

# LA NECESIDAD DE CONSIDERAR LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN LA INTRODUCCIÓN DE CULTIVOS TROPICALES EN LATITUDES MEDIAS. EL MANGO EN EL VALLE DEL GUADALHORCE (MÁLAGA)

Jesús Rodrigo Comino<sup>1</sup>, José María Senciales González<sup>1</sup> y José María González Moreno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga

<sup>2</sup>Técnico Especialista Titular (IFAPA-Churriana)

## RESUMEN

El presente trabajo pretende demostrar que no es recomendable la introducción de un cultivo tropical como el mango (*Mangifera indica*) dentro del área mediterránea del valle del Guadalhorce (Málaga, España). Es un cultivo en expansión por su rentabilidad económica, pero es necesario atender a los posibles riesgos climáticos para su explotación (tras la gran inversión que requiere). Para justificar esta afirmación se presenta un estudio agroclimático realizado en las parcelas experimentales de la finca de IFAPA (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía) de Churriana (Málaga). Los resultados se obtienen a través de los datos de una estación meteorológica y una modelización territorial a partir de herramientas de análisis espacial con SIG. Se tienen en cuenta las variables térmicas y los vientos como condicionantes principales de la aparición de la necrosis apical: patología mortal para el mango.

**Palabras clave:** Cultivo de mangos, agroclimatología, SIG, valle del Guadalhorce, temperaturas y viento.

## ABSTRACT

### Climate risks opposite to the introduction of a tropical crop (mango) in the Guadalhorce valley (Málaga)

This work tries to demonstrate that is not recommendable to bring a tropical crop like the mango (*Mangifera indica*) in a Mediterranean area as Guadalhorce valley (Málaga, Spain). This crop is getting an expansion because of its high economic profitability, but it is necessary to pay attention in possible climatic risks before its exploitation (because it needs high capital investment). Justifying it, we present an agroclimatic study carried out in experimental plots of IFAPA (*Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía*) at Churriana (Málaga, Spain), obtaining results by means of a meteorological workstation data and a territorial model using spatial analyst tools with GIS. Thermic variables and winds have been considered as determining factors for appearance of apical necrosis: deadly disease for the mango.

**Key words:** Mango crop, agro-climatology, GIS, Guadalhorce valley, temperatures and wind.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. El clima mediterráneo y la reconversión del papel de la agricultura

Desde finales del siglo XX, la agricultura ha perdido individualismo, disminuyendo su protagonismo absoluto dentro del contexto rural por su diversificación y amplitud de objetivos. En la actualidad, se contempla como una actividad más dentro del conjunto de funciones que se exige al mundo rural, no siendo la única fuerza económica que debe actuar en este espacio (Larrubia y Galacho, 2003). El agricultor, además, debe comportarse también como un agente de protección ambiental, algo recientemente descubierto para los políticos comunitarios, pues es el que mejor “ha defendido y puede defender el medio ambiente” (Bielza de Ory, 1999).

Concretamente, la región mediterránea es una de las zonas de más antigua actividad agraria donde se ha transformado de modo acusado y casi continuo el paisaje (Hernández-Laguna, 2004). En su análisis

---

Contacto: Jesús Rodrigo Comino: [geo.jrc@gmail.com](mailto:geo.jrc@gmail.com); José María Senciales González: [senciales@uma.es](mailto:senciales@uma.es); José María González Moreno: [josem.gonzalez.moreno@juntadeandalucia.es](mailto:josem.gonzalez.moreno@juntadeandalucia.es)

de este medio, Lorca y Escribano (1997) exponen que “se entrelazan factores políticos, económicos, culturales e históricos de gran complejidad, por su posición geográfica privilegiada en la agenda política y económica de la Unión Europea”. De esta forma, el espacio cultivado y la variabilidad climática, también se pueden ver condicionados directamente. Esto sucede cuando las variaciones (de todos o algún factor relevante como el déficit hídrico) son de tal magnitud que no pueden ser absorbidas por el propio sistema y, en tal sentido, exceden su capacidad de respuesta adaptativa o resiliencia (Labrador *et al.*, 2009).

El clima mediterráneo se caracteriza por la coincidencia de la estación cálida y seca durante verano, por lo que de esta manera las especies vegetales autóctonas deben adaptarse a estas condiciones, reduciendo su actividad metabólica durante el estío. Por el contrario, en el caso de los cultivos importados desde otras regiones climáticas, su supervivencia se ve condicionada al riego durante la época estival. Por ello, la agricultura tradicional sólo podía conseguir incrementar su productividad en las zonas susceptibles de ser regadas como llanos aluviales, terrazas fluviales, abanicos aluviales, marjales y deltas (Cerdá *et al.*, 2007). Así, los requerimientos mínimos de los cultivos justificarán en un primer nivel la vocación discriminante de los territorios agrícolas (Larrubia y Galacho, 2003). Dentro de este contexto, la agricultura sufre un proceso de evolución adaptativa al medio y gracias al procedimiento de ensayo “acierto/error”, ha sido capaz de absorber buena parte de la variabilidad climática media (Puigdefábregas, 1998). Las diferentes zonas edafoclimáticas (údica, ústica, xérica y arídica) con diferencias marcadas en la dotación de agua de los suelos (carencias y excesos puntuales) dieron lugar a calendarios, mapas de cultivo y aprovechamientos muy diversos (Soil Survey Staff, 2010).

El ciclo vegetativo del cereal, por ejemplo, hace que el suelo esté desprotegido la mayor parte del año. López-Bermúdez *et al.* (1998) contabilizaron (en sustratos calizos) las mayores pérdidas edáficas en parcelas de trigo y cebada entre un amplio rango de usos del suelo, especialmente cuando las lluvias intensas coinciden con los períodos de desprotección del suelo. Por lo que respecta a cultivos arbolados, la baja densidad de los marcos de plantación y la intensidad de las lluvias mediterráneas hacen de ellos cultivos potencialmente muy erosivos, especialmente en plantaciones jóvenes (García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009). Sin embargo, a partir de diversos estudios experimentales, Kosmas *et al.* (1997, 2002) concluyen que especies como el olivar producen pérdidas de suelo escasas si se mantiene la cubierta herbácea de base.

En los últimos años, se han llevado a cabo numerosos estudios con el propósito de establecer diferentes estrategias destinadas a frenar los procesos erosivos, principalmente en términos de reducción de escorrentía, como los casos mencionados anteriormente del cereal o el olivar; sin embargo, para la gestión de una explotación agrícola y la introducción de un tipo de cultivo concreto han sido menos relevantes y numerosos los análisis territoriales unidos también a las variables climáticas como factores determinantes. El conocimiento de las series de precipitaciones, temperaturas o vientos provee al investigador de una información útil para comprender el comportamiento y repercusiones del clima sobre los sistemas naturales y antropizados que ayude a la toma de decisiones sobre producción agraria, la regulación de la irrigación o la gestión de los recursos hidrológicos urbanos e industriales (Ruiz Sinoga *et al.*, 2010). Una de las principales tareas para una adecuada planeación del territorio radica en el conocimiento y la evaluación de los grados de idoneidad del uso actual y prospectivo de su suelo, en función de los diferentes atributos naturales y socioeconómicos involucrados en su desarrollo, y que determinan, en general, la aptitud del espacio para cada uso específico del mismo (Hernández-Santana *et al.*, 2010).

Para abordar este cometido, se pretende partir de los principios de la agroclimatología y el análisis espacial con SIG, susceptibles de ser utilizadas para la determinación de usos agrícolas adecuados concretos para el territorio.

## 1.2. La agroclimatología y los SIG

La agroclimatología es un instrumento eficaz que puede ser tomado como criterio objetivo de decisión en ordenación agrícola y utiliza como fuentes base de datos periódicas y no periódicas (Hernández Navarro, 1993). El tiempo meteorológico puede convertirse en un factor de riesgo que conlleve, en ocasiones irremediadamente, pérdidas sustanciales o totales en las cosechas. Organismos internacionales como FAO o la OMM y, en España, AEMET o el Ministerio de Agricultura, se han encargado de estudiar los cultivos tradicionalmente desde esta óptica. Así, se llega a la conclusión de que en el caso de una actuación a largo plazo, como la selección de cultivos o la implantación de una infraestructura de riegos, la información agroclimática ha de estar basada en el análisis frecuencial de los procesos y elementos cli-

máticos (Hernández Navarro, 1993). De esta manera, según Gerbier (1980) la información agroclimática repercute en: i) la elección más acorde de los cultivos, equipos y técnicas de cultivo; ii) la adaptación de las prácticas agrícolas a las características del clima local; iii) una explotación más económica gracias a la reducción de pérdidas debidas a las condiciones climáticas adversas o por utilizar los períodos favorables; iv) la reducción de la mano de obra innecesaria; v) la optimización de la administración de los recursos hídricos; vi) favorecer el desarrollo rural.

