.