

## CLASIFICACION AGROCLIMATOLOGICA DE PAPADAKIS

La clasificación de Papadakis (1966, 1980) pretende responder a la ecología de los cultivos, redefiniendo los climas en función de variables relevantes en cuanto a la viabilidad de cultivos comerciales. Papadakis da un giro muy importante respecto a clasificaciones anteriores al introducir las temperaturas extremas (las medias son elaboraciones con poca relevancia en los cultivos) y el balance de agua en el suelo (frente a la mera consideración de las precipitaciones recibidas).

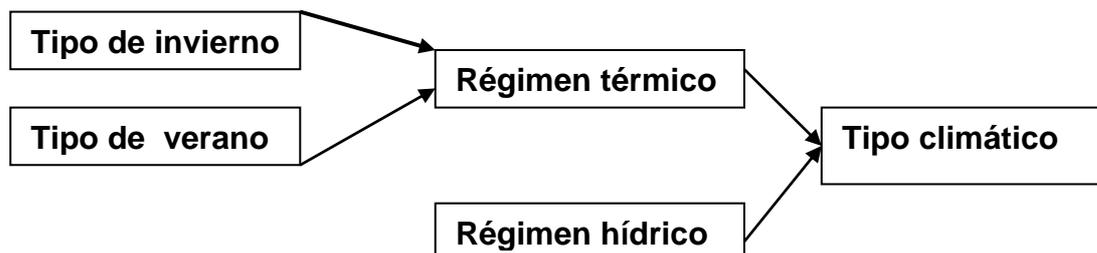
Como integradores de la ecología de los cultivos selecciona:

- la severidad invernal (estación fría).
- el calor veraniego (estación cálida).
- la sequía (disponibilidad o no de agua) y su distribución estacional.

Papadakis acompaña en su obra de 1966 una descripción (desarrollada en Papadakis, 1970) de las necesidades climáticas de los cultivos en términos de sus categorías climáticas, lo que es muy útil para estudiar la viabilidad climática de cada cultivo.

### CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE PAPADAKIS, 1966

El sistema define un tipo de invierno y un tipo de verano que juntos nos define el régimen térmico. Por otra parte, en función de las precipitaciones y el balance de agua del suelo, obtenemos el régimen hídrico. Con el régimen térmico y el régimen hídrico obtenemos, finalmente, las unidades climáticas.



### TIPO DE INVIERNO

El tipo de invierno define la severidad de la estación fría en función de la temperatura media de mínimas absolutas del mes más frío ( $t'a1$ ), la temperatura media de mínimas del mes más frío ( $t1$ ) y la temperatura media de máximas del mes más frío ( $T1$ ). Los valores condiciones y rangos que definen los diferentes tipos de invierno se definen en la tabla adjunta.

Los tipos de invierno están ordenados de más cálidos a más fríos. Si una zona es muy fresca para un tipo (no cumple alguna condición), y muy cálida para el siguiente (supera alguna condición), pertenece a este segundo tipo (lo mismo para el tipo de verano).

Datos:

- temperatura media de mínimas absolutas del mes más frío ( $t'a1$ )
- temperatura media de mínimas del mes más frío ( $t1$ )
- temperatura media de máximas del mes más frío ( $T1$ )

TIPO DE INVIERNO		t'a1 (°C)	t1 (°C)	T1 (°C)
Ecuatorial	Ec	> 7	> 18	
Tropical				
cálido	Tp	> 7	13 a 18	> 21
medio	tP	> 7	8 a 13	> 21
fresco	tp	> 7		< 21
Citrus				
tropical	Ct	-2,5 a 7	>8	> 21
	Ci	-2,5 a 7		10 a 21
Avena				
cálida	Av	-10 a -2,5	>4	> 10
fresca	av	> -10		5 a 10
Triticum				
avena-trigo	Tv	-29 a -10		> 5
cálido	Ti	> -29		0 a 5
fresco	ti	> -29		< 0
Primavera				
cálida	Pr	< -29		> -17,8
fresca	pr	< -29		< -17,8

La interpretación del tipo de invierno en términos de ecología de cultivos se exponen a continuación:

Ecuatorial, libre de heladas y suficientemente cálido para permitir el cultivo de la palma de aceite, el cocotero y el árbol del caucho.

Tropical, libre de heladas pero muy frío para los cultivos ecuatoriales típicos. Las subdivisiones en esta zona corresponden a que sea un invierno capaz de cubrir las necesidades de vernalización del trigo (tp), lo sea de forma marginal (tP) o no lo sea (Tp).