Se comprueba de esta forma, que resulta interesante el estudio de las condiciones climáticas de un determinado espacio agrícola; sin embargo, estos análisis conllevan una gran dificultad debido a la escasez de datos propios del área en cuestión a analizar y a las variaciones existentes por la pendiente o la exposición, pudiéndose hablar de variaciones microclimáticas en pequeños intervalos espaciales (Delgado Peña, 1999). El cada vez más generalizado uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta capaz de gestionar y analizar esta información espacial, junto a la mejora en la adquisición y uso de datos procedentes de la teledetección, ha propiciado el aumento de trabajos de seguimiento y análisis temporal de los diferentes procesos y de las variables espaciales que influyen sobre los sistemas ecológicos (Alonso Sarría *et al.*, 2010). Utilizando estas herramientas, existen numerosos estudios que centran sus esfuerzos en controlar los puntos de polución y degradación de las zonas agrícolas, siendo valiosa su contribución para la ordenación y gestión de espacios o recursos. A través de los SIG, también se han generado modelos a partir de zonificaciones (con índices que usan parámetros numéricos espacializados como la escorrentía, la cobertura vegetal, la topografía, los tipos de suelos o el clima) y algoritmos evolutivos, que pueden encontrar soluciones “casi óptimas” para las explotaciones a través del tiempo y de los patrones del paisaje o diversos usos del territorio (Hamlett *et al.*, 1992; Di Luzio *et al.*, 2003; Lant *et al.*, 2005; Pandey *et al.*, 2007), pudiéndose extrapolar las metodologías a otras áreas.

### **1.3. El mango: un cultivo en expansión ¿también en el valle del Guadalhorce?**

La falta de rentabilidad de los cítricos en la Comarca del valle del Guadalhorce en esta primera década del siglo XXI ha provocado que muchos agricultores consideren el cultivo del mango como una alternativa que pudiera ser viable en sus tierras; sin embargo, se demuestra en el presente trabajo por qué las características climáticas de la zona han acabado con algunas de las plantaciones que inicialmente se instalaron. Se apuesta desde dicho análisis que el frío y el viento han sido factores que han limitado su cultivo y por tanto la extensión de este frutal tropical en el territorio. Sus requerimientos hacen que su explotación quede restringida a la costa, pues necesita un invierno moderadamente frío (mínimas en torno a los 10°C), primavera cálida (mínimas superiores a 15°C), verano y otoño calurosos (27-36°C) y ligeras variaciones de temperatura entre el día y la noche (Galán Saúco, 2009a).

Desde 2009, el cultivo del mango al aire libre se extiende por la costa de Granada y Málaga con una superficie aproximada de 4.000 has., cultivadas con la variedad *Osteen* que supone el 75% de la superficie, seguida de *Keitt* (12%), *Tommy Atkins* (5%), *Kent* (5%) y un 3% de otras variedades ([www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sigpac](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sigpac)). El período de recolección se extiende desde mediados de agosto con *Tommy Atkins*, que es la más temprana, hasta finales de noviembre con *Kent* y *Keitt*, que son las más tardías. No obstante, en estas mismas zonas costeras se está empezando a cultivar el mango como una plantación intensiva bajo invernadero por propia iniciativa de los agricultores, dando un nuevo uso a los hortícolas abandonados por su baja rentabilidad y apostando por un cultivo tropical con menos requerimientos de mano de obra e insumos que los que le precedieron bajo el plástico. La precocidad de la plantación, el adelanto de la maduración y una menor incidencia de plagas y enfermedades son las ventajas asociadas a esta forma de cultivo y claramente perseguidas por los agricultores que apuestan por ello.

La introducción de esta forma de cultivo al aire libre por la Comarca del valle del Guadalhorce es menos apta para el mango por las limitaciones climáticas, que no por los suelos existentes o las deficiencias en agua; no obstante, esto es todavía una información no divulgada y reconocida. En el cultivo del mango al aire libre, se recomienda la elección de zonas poco ventosas y libres de períodos fríos, pues ambos son perjudiciales para él. Si no se sigue esta recomendación, entre otras cosas, se puede favorecer la aparición de la denominada *necrosis apical* ocasionada por la bacteria *Pseudomonas syringae* o, incluso, la pérdida de plantaciones enteras (lo que lleva ocurriendo desde hace años en esta comarca). También los efectos de la concentración de la lluvia originan problemas de infecciones y mala maduración en la fruta recolectada al aire libre, afectando por tanto a la calidad del fruto y a su cotización en el mercado (Galán Saúco, 2009b).

Actualmente, el modelo productivo del cultivo del mango en invernadero, en contraposición a la plantación en aire libre por el valle del Guadalhorce, está extendiéndose por la costa oriental de Málaga al ser una alternativa interesante al sector citrícola y muy rentable para una especie de alto valor como el mango. Por el contrario, el desconocimiento del comportamiento agronómico bajo invernadero de dicha especie en la comarca y los malos resultados conseguidos en su cultivo al aire libre han limitado su aparición, favoreciendo que sea conveniente una evaluación climática fundamentada como la propuesta en este trabajo, a fin de generar información válida que se traduzca en recomendaciones para un manejo óptimo del cultivo y dé respuestas adecuadas a las necesidades planteadas.

## 2. METODOLOGÍA

Se pretende la elaboración de un diagnóstico agroclimático de una finca con parcelas experimentales situada en un espacio representativo de las condiciones naturales de un medio mediterráneo meridional como el de la Comarca del valle del Guadalhorce, a través de los datos recogidos por una estación meteorológica y la utilización de las herramientas de análisis espacial de los SIG. Se persigue, como objeto final de estudio, definir por qué sus condiciones climáticas no son aptas para albergar un tipo de cultivo tropical en expansión como el mango, cuyo valor en el mercado europeo se ha incrementado dentro del sector frutícola.

La creación de un banco de datos agroclimático para este fin tendrá dos objetivos, según lo planteado por Gerbier (1980): i) formar una colección de datos que, por estar normalizados, permitan la realización de estudios comparativos cubriendo al mismo tiempo las necesidades de la profesión agrícola; ii) acumular información de diferentes procedencias con objeto de aumentar la utilidad y diversidad de los estudios necesarios para la optimización de la planificación agrícola.

Las variables climáticas que se utilizan principalmente son las temperaturas y el viento, además de, como apoyo, las precipitaciones, la ETP o la humedad ambiental. Por otro lado, como aspectos geomorfológicos a tener en cuenta analizaremos la exposición, la topografía (hipsometría) y la dirección del flujo hídrico.

El mango, por ser una especie con unos requerimientos muy definidos, necesita de una evaluación de las condiciones térmicas del territorio donde se desee cultivar muy precisa, que en el valle del Guadalhorce no se ha realizado (con las consiguientes pérdidas económicas que eso conlleva para muchas explotaciones). De ahí que en este análisis se haya realizado un estudio pormenorizado de las temperaturas mínimas, máximas y medias con idea de delimitar los diferentes rangos a los que nuestra área de estudio puede verse afectada. Sin embargo, se ha tenido también en cuenta otro elemento condicionante de los aspectos térmicos: el viento. Dicha variable es capaz de aumentar o disminuir los valores termométricos en varios grados, lo que puede hacer arriesgada la implantación de un cultivo como el mango, delicado frente a variaciones extremas. Para calcular este ajuste, se ha decidido utilizar el índice de *Wind chill* ideado por el Servicio Meteorológico de Canadá, que se sirve de un modelo matemático que establece correlaciones técnicas estándares de velocidad del viento y precio de transferencia de calor. Tradicionalmente, ha sido utilizado para calcular la sensación térmica sobre las personas cuando se ven afectadas por el viento; no obstante, su aplicación para estimar estándares de temperaturas tanto en espacios urbanizados como cultivados afectados en su exposición al viento, no difiere mucho en su implicación final: cuanto más viento y menor o mayor sea la temperatura, tanto para personas como para cultivos, la sensación térmica disminuirá o aumentará proporcionalmente, acentuando procesos de evaporación (con fuerte calor) o heladas.