Citrus (cítricos), suficientemente suave para cítricos pero no libre de heladas. Las subdivisiones también hacen referencia a la marginalidad del trigo por dificultades de vernalización (Ct) o no (Ci).

Avena, suave como para cultivar avena de invierno pero no cítricos.

Triticum (trigo), se puede cultivar el trigo de invierno pero no la avena de invierno.

Primavera, dificultades con el trigo de invierno, los cultivos serán, en general, de primavera.

Ejercicio 14.4. Determine el tipo de invierno en el observatorio de Sevilla. Datos:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	15	17,5	19,9	22,9	26	31,2	35,3	35,1	31,4	25,6	20,1	16,1
t	5,0	5,7	8,2	9,9	12,1	15,6	17,3	17,7	16	12,8	9,1	5,9
tá	0,5	1,6	3,3	5,3	8,1	11	14,7	14	12,4	8,2	3,9	0,8

Luego:  $t_1 = 5$ ,  $T_1 = 15$  y  $t'_{a1} = 0,5$ ; no cumple las condiciones de  $E_c$ , ni de  $t_p$ , si para Citrus (Ci), porque:

$$-2.5 < 0,5 < 7$$

$$[5 < 8; \text{No es Ct}]$$

$$10 < 15 < 21$$

Por tanto el invierno es suficientemente suave como para cultivar cítricos pero no está libre de heladas.

### TIPO DE VERANO

El tipo de verano define el calor estival. Para definirlo se deben considerar los siguientes datos:

- la estación libre de heladas en meses, bien la mínima (EmLH), la disponible (EDLH) o la media (EMLH). (régimen de heladas según Papadakis).
- la media de las temperaturas medias de máximas de los 2, 4 ó 6 meses más cálidos ( $1/n \cdot \sum_{i=13-n}^{12} T_i$ ,  $n=2,4$  ó  $6$ )
- la media de máximas del mes más cálido ( $T_{12}$ )
- la media de mínimas del mes más cálido ( $t_{12}$ )
- la media de la media de mínimas de los dos meses más cálidos ( $1/2 \cdot \sum_{i=11}^{12} t_i$ ).

TIPO DE VERANO	ExLH [x] (mes)	$1/n \cdot \sum_{i=13-n}^{12} T_i$ (°C) [n]	$T_{12}$ (°C)	$t_{12}$ (°C)	$1/2 \cdot \sum_{i=11}^{12} t_i$ (°C)
Gossypium cálido G	> 4.5 [m]	> 25 [6]	>33.5		
fresco g	> 4.5 [m]	> 25 [6]	<33.5	>20	
Coffee c	= 12 [m]	> 21 [6]	<33.5	<20	
Oriza O	> 4 [m]	21 a 25 [6]			
Maize M	> 4.5 [D]	> 21 [6]			
Triticum cálido T	> 4.5 [D]	< 21 [6] y > 17 [4]			
fresco t	2.5 a 4.5 [D]	> 17 [4]			
Polar cálido P (taiga)	< 2.5 [D]	> 10 [4]			>5
fresco p (tundra)	< 2.5 [D]	> 6 [2]			
Frigid cálido F		< 6 [2]	> 0		
fresco f			< 0		
Andino-Alpino cálido A	< 2.5 [D] > 1 [M]	> 10 [4]			
fresco a	< 1 [M]	< 10 [4]			

En el cuadro se definen los tipos de verano. El valor que aparece entre corchetes es el requisito necesario a cumplir de  $[x]$  ó  $[n]$ . El valor de  $x$  en ExLH hace referencia a los distintos períodos de los regímenes de heladas según Papadakis (m, D, ó M; mínima, disponible o media, respectivamente). El valor de  $[n]$  afecta a la segunda columna, así habrá que calcular la media de las temperaturas medias de máximas de los 2, 4 ó 6 meses más cálidos ( $n = 2, 4$  ó  $6$ , respectivamente).

Los tipos de verano se ordenan de más cálidos a más fríos. La interpretación del tipo de verano, en términos de ecología de cultivos, se realiza de la siguiente forma:

Gossypium (algodón), verano suficientemente largo y cálido como para cultivar algodón.

Coffee (café), además de ser virtualmente libre de heladas, las noches son suficientemente cálidas para permitir el cultivo del café.

Oryza (arroz), verano suficientemente largo y cálido como para cultivar arroz, pero marginal para algodón.

Maize (maíz), verano suficientemente largo y cálido como para cultivar maíz, pero marginal para arroz.

Triticum (trigo), verano suficientemente largo y cálido como para cultivar trigo, pero marginal para maíz.

Polar cálido, suficientemente largo y cálido como para que se formen bosques, pero no para cultivar trigo.

Polar frío, insuficientemente largo y cálido para que se formen bosques o praderas, pero sí para que se produzcan formaciones de tundra.

Desierto subglacial (F), no hay formaciones de tundra, pero tampoco se halla permanentemente cubierto de hielo.

Hielo perpetuo (f), permanentemente cubierto de hielo.

Alpino-Andino, excesivas heladas para los bosques, pero suficientemente largo y cálido para las praderas. En el alpino bajo (A) se pueden cultivar cebada y patatas, mientras que en el alto no se puede.

Ejercicio 14.5. Determine el tipo de verano en el observatorio de Sevilla. Las temperaturas medias de mínimas absolutas de los distintos meses, son:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	15	17,5	19,9	22,9	26	31,2	35,3	35,1	31,4	25,6	20,1	16,1
tá	0,5	1,6	3,3	5,3	8,1	11	14,7	14	12,4	8,2	3,9	0,8

La EmLH la marcan los días con  $t'a > 7$ , viendo los datos se aprecia fácilmente que hay más de seis meses con  $t'a$  mayores de 7 luego EmLH es mayor que 4. Las medias de máximas de los 6 meses más cálidos, de mayo a octubre, son 26,0; 31,2; 35,3; 35,1; 31,4; 25,6. La media de estos 6 valores es 30,7. El mes más cálido es julio con 35,3 °C. En consecuencia, cumple las condiciones de Gossypium cálido (G), porque:  $4,5 < 7,02$ ;  $25 < 30,7$  y  $33,5 < 35,3$

Luego en Sevilla podemos cultivar el algodón en verano (sin planteamos las necesidades hídricas).

REGIMEN TERMICO

El régimen térmico integra la información del tipo de verano y el tipo de invierno como una forma de aproximarse a la nomenclatura climática clásica; pero aquí se corresponden a una determinada potencialidad climática de la estación fría y la cálida. La definición de regímenes térmicos en función del tipo de invierno y de verano, y otras consideraciones secundarias, se expone a continuación:

REGIMEN TERMICO		TIPO DE INVIERNO	TIPO DE VERANO
Ecuatorial			
Ecuat. cálido	EQ	Ec	G
Ec. semi-cálido	Eq	Ec	g
Tropical			
cálido	TR	Tp	G
semi-cálido	Tr	Tp	g
cálido con invierno frío	tR	tP	G, g
frío	tr	tp	O, g
Tierra templada		Tp, tP, tp	c
Tierra templada fresca		tp	T
Tierra fría [2]			
baja	TF [7]	Ct o más frío	g
media	Tf	Ci o más frío	O, M
alta	tf	Ci o más frío	T, t
Andino [2]			
bajo	An	Ti o más cálido	A
alto	an	Ti o más cálido	a
taiga	aP	Ti o más cálido	P
tundra	ap	Ti o más cálido	p
desierto subglacial	aF	Ti o más cálido	F
Subtropical			
semi-tropical	Ts	Ct	G, g
cálido	SU	Ci, Av	G
semi-cálido	Su [7]	Ci	g
Marino [1]			
Super-cálido	Mm	Ci	T
	MA	Ci	O, M
fresco	Ma	av Av	T
frío	ma [3]	av, Ti, Tv	P
tundra	mp	Ti, av	p
desértico subglacial	mF	Ti	F
Templado [1]			
cálido	TE	av, Av	M, O
fresco	Te	ti, Ti, Tv	T
frío	te	ti, Ti	t
Pampeano-Patagoniano [1]			
Pampeano	PA [4]	Av	M, O
Patagoniano	Pa	Tv, av, Av	t
Patagoniano frío	pa [6]	Ti, Tv, av	P
Continental			
cálido	CO [5]	Av o más frío	g, G
semi-cálido	Co	Ti o más frío	M, O
frío	co	pr, Pr	t
Polar			

Taiga	Po	ti o más frío	P
Tundra	po	ti o más frío	p, a
Desierto subglacial	Fr	ti o más frío	F
Hielo permanente	fr	ti o más frío	f
<b>Alpino [1]</b>			
bajo	Al	Pr, ti, Ti, pr, Tv	A
alto	al	Pr, ti, Ti, Tv	a

- [1]  $ETP_{m\acute{a}x} > ETP_{VI}$  ; régimen de humedad no monzón [5] Excepto la combinación Av-G  
 [2]  $ETP_{m\acute{a}x}$  es anterior, o es  $ETP_{VI}$  ;  $t_{12} < 20$  [6]  $EDLH < 2,5$   
 [3]  $EDLH > 2,5$  [7] Excepto Ci-g, que será Su (no TF).  
 [4]  $1/6 \sum_{12} T_i > 25$

Un ejemplo de cálculo del régimen térmico podría ser el de Sevilla, con un invierno Ci y un verano G, por lo que el régimen térmico es Subtropical cálido (SU).