Por último, a través de las herramientas de análisis espacial del SIG se espacializará la información sobre la finca experimental de IFAPA, tomada como muestra representativa de un área cultivada en el valle del Guadalhorce. En los resultados, se cartografían los niveles de exposición al viento, los cálculos de variación de los gradientes térmicos influidos por el aire en movimiento con el índice de *Wind chill* y la influencia sobre el área de estudio de esta dinámica con el cálculo de la dirección del flujo predominante por su disposición morfológica (utilizando un MDT de las hojas 1053 y 1067 a escala 1:10000).

## 3. ÁREA DE ESTUDIO

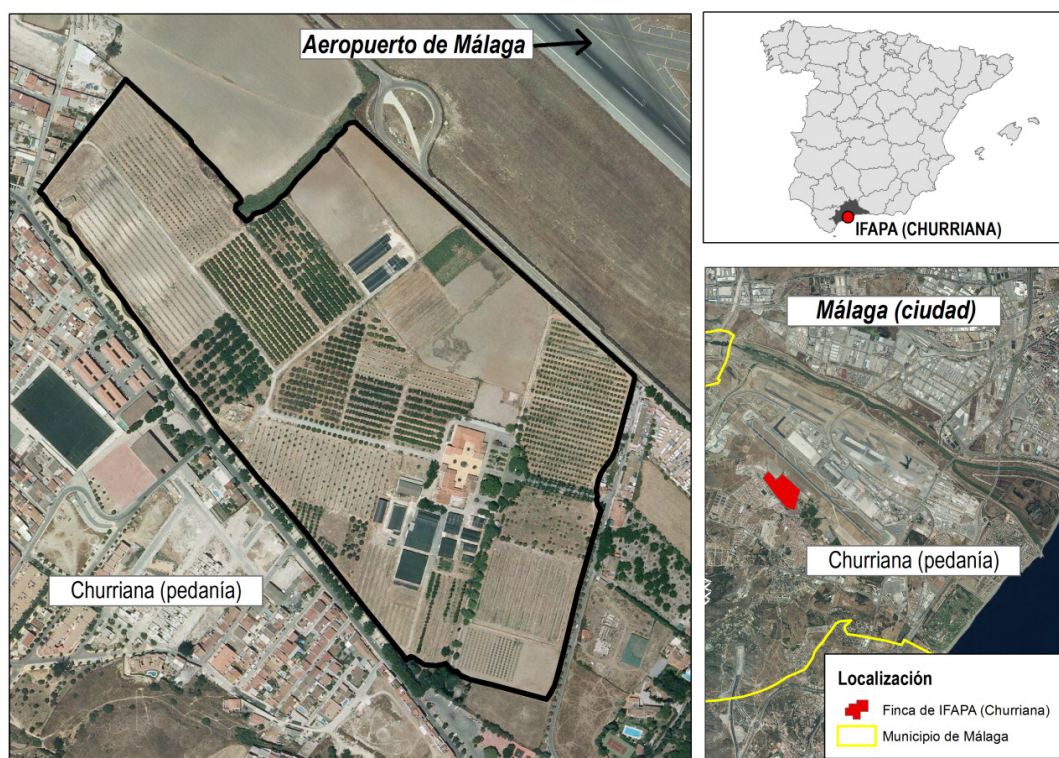
La mayor parte del territorio español está inmerso en la Región Biogeográfica Mediterránea, conformando un conjunto de áreas disjuntas unidas entre sí por un singular clima, el mediterráneo. Concretamente en la franja meridional de la Península Ibérica, encontramos un amplio espectro de subtipos que

van desde los meso y microclimas de montaña a los subdesérticos, pasando por numerosos territorios en transición.

En el área de estudio que se pretende evaluar, las mayores diferencias provienen, por una parte, del valor medio de la precipitación anual y, por otra, de la duración del periodo con probabilidad de heladas (Labrador *et al.*, 2009). De ahí, que sea fundamental el conocimiento de las precipitaciones anuales y los rangos térmicos (medios y absolutos), junto con la distribución espacial de su temporalidad. Esto será esencial para entender las variaciones agroclimáticas de las diferentes unidades ecológicas, independientemente de la escala (Bailey, 1998; Ruiz Sinoga *et al.*, 2011), ya que los periodos secos entre lluvias torrenciales y altas temperaturas juegan un papel muy importante en los procesos geomorfológicos, hidrológicos y ecológicos, particularmente en las relaciones suelo-planta (Arnold *et al.*, 2005; Lado *et al.*, 2009; Gabarrón, 2012).

Las parcelas experimentales del IFAPA de Churriana se encuentran localizadas dentro de la cuenca baja del valle del Guadalhorce (Figura 1). Expuesta a la influencia del Mar Mediterráneo, esta unidad entra en contacto con la de los Montes de Málaga por el norte y este y la Sierra de Mijas por el sur. Sus características hipsométricas la sitúan entre los 0-300 metros y unas pendientes inferiores al 21%. Destacan algunos pliegues anticlinales como la Sierra Gorda, Gibralgalia o Cártama a modo de ventanas tectónicas y se conserva gran cantidad de niveles de terrazas y glacis (por la erosión laminar desde las laderas de los pequeños pliegues desde los anteriores relieves mencionados). Hablamos de suelos relacionados con materiales sinorogénicos y con mezclas de actividades de diferentes orígenes como el fluvial o el procedente de las unidades circundantes (calcáreos, marmóreos y pizarrosos), tanto en el pasado como en la actualidad (Rodrigo Comino, 2012).

Figura 1. Mapa de la zona de estudio (IFAPA-Churriana).



Fuente: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Hojas 1.053 y 1.067. Elaboración propia.

#### 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Según Hernández Navarro (1993), la disponibilidad de datos agroclimáticos es un instrumento de primer orden para asegurar la eficacia de la planificación de cultivos, minimizando riesgos, y maximizando la cantidad y calidad de las cosechas. La misma autora destaca que “la cuantificación de las relaciones entre clima y actividad agrícola viene facilitada por la combinación de los datos meteorológicos, fenológicos

y los de rendimientos”. En el caso de este estudio, utilizaremos los datos obtenidos y tratados a partir de series mensuales y anuales de la estación agroclimática del IFAPA de Churriana que registra datos desde 1974<sup>1</sup>. Como requisito fundamental, hemos desestimado los años en los que existían lagunas en la información, quedando solo los que estaban completos para el análisis final y, como premisa principal, que se pudieran reunir más de 30 años en cada serie, como recomendó la OMM en 1935 (CEOTMA, 1984).

A continuación, se muestran los datos de las variables que afectan sensiblemente al resultado final del estudio: las temperaturas, el viento y, en menor medida, otras que influirán en aspectos que no se tratarán en este estudio como el tipo de riego, el desarrollo de la actividad microbiológica, las precipitaciones, la ETP o la humedad ambiental. Se debe precisar que, junto con el frío, el momento en el que la bacteria afecta a la planta (otoño e invierno) estos tres últimos elementos climáticos también son determinantes; sin embargo, no se han considerado de tanta relevancia en un principio para este estudio y quizás para completar la investigación en un futuro, serían cruciales para que las conclusiones alcanzadas fueran del todo veraces.

#### 4.1. Análisis de las temperaturas

La temperatura media anual registrada para la serie estudiada es de 18,32°C con unas mínimas en enero de 12,11°C y máximas en agosto de 25,834°C. Esta baja amplitud térmica (13,73°C) es típica del clima mediterráneo como resultado de su localización en latitudes templadas (36° 40' 30" N; 4° 30' 06" W). Sin embargo, durante el periodo de estudio registrado en la serie, se obtuvieron valores medios de las máximas de hasta 38,73°C y mínimas medias que descendieron hasta los 1,6°C. Pero, esta variabilidad termométrica es todavía más extrema cuando analizamos los valores absolutos organizados en la Tabla 1, con máximos históricos de 46°C (junio de 1983) y mínimos de -4 (marzo de 1993). Como se comprueba más adelante, estas temperaturas serán aún más peligrosas para el cultivo del mango cuando apliquemos en el análisis la implementación de los valores del viento.

Tabla 1. Temperaturas medias, promedios de las máximas y mínimas absolutas

Meses	T° $\bar{x}$	Máx. abs.	Año	M° $\bar{x}$	Mín. abs.	Año	m° $\bar{x}$
E	12,107	26	1981	21,317	-2	1981 y 1985	1,6
F	12,963	29	1995	23,03	-2	1983	2,2
M	14,589	34	1988	26,297	-4	1993	4,1
A	16,157	32	1980 y 2002	28,45	4	1978 y 1994	6,2
M	19,012	36	1995	30,503	6	1998	8,8
J	22,701	46	1983	35,623	11	1984 y 1988	13,6
J	25,094	45	1994	38,75	7	1981	16,1
A	25,834	42	1989 y 1989	38,733	12	1978	16,8
S	23,512	40,2	2008	35,007	9	1994	13,9
O	19,373	36	1983	30,563	0	2009	8,7
N	15,43	31	1995	25,463	0	1999	5,4
D	13,104	25,5	1999	21,95	-2	1980	2,4
$\bar{x}$	18,323			29,641			8,312

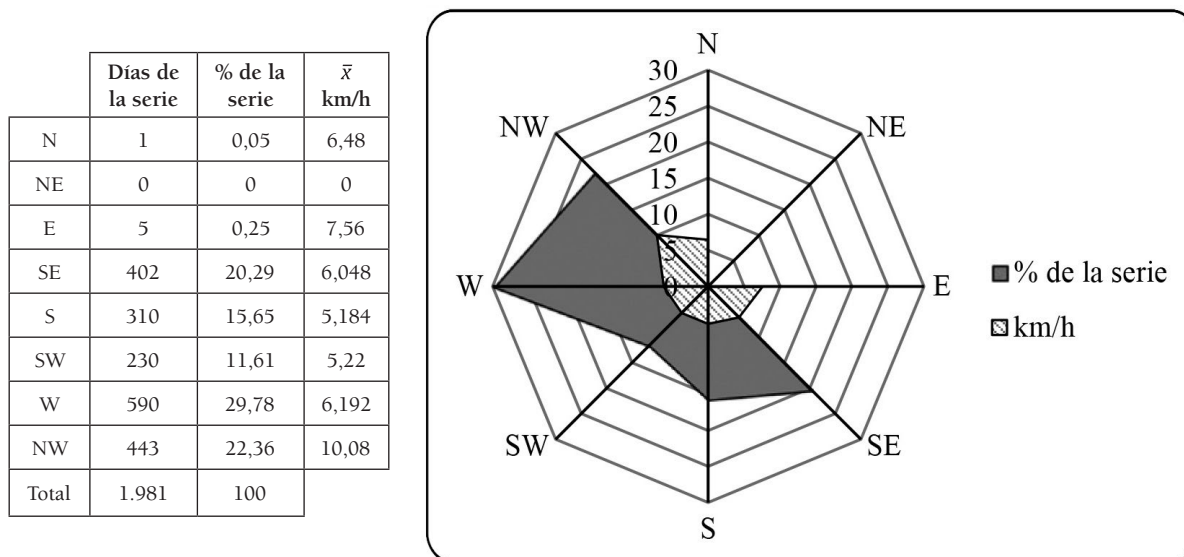
Fuente: Estación meteorológica (IFAPA-Churriana).  $\bar{x}$  (Promedio final); T° $\bar{x}$  (Promedio de la temperatura de la serie completa); Máx. abs. (Temperaturas máximas absolutas de la serie); M° $\bar{x}$  (Promedio de las temperaturas máximas absolutas de la serie por mes); Mín. abs. (Temperaturas mínimas absolutas de la serie); m° $\bar{x}$  (Promedio de las temperaturas mínimas absolutas de la serie por mes).

1 A continuación el enlace directo a los datos climáticos mencionados: [www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web)

#### 4.2. Análisis de los vientos

El viento es definido como aire que predominantemente se desplaza en dirección horizontal. Su velocidad real se puede analizar como el resultado de tres fuerzas (González Ferreiro y Bosque Sendra, 2008): del gradiente altitudinal (proporcional al barométrico), de la geostrófica (por fuerza de rotación de la Tierra y al efecto de Coriolis) y la ciclostrófica (fuerza centrífuga que actúa, sobre todo, sobre los vientos ciclónicos de fuerte curvatura). La topografía y las masas de agua condicionan en mayor medida el flujo del aire más próximo a la superficie terrestre, provocando alteraciones locales en el régimen del viento (brisas costeras o de valle). Como apunta el CEOTMA (1984), el conocimiento de las variaciones que experimenta el régimen de vientos tanto en velocidad como en dirección “es importante en los estudios del medio físico a cierta escala, ya que gran número de actividades están condicionadas por él” y, entre ellas, la relacionada con este trabajo: los cultivos. En la Tabla 2 y el Gráfico 1, se presenta el tratamiento de los datos del anemómetro de la estación agroclimática analizada, tanto del porcentaje de días que sopla en una misma dirección, como de la velocidad promedio con la que lo hacen:

Tabla 2 y Gráfico 1. Dirección e intensidad de los vientos en el área de estudio.



Fuente: Estación meteorológica (IFAPA-Churriana).

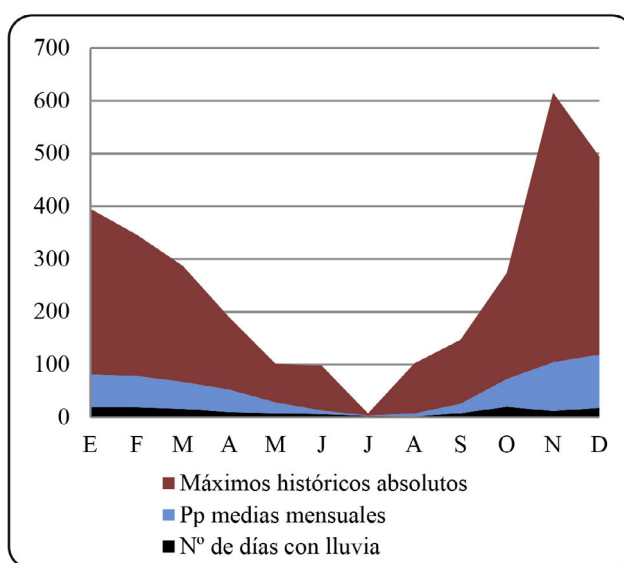
En el área de estudio seleccionada, la dirección predominante tras la evaluación de una serie con un total de 1.981 días es de componente Oeste, siendo los que con más intensidad soplan los del NW, que alcanzan los 10,08 km/h. Estos dos vientos se corresponden en el área de estudio a masas de aire húmedas e inestables generadoras del mayor volumen pluviométrico anual, concretamente en la época otoñal e invernal, o a secas y cálidas en verano o primavera con las mayores temperaturas y sequías.

#### 4.3. Precipitaciones, balance hídrico y humedad ambiental

Por último, se habla de otras variables que sirven para enmarcar de forma más concreta la situación climática del área de estudio en el contexto mediterráneo al que nos estamos refiriendo. En primer lugar, mencionar que el promedio de lluvias totales anuales registradas es de 511,836 mm (cuadro 3), con una concentración de eventos lluviosos en los meses de otoño e invierno (octubre-marzo), que alcanzaron una intensidad media (definida como el cociente entre el promedio mensual y el número de días de lluvia también de cada mes; CEOTMA, 1984) de 11,84, frente a los de primavera-verano de 7,15. Esta variabilidad es típica del clima mediterráneo con grandes diferencias en cantidad e intensidad de las lluvias, como resultado de la descarga de grandes cantidades de agua en períodos cortos de tiempo (Durán Zuazo *et al.*, 2012). Como se observa en el gráfico 2, se llegan a máximos pluviométricos que superan la media total anual en eventos históricos como noviembre de 1989.

Tabla 3 y Gráfico 2. Intensidad de las precipitaciones y máximos históricos en relación a los promedios

	$\bar{x}$ (dia/mes)	Pp $\bar{x}$	Intensidad
E	6,2	62,53	10,14
F	5,4	59,36	10,93
M	4,1	51,21	12,39
A	4,8	42,46	8,79
M	3,2	20,33	6,42
J	1,2	6,9	5,6
J	0,3	0,4	1,22
A	0,4	5,14	12,85
S	2,2	17,69	8,04
O	4,8	52,54	10,95
N	6,1	92,34	15,06
D	6,9	100,92	14,7
Total	45,7	511,84	11,2



Fuente: Estación meteorológica (IFAPA-Churriana).

Respecto a la humedad ambiental, hacer referencia a que la cercanía de la costa incrementa estos valores considerablemente con respecto a los de las áreas interiores. Las cifras medias oscilan entre el 69% anualmente con una desviación estándar de 6,79 en la serie y un coeficiente de variación de 10,97, dándose las mayores oscilaciones como resultado de las diferencias de vientos de interior (oeste y noroeste) y costeros (sureste). Por último, se adjunta en la tabla 4 el cálculo de la ETP a través del método de Thornthwaite y la ficha hídrica, utilizando el valor de las temperaturas medias mensuales y de las diferentes constantes requeridas. Así, observamos cómo los requerimientos de agua por parte de la especie que se desee cultivar tienen que ser mínimos, si no se dispone de un sistema de riegos continuo. Para esto, Pérez Cobos *et al.* (2003) afirman que es imprescindible el desarrollo de sistemas basados en tecnologías avanzadas que permitan cuantificar las dotaciones de regadío y controlar su aplicación, con objeto de disminuir el consumo de agua en zonas con sequía agrícola y meteorológica como ésta (Marcos Valiente, 2001; Durán Zuazo *et al.*, 2012), y que especies como el mango no pueden sufrir para su total desarrollo.

Tabla 4. Cálculo de la ETP por el Método de Thornthwaite

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total (mm)
T° $\bar{x}$	12,11	12,96	14,59	16,16	19,01	22,7	25,09	25,83	23,51	19,37	15,43	13,1	
ETP	2,55	2,84	4,37	5,69	8,63	12,25	15,11	14,95	10,98	7,12	4,02	2,86	913,72

Fuente: Estación meteorológica (IFAPA-Churriana)

#### 4.4. Aplicación del índice de Wind chill sobre las temperaturas máximas y mínimas absolutas

Con anterioridad, se han presentado los valores de las temperaturas medias, de las máximas y las mínimas, pudiéndose observar que, a simple vista, aunque son muy diferentes entre los distintos meses, aparentemente no son determinantes para concluir que el mango no se pueda cultivar en el área de estudio. Sin embargo, a continuación se atenderán a los valores referidos con los datos termométricos máximos y mínimos absolutos (y sus promedios) con objeto de determinar hasta qué punto se pueden alcanzar riesgos climáticos relacionados con el descenso o aumento de las temperaturas para la producción del mango, en este caso.

Estos niveles aún pueden llegar hasta extremos mucho mayores si se aplica el índice de *Wind chill*, definido por el Servicio Nacional del Tiempo (NWS) de Canadá y que se reajustó junto con el Departamento de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), como aquel cálculo que permite determinar los posibles daños ocurridos por el descenso de las temperaturas junto con el efecto



del viento, según la velocidad de este. Como variables, este índice utiliza la velocidad de las masas de aire en movimiento a partir de 5 pies (1,52 metros, que se aproxima a la medida estándar establecida para la altura al hombro de un ser humano medio), incorpora la teoría de transferencia de calor y de pérdida de este entre cuerpos a partir de 3 mph (1 km/h = 0,6214 mph), omitiendo el impacto del sol<sup>2</sup>. Las fórmulas oficiales que se han aplicado en este trabajo son las siguientes:

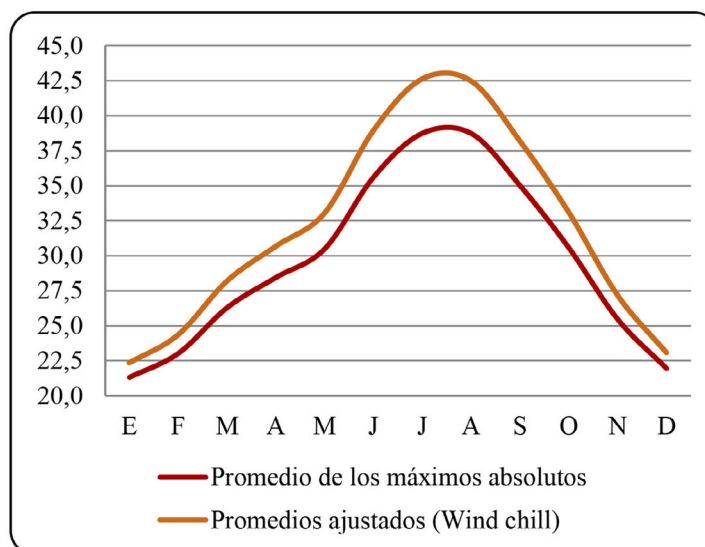
$$\text{Wind Chill } (^{\circ}\text{F} = T \text{ y mph} = V) = 35,74 + 0,6215T - 35,75(V^{0,16}) + 0,4275 T(V^{0,16})$$

$$\text{Wind Chill } (^{\circ}\text{C} = T \text{ y km/h} = V) = 13,12 + 0,6215T - 11,37 V^{0,16} + 0,3965T(V^{0,16})$$

En las Tablas 5 y 6, y los gráficos 3 y 4, se muestran los ajustes de las temperaturas con el índice de *Wind chill*. Es preciso prestar atención a que se pueden obtener valores que se diferencian hasta en casi 4°C, tanto en las máximas como en las mínimas:

Tabla 5 y Gráfico 3. Promedios de las temperaturas máximas ajustadas con el índice de *Wind Chill*

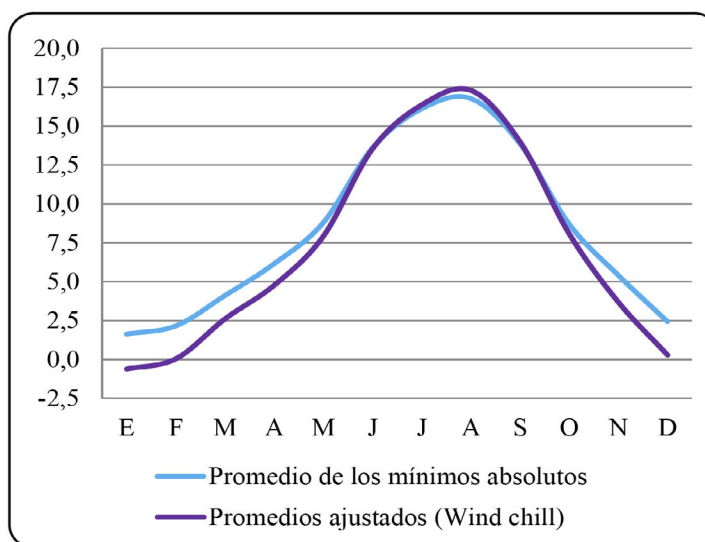
	$\bar{x}$	Viento	T° máx. (Wind chill)
E	21,317	7,36	22,352
F	23,03	7,2	24,363
M	26,297	6,27	28,198
A	28,45	6,94	30,68
M	30,503	6,6	33,058
J	35,623	6,29	38,957
J	38,75	6,83	42,635
A	38,733	5,81	42,477
S	35,007	5,68	38,191
O	30,563	5,71	33,104
N	25,463	7,79	27,176
D	21,95	7,48	23,083



Fuente: Estación meteorológica (IFAPA-Churriana).

Tabla 6 y Gráfico 4. Promedios de las temperaturas mínimas ajustadas con el índice de *Wind Chill*

	$\bar{x}$	Viento	T° mín. (Wind chill)
E	1,6	7,4	-0,6
F	2,2	7,2	0
M	4,1	6,3	2,6
A	6,2	6,9	4,8
M	8,8	6,6	7,9
J	13,6	6,3	13,5
J	16,1	6,8	16,4
A	16,8	5,8	17,3
S	13,9	5,7	14
O	8,7	5,7	8,1
N	5,4	7,8	3,7
D	2,4	7,5	0,3



Fuente: Estación meteorológica (IFAPA-Churriana).

2 Fuente: [www.nws.noaa.gov](http://www.nws.noaa.gov)

Cuando se aplica este índice, se puede ver cómo cuanto más elevadas o reducidas sean las temperaturas, más se extreman en sus valores, difiriendo bastante en sus valores iniciales. Por el contrario, en los datos intermedios son más parecidas las cifras, ya que también coinciden con los momentos de menos intensidad del viento. Cabe destacar que los valores más peligrosos para el cultivo del mango en el área de estudio serían los de las mínimas de diciembre a febrero, que llegan a bajar hasta los 0°C, ya que es en los meses de otoño e invierno cuando la bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* es activa y genera la necrosis apical en el mango.

Incluso, serían peligrosos los valores de julio y agosto (superiores a 42°C), si persistieran durante varios días, pudiendo quemar la cobertura foliar. Por último, si además se tienen en cuenta los valores alcanzados en los mínimos y máximos históricos en días concretos de la serie (-4° y 46°C), estas cifras todavía serían mucho más definitivas para la no introducción de un cultivo tropical como éste, ya que con toda seguridad destruiría la plantación de ese año.

#### 4.5. Cálculo de gradientes y mapas termométricos de las máximas y mínimas absolutas

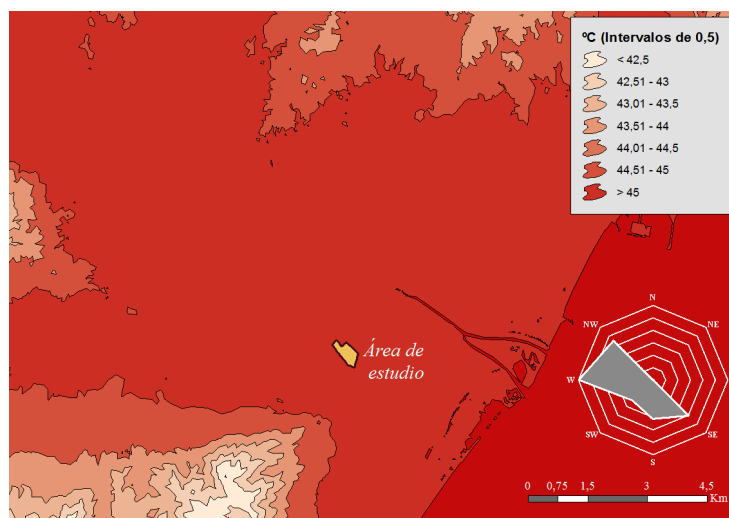
Seguidamente, se muestran los promedios de las temperaturas mínimas y máximas absolutas de los meses más críticos con respecto a los requerimientos que el mango tiene.

Para el cálculo de la variación de los gradientes térmicos a lo largo de una superficie, se precisa el uso de estaciones meteorológicas periféricas que reúnan características climáticas y geomorfológicas parecidas. De esta manera, se puede calcular cómo descienden o ascienden las temperaturas conforme aumenta o decrece la altitud. En el caso que se presenta de la finca con parcelas experimentales de IFAPA-Churriana, las diferencias altitudinales son pequeñas, pero llevados estos cálculos a extensiones más amplias el mapa quedaría muy definido con un gradiente más marcado.

En estas operaciones se han empleado registros estadísticos como la estimación lineal, el cálculo de la intersección y el coeficiente de correlación de los datos ( $R^2$ ). Las estaciones utilizadas que han permitido obtener la mejor correlación entre temperatura y altitud son las de Casarabonela, Cártama-Fahala, Alozaina, Coín y el Aeropuerto de Málaga.

Durante las operaciones con las diferentes ecuaciones, se comprueba que los valores de máximas absolutas sólo son aplicables desde el Aeropuerto de Málaga hasta la estación meteorológica de Coín, hasta donde se produce un gradiente positivo desde el mar (que refresca en verano y se deja notar su cercanía) hacia el interior, aumentando la temperatura (desde 29'56°C a 0 m.) 0'803°C cada 100 m. de ascenso; pero a partir de Coín (cota 209 m.) el gradiente recupera su descenso natural con la altura. En cambio, el gradiente mostrado con los valores máximos extremos de la serie es acorde con el gradiente medio natural, con un descenso de 0'603°C cada 100 m., a partir de un valor estimado de 45'77°C a 0 m. La aplicación del Wind Chill a estos últimos datos implicaría valores superiores a 45°C en toda la vega baja del Guadalhorce (Figura 2).

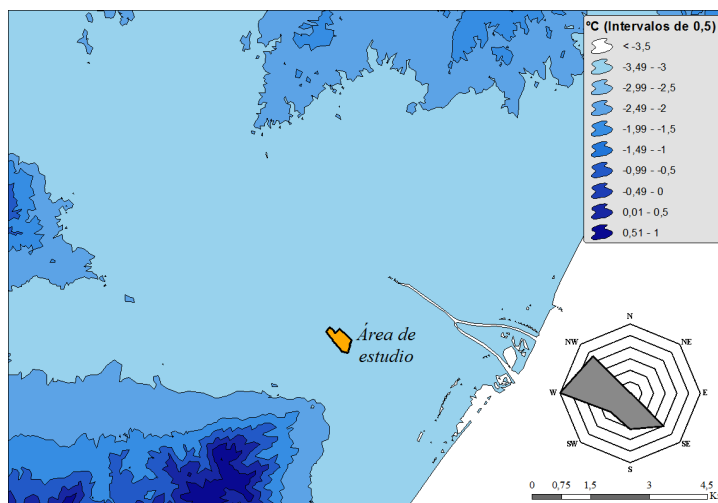
Figuras 2. Mapa de cambio en el gradiente termométrico de las máximas absolutas



Fuente: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). MDT05/MDT05-LIDAR. Elaboración propia.

Para las mínimas absolutas no ha sido posible encontrar un gradiente con coeficiente de correlación significativo. Sin embargo, cuando se aplican los valores mínimos extremos de la serie aparece un buen ajuste ( $R^2=0,84$ ) y un gradiente muy parecido al de las máximas absolutas: incremento de  $0,8^{\circ}\text{C}$  cada 100 m. a partir de  $-3,96^{\circ}$  a 0 m. De nuevo, la aplicación del *Wind Chill* a estos últimos valores implicaría valores inferiores a  $-3,5^{\circ}\text{C}$  en toda la vega baja del Guadalhorce (Figura 3).

Figuras 3. Mapa de cambio en el gradiente termométrico de las mínimas absolutas



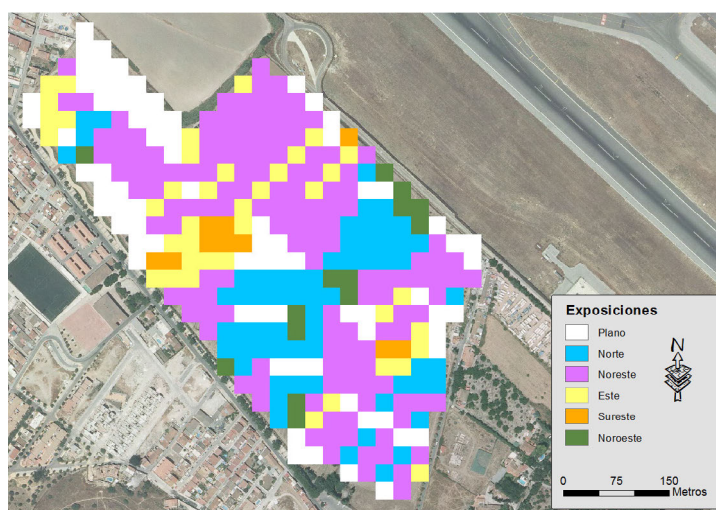
Fuente: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). MDT05/MDT05-LIDAR. Elaboración propia.

## 5. ANÁLISIS ESPACIAL CON SIG DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

A continuación, se procederá al desarrollo de la secuencia metodológica expuesta en el apartado 2 relacionada con la expresión espacial de los datos, exponiéndose una serie de mapas elaborados con el software *ArcMap* y *ArcScene 10.1* de la compañía ESRI, el MDT (modelo digital de elevación terrestre) y la fotografía aérea obtenidas de la zona de descargas del IGN (Instituto Geográfico Nacional, Hojas 1053 y 1067).

El primer paso será entender el condicionamiento geomorfológico que la finca estudiada inflige a las condiciones climáticas anteriormente expuestas y si son potenciadas o no por estas. En primera instancia, se procede a la realización mediante SIG del mapa de exposiciones (Figura 4). De esta manera, a continuación se podrá calibrar la dirección del flujo del viento y la cantidad de superficie de la finca afectada por el descenso o aumento de las temperaturas, mencionados con anterioridad.

Figura 4. Mapa de exposiciones del área de estudio.



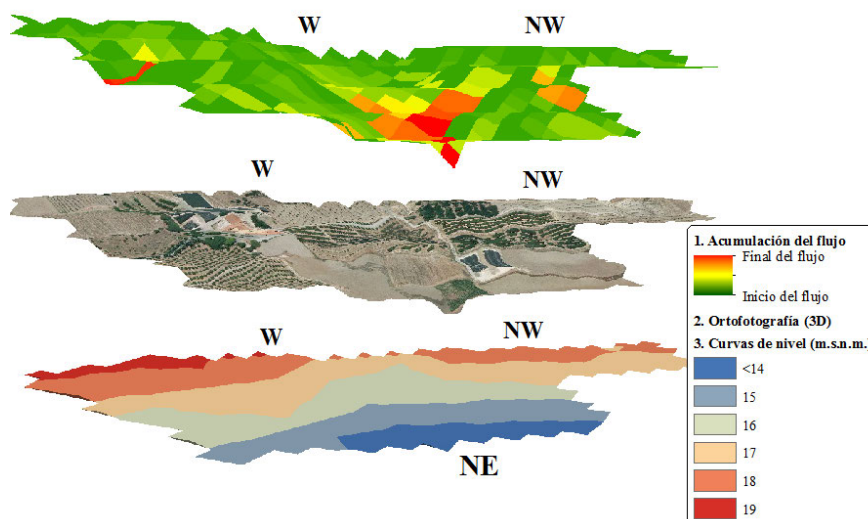
Fuente: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). MDT05/MDT05-LIDAR. Elaboración propia.

El mayor porcentaje del área de estudio está orientada hacia el NE, N y E. Estos resultados indican una orientación preferente, lo que conllevaría a que, si al calcular la dirección del flujo de la movilidad teórica que el viento lleva sobre el área de estudio es contraria a esta (perpendicular a la exposición), los riesgos climáticos por descenso y ascenso térmico para el cultivo del mango en la finca se verán multiplicados.

Para el cálculo del flujo, se ha utilizado el mismo procedimiento que si se pretendiera estimar la dirección de un posible cauce y hacia dónde se dirigiría condicionado por la fuerza de la gravedad, con la salvedad de que se implementa como base, además del MDT, el mapa de exposiciones en formato "raster".

En primer lugar, se deben eliminar las imperfecciones del MDT (huecos y posibles sumideros) con la herramienta de tratamiento espacial "Fill" de ArcMap. A continuación, se debe establecer la dirección del flujo teórico que, con las condiciones geomorfológicas del área de estudio (utilizando el mapa de exposiciones de la Figura 3), debería tener el viento "corriente abajo" a través del comando "Flow direction". Por último, se debe determinar la acumulación del flujo de las celdas de la capa "raster" que "fluyen" hacia cada una de las adyacentes, descendiendo sobre la pendiente de la ladera: para esta acción se utiliza la herramienta "Flow Accumulation". El resultado se puede comprobar en la Figura 4, donde el color blanco determina la dirección final del recorrido teórico de la masa de aire y las áreas más afectadas por los riesgos climáticos de las temperaturas y el viento. Como resultado se obtienen unos flujos predominantes W-NE y NW-NE que se representan en la Figura 5:

Figura 5. Mapa de relación entre la dirección del viento (flujo) y las curvas de nivel.



Fuente: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). MDT05/MDT05-LIDAR. Elaboración propia.

De esta manera, el mapa presenta la coincidencia existente entre la dirección del viento predominante de la serie total (NW y W), las masas de aire que afectan con mayor intensidad en el área de estudio (NW) y una exposición a modo de "rampa en cuesta descendente" ante ellos (NE, N y E). Así, como resultado final se puede apreciar cómo los píxeles cartografiados de la capa "raster" de la finca que permanecen en colores distintos al negro serán los más afectados por este riesgo climático térmico. Así, los efectos más intensos en la relación viento-temperaturas tanto para el aumento como el descenso térmico se desarrollarán preferentemente en las direcciones NW-NE y W-NE, mostrando las áreas más problemáticas para el cultivo final del mango.

## 6. CONCLUSIONES

El medio físico es uno de los factores más importantes a la hora de determinar los sistemas de aprovechamiento que se explotan en el territorio. La conjunción de variables físicas como la geomorfología o las condiciones climáticas están en la razón de ser de la diferenciada especialización productiva de los espacios a lo largo del tiempo y por ende, de su distinta productividad y riqueza (Larrubia y Galacho, 2003). En este caso, se ha podido demostrar cómo, a causa de la temperatura y la conjunción del factor viento, no es viable en un territorio de tradicional vocación citrícola la introducción de un cultivo tropical como el mango, considerándolo solución o alternativa para potenciar de nuevo esta área en crisis económica.

La *necrosis apical* es una patología que afecta a esta especie vegetal cuando las temperaturas descienden de un mínimo soportado por esta. De este modo, se puede añadir también la influencia de las precipitaciones y la humedad ambiental, ya que aunque no han sido consideradas en este modelo matemático o en el análisis espacial, sí que se indica su relevancia como motivo importante para complementar estudios posteriores. No obstante, también se deben tener en cuenta o mencionar otras causas de propagación de la bacteria, además de las aéreas, estudiadas por el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) como la malformación del mango (como una de las enfermedades más graves que afecta, principalmente, a las plantas del vivero adultas) o a través de las púas de injerto.

Pese a que las medias de la Comarca del valle del Guadalhorce no muestren posibles riesgos térmicos, gracias al uso y tratamiento de los datos agroclimáticos pueden revelarse resultados que los promedios suelen ocultar: valores absolutos peligrosos para la vegetación. En este caso, el descenso por debajo de los 0°C es probable (con una frecuencia en torno a una vez cada dos años al menos) y suele producirse cuando confluyen viento (sobre todo de componente W y NW) y descensos térmicos (desde diciembre a febrero). Por otra parte, las quemaduras en la cobertura foliar en la época estival también pueden debilitar los árboles tras superar los 42°C, aunque este evento es menos frecuente.

Estos resultados obtenidos gracias a la aplicación del índice de *Wind chill* y a la modelización territorial con SIG, pueden ser aplicados en otras áreas de estudio y para otros cultivos que posean rasgos térmicos metabólicos definidos y conocidos como el mango. Otra ventaja sería la posibilidad de conocer posibles soluciones desde el punto de vista ingenieril o agrícola, si se desea introducir este cultivo pese a la anterior demostración. En primer lugar, una posibilidad podría ser el uso de mantas térmicas que cubran los árboles en las épocas de máximo riesgo térmico en el descenso o aumento de las temperaturas; por otra parte, la introducción o reutilización de cultivos bajo plástico en invernaderos, pues los más antiguos y en desuso de las cosechas de hortalizas son muy numerosos desde la costa oriental hasta el valle del Guadalhorce en los últimos años; o, también, la introducción de cortavientos (naturales o artificiales) posicionados en lugares concretos de la finca según el mapa de flujos (Figura 4), que evitara que la dinámica del viento repartiera por toda la finca los efectos perjudiciales calculados por el índice de *Wind chill*, teniendo en cuenta no generar sombras que resten horas de sol a los árboles cultivados.

Otras medidas también llevadas por el CSIC<sup>3</sup> en relación a cultivos tropicales en la provincia de Málaga son también los sistemas de tratamiento químico de las plantas como son el caldo bordelés que contiene cobre y se utilizaba para tratar las viñas en Burdeos o el gel de sílice. Estos dos tratamientos se están aplicando actualmente en los cultivos de mango logrando excelentes resultados frente al hongo *Pseudomonas syringae*.

Por último, resaltar que la metodología planteada ha cumplido también los propósitos que un estudio de carácter agroclimático debe tener, según lo formulado por Hernández Navarro (1993), ya que se han abarcado las siguientes vertientes:

- Vertiente investigadora: profundizar en el conocimiento de las relaciones que existen entre clima y actividad agrícola, tanto sobre cultivos como métodos y técnicas utilizadas.
- Vertiente aplicada: proporcionar bases científicas necesarias para optimizar la toma de decisiones en la planificación agrícola para agricultores (corto-medio plazo) y organismos (medio-largo plazo).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de IFAPA (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía) por facilitar los datos de la estación agroclimática instalada en la pedanía de Churriana (Málaga), además de los diferentes datos de la finca y sus parcelas experimentales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO SARRÍA, F.; GOMARIZ CASTILLO y CÁNOVAS GARCÍA, F. (2010): "Análisis temporal de los cambios de usos del suelo en la cuenca del Segura mediante teledetección. Implicaciones sobre la degradación". En *Rev. C. & G.*, 24 (3-4): 73-88.
- ARNOLD, J.H.; POTTER K.N.; KING, K.W.; ALLEN, P.M.; (2005): "Estimation of soil cracking and the effect on surface runoff in a Texas Blackland Prairie watershed". En *Hydrological Processes*, 19: 589-603.

3 Fuente: [www.ihsm.uma-csic.es](http://www.ihsm.uma-csic.es)

- BAILEY RG. (1998). *Ecoregions: The Ecosystem Geography of the Oceans and Continents*. Springer, New York; 176 pp.
- BIELZA DE ORY, V. (1999): “Desarrollo sostenible, turismo rural y parques culturales”. En *Cuadernos Inv. Geográfica*, Logroño, 25: 125-137.
- CEOTMA (1984): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, serie: Manuales, 572 pp.
- CERDÁ, A.; BODÍ, M.B. y HEVILLA-CUCARELLA, E.B. (2007): “Erosión del suelo en plantaciones de cítricos en laderas. Valle del Riu Canyoles, Valencia”. En *Agroecología*, 2: 85-91.
- DELGADO PEÑA, J.J. (1999): “Aproximación climática y bioclimática de la cuenca alta del Río Grande (Arroyo Zarzalones, Yunquera)”. *Baetica* (Estudios de Arte, Geografía e Historia), 21: 77-99.
- DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R., y ARNOLD, J.G. (2003): “A GIS-Coupled Hydrological Model System for the Watershed Assessment of agricultural non-point and point sources of pollution”. En *Transactions in GIS*, 8 (1): 113-136.
- DURÁN ZUAZO, V.H.; FRANCIA MARTÍNEZ, J.R.; GARCÍA TEJERO, I.; ARROYO PANADERO, L. y MARTÍNEZ RAYA, A. (2012): “Mitigación de la erosión de suelos en plantaciones de almendro por cubiertas vegetales: implicaciones para la agricultura sostenible de montaña (SE España)”. En *Comunicata Scientiae*, 3(2): 123-129.
- GABARRÓN GALEOTE, M.A. (2012): La vegetación como reguladora del recurso hídrico en ambiente mediterráneo. Tesis Doctoral. Directores: Ruiz Sinoga, J.D. y Quesada Felice, M.A. Universidad de Málaga, 332 pp.
- GALÁN SAÚCO, V. (2009a): *Physiological Disorders*. En LITZ, R. (Ed.): *The Mango, Botany, Production and Uses* (2nd edition). CABI International, 680 pp.
- GALÁN SAÚCO, V. (2009b): *El cultivo del mango* (2nd ed.). Edit. Mundi Prensa. Madrid, 340 pp.
- GARCÍA-RUIZ, J.M. y LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. (2009): *La erosión del suelo en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid. 441 pp.
- GERBIER, N. (1980): “La finalidad de la meteorología agrícola”. En *Boletín O.M.M.*, 29 (3): 209-215.
- GONZÁLEZ FERREIRO, D. y BOSQUE SENDRA, J. (2008): “Generación de un mapa de vientos en un SIG”. En *Boletín de la A.G.E.*, 47: 51-77.
- HAMLETT, J.M.; MILLER, D.A.; DAY, R.L.; PETERSON, G.W.; BAUMER, G.M. y RUSSO, J. (1992): “Statewide GIS-based ranking of watersheds for agricultural pollution prevention”. En *Journal of Soil and Water Conservation*, 47 (5): 399-404.
- HERNÁNDEZ-LAGUNA, E.; LÓPEZ BERMÚDEZ, F.; ALONSO SARRÍA, F.; CONESA GARCÍA, C. y ÁLVAREZ ROGEL, Y. (2004): “La huella ecológica del cultivo del olivo en España y su aplicabilidad como indicador de agricultura sostenible”. *Papeles de Geografía*, 39: 141-155
- HERNÁNDEZ NAVARRO, M<sup>a</sup>.L. (1993): “La agroclimatología, instrumento de planificación agrícola”. En *Geographicalia*, 30: 213-228.
- HERNÁNDEZ SANTANA, J.R.; LÓPEZ MIGUEL, C.; MÉNDEZ LINARES A.P. y BOLLO MANENT, M. (2010): “Intensidad geomórfica del relieve noroeste del estado de Chiapas, México: un enfoque para la planeación territorial”. En *Rev. C. & G.*, 24 (1-2): 79-98.
- KOSMAS, C.; DANALATOS, N.; CAMMERAAT, L.H.; CHABART, M. y DIAMANTOPOULOS, J. (1997): “The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions”. En *Rev. Catena*, 29: 45-59.
- KOSMAS, C.; DANALATOS, N.G.; LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. y ROMERO-DÍAZ, M.A. (2002): “The effect of Land Use and Soil Erosion and Land Degradation under Mediterranean Conditions”. En GEESON, N.A.; BRANDT, D.J. y THORNES, J.B.: *Mediterranean Desertification. A mosaic of processes and responses*. J. Wiley y Sons, Chichester, 57-70.
- LABRADOR, J., SICILIA, A. y TORREJÓN, A. (2009): “Agroecología, sostenibilidad y mediterraneidad”. *Agroecología*, 4: 97-110.
- LADO M., BEN-HUR M. y SHAINBERG I. (2004): “Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion”. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1.992–1.999.
- LANT, C.L.; KRAFT, E.S.; BEAULIEU, J.; BENNET, D.; LOFTUS, T. y NICKLOW, J. (2005): “Using GIS-based ecological-economic modeling to evaluate policies affecting agriculture watersheds”. En *Ecological Economics*, 55 (4): 467-484.

- LARRUBIA, R. y GALACHO, F.B. (2003): "El sector agroalimentario malagueño ante el proceso de globalización: Oportunidades, deficiencias y retos". *Baetica* (Estudios de Arte, Geografía e Historia), Univ. de Málaga, 25:159-189.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F.; ROMERO-DÍAZ, A. y MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J. (1998): "Vegetation and soil erosion under a semiarid Mediterranean climate: a case study from Murcia (Spain)". En *Rev. Geomorphology*, 24: 51-58.
- LORCA, A. y ESCRIBANO, G. (1997): "Goeconomía y geopolítica mediterráneas". Información Comercial Española (ICE), en *Revista de economía*, 759: 9-17.
- MARCOS VALIENTE, O. (2001): "Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación". *Investigaciones Geográficas*, Univ. de Alicante, 26: 59-80.
- PANDEY, A.; CHOWDARY, V.M., y MAL, B.C. (2007): "Identification of critical erosion prone areas in the small agriculture watershed using USLE, GIS and remote sensing". En *Water Resource Management*, 21: 729-746.
- PÉREZ DE LOS COBOS, P.; CARAZO, J.I. y PADILLA, F. (2003): "Agroclimatic Information System for Irrigation Areas". En 3rd International Conference on experiences with automatic weather stations. Torremolinos (Málaga).
- PUIGDEFÁBREGAS, J. (1998): "Variabilidad climática y sus consecuencias sobre los sistemas agrarios". En JIMÉNEZ DÍAZ, R. y LAMO DE ESPINOSA, J. (eds). *Agricultura Sostenible*; p. 41-71.
- RODRIGO COMINO, J. (2012): Los suelos de la provincia de Málaga. Revisión en función de la clasificación de FAO-WRB (2006). En Memoria final de licenciatura (tesina). Director: Senciales González, J.M., Universidad de Málaga, 177 pp.
- RUIZ-SINOGA J.D., GARCÍA MARÍN R., MARTÍNEZ MURILLO J.F. y GABARRÓN GALEOTE M.A. (2010): "Precipitation dynamics in southern Spain: trends and cycles". En *International Journal of Climatology*, 31: 2281–2289. DOI: 10.1002, joc.2235.
- RUIZ SINOGA, J.D.; GARCIA-MARIN, R.; GABARRÓN-GALEOTE, M.A. y J.F. MARTINEZ-MURILLO (2011): "Analysis of dry periods along a pluviometric gradient in Mediterranean southern Spain". En Royal Meteorological Society. *Revista International Journal of Climatology*, 32 (10), 1.558-1.571 pp.
- SOIL SURVEY STAFF (2010): *Keys to Soil Taxonomy*. 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- [www.nws.noaa.gov/om/Wind\\_chill/index.shtml](http://www.nws.noaa.gov/om/Wind_chill/index.shtml)
  - [www.ihs.m.uam-csic.es](http://www.ihs.m.uam-csic.es)
  - [www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sigpac](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sigpac)
  - [www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web)
  - <http://centrodedescargas.cnig.es>:
    1. Mosaicos de ortofotos del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea): Hojas 1.053 y 1.067.
    2. MDT05/MDT05-LIDAR: Hojas 1.053 y 1.067.