## REGIMEN HIDRICO

El régimen hídrico define la disponibilidad natural de agua para las plantas. Se basa en varios índices definidos a partir del balance hídrico del suelo (Thornthwaite, 1948) con capacidad de almacenar 100 mm de agua; y en el que se recogen las precipitaciones medias y se pierde la ETP (calculada según Papadakis:  $ETP_{PAP} = 5,625 \cdot [e^{\circ}(T) - e^{\circ}(t-2)]$ ). Los parámetros empleados para definir el régimen hídrico son los siguientes:

El índice de humedad anual es el cociente:  $I_h = P_{anual}/ETP_{anual}$ .

Para los índices de humedad mensual se emplean los valores mensuales. Cuando la precipitación es superior a la ETP, se calcula igual que para el anual:

$$I_{hm} = P_m/ETP_m \text{ si } P_m > ETP_m$$

Cuando la precipitación mensual es inferior a la evapotranspiración potencial, la precipitación del numerador se reemplaza por la suma de la misma y del agua almacenada en el suelo procedente de las lluvias previas y que ha sido extraída por las plantas:

$$I_{hm} = (P_m + |VR_m|)/ETP_m \text{ si } P_m < ETP_m.$$

Cuando la precipitación excede a la ETP es mes húmedo. Si la precipitación más el agua almacenada en el suelo extraída supera el 50% de la ETP el mes se considera intermedio. Y, si la precipitación más el agua almacenada del suelo extraída es inferior al 50 % de la Etp se considera el mes seco:

Mes húmedo:  $P_m > ETP_m$ .

Mes intermedio:  $P_m + |VR_m| > 0,5 \cdot ETP_m$ .

Mes seco:  $P_m + |VR_m| < 0,5 \cdot ETP_m$ .

Las diferencias entre la precipitación mensual y la evapotranspiración en los meses húmedos nos definen el índice de lavado del suelo. Así:

$$\text{Lluvia de lavado: } L_n = \sum_{m=1}^{12} (P_m - ETP_m), \text{ cuando } P_m > ETP_m \text{ (estación húmeda).}$$

La definición de los regímenes hídricos se indican a continuación:

<p><b>Húmedo:</b> Ningún mes seco. <math>l_h &gt; 1</math>. <math>L_n &gt; 0,20 \cdot ETP</math>.  <b>Húmedo permanente (HU),</b> todos los meses son húmedos.  <b>Húmedo (Hu),</b> algún mes no es húmedo.</p>
<p><b>Mediterráneo:</b> Ni húmedo ni desértico. Precipitación invernal mayor que la precipitación estival. Si el verano es G, julio debe ser seco. Latitud <math>&gt; 20^\circ</math>, sino es monzónico.  <b>Mediterráneo húmedo (ME),</b> <math>L_n &gt; 0,20 \cdot ETP</math> y/o <math>l_h &gt; 0,88</math>.  <b>Mediterráneo seco (Me),</b> <math>L_n &lt; 0,20 \cdot ETP</math>; <math>0,22 &lt; l_h &lt; 0,88</math>; en uno o más meses con <math>T &gt; 15^\circ C</math> se cumple que el agua disponible cubre la ETP: <math>P_m +  VR_m  &gt; ETP_m</math>.  <b>Mediterráneo semiárido (me),</b> demasiado seco para ser Me.</p>
<p><b>Monzónico:</b> Ni húmedo ni desértico. <math>l_{h_{VII-VIII}} &gt; l_{h_{IV-V}}</math>. Julio o Agosto deben ser húmedos, si dos meses invernales son húmedos. Julio o Agosto deben ser no-secos, si dos meses invernales son no-secos. En caso contrario el régimen es estepario o isohigro semiárido.  <b>Monzónico húmedo (MO),</b> <math>L_n &gt; 0,20 \cdot ETP</math> y/o <math>l_h &gt; 0,88</math>.  <b>Monzónico seco (Mo),</b> <math>L_n &lt; 0,20 \cdot ETP</math>; <math>0,44 &lt; l_h &lt; 0,88</math>.  <b>Monzónico semiárido (mo),</b> <math>l_h &lt; 0,44</math>.</p>
<p><b>Estepario (St):</b> Ni húmedo ni mediterráneo ni monzónico. Primavera no seca (<math>\sum_{m=III}^V PPT_m &gt; 0,5 \cdot \sum_{m=III}^V ETP_m</math>). Latitud <math>&gt; 20^\circ</math>, sino es monzónico.</p>
<p><b>Desértico:</b> Todos los meses con <math>T &gt; 15^\circ C</math> son secos; <math>l_h &lt; 0,22</math>.  <b>Desértico absoluto (da),</b> <math>l_{h_m} &lt; 0,25</math>, para todo mes con <math>T_m &gt; 15^\circ C</math>; <math>l_h &lt; 0,09</math>.  <b>Desértico mediterráneo (de),</b> no suficientemente árido para da; lluvia invernal mayor que la estival.  <b>Desértico monzónico (do),</b> no suficientemente árido para da; julio-agosto menos secos que abril-mayo.  <b>Desértico isohigro (di),</b> ni da, ni de, ni do.</p>
<p><b>Isohigro semiárido (si):</b> Muy seco para estepario. Muy húmedo para desértico. Ni mediterráneo, ni monzónico.</p>

El invierno viene definido por los meses de diciembre, enero y febrero; y el verano por los de junio, julio y agosto. Todos los meses nombrados, incluidos los anteriores, se refieren al Hemisferio Norte, para el Hemisferio Sur se sustituye julio por enero, agosto por febrero, etc.

La interpretación ecológica de las categorías del régimen hídrico son más complicadas. Destaca la consideración de meses intermedios (ni secos, ni húmedos) en función del crecimiento de plantas con agua disponible por encima de la mitad de la ETP. Así mismo, podemos destacar el esfuerzo de cuantificación de conceptos, comúnmente usados en Climatología, referentes a la potencialidad de formaciones vegetales en función de la humedad disponible para el crecimiento de las plantas.

Ejercicio 14.6. Determine el régimen hídrico para el observatorio de Sevilla. Los valores de precipitaciones y ETP mensuales (en mm) son los siguientes:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	56	74	83	58	33	23	3	3	28	66	94	71
ETP	52	58	72	93	119	166	214	220	162	106	70	51
P-ETP	4	16	11	-35	-86	-143	-211	-217	-134	-40	24	20
R	48	64	75	40	0	0	0	0	0	0	24	44
VR	4	16	11	-35	-40	0	0	0	0	0	24	20
MES	H	H	H	I	I	S	S	S	S	I	H	H

H: húmedo, I: intermedio, S: seco

$$P_{\text{anual}} = 592$$

$$ETP_{\text{anual}} = 1383$$

$$I_h = 0,43$$

$$L_n = 75$$

No es "húmedo" porque hay meses secos. No es "desértico" porque  $I_h > 0,22$ . El régimen hídrico es Mediterráneo, porque:

1) la precipitación invernal es superior a la estival:

$$71 + 56 + 74 > 23 + 3 + 3.$$

2) el verano es G, y Julio es seco:

$$3 + VR < 0,5 \cdot 214, \text{ aunque VR fuese } 100.$$

3) la latitud es mayor que  $20^\circ$ .

4) Además es Mediterráneo seco (Me), pues:

$$L_n = 75 < 0,20 \cdot 1383 (=ETP)$$

$$0,22 < 0,43 (=I_h) < 0,88$$

En uno ó mas meses con  $T > 15$ , p.ej.:  $T_{II} = 16,6 > 15$ ; se cumple que  $P_{II} + VR_{II} > ETP_{II}$ ; pues, aún siendo  $VR=0$ :  $74(=P_{II}) > 58(=ETP_{II})$

## UNIDADES CLIMATICAS

Finalmente, el sistema define las unidades climáticas y sus subdivisiones con los criterios del régimen térmico y el régimen hídrico según la siguiente tabla:

UNIDAD Subunidad	REGIMEN TERMICO	REGIMEN HIDRICO
<b>TROPICAL</b>	EQ, Eq, TR, Tr, tR, tr, Tt, tt	HU, Hu, MO, Mo, mo
Ecuatorial húmedo semi-cálido	Eq	Hu, MO (lh>1)
Tropical húmedo semi-cálido	Tr	Hu, MO (lh>1)
Ecuatorial-tropical seco semi-cálido	Eq, Tr	MO, Mo (lh<1)
Ecuatorial-tropical cálido	EQ, TR	MO, Mo
Ecuatorial-tropical semi-árido	EQ, Eq, TR, Tr	mo
Tropical fresco	tr	HU, Hu, MO, Mo
Tierra templada húmeda	Tt, tt	HU, Hu, MO
Tierra templada seca	Tt, tt	Mo, mo
Tropical cálido de invierno fresco	tR	HU, Hu, MO, Mo, mo
<b>TIERRA FRIA</b>	TF, Tf, tf, An, an, aP, ap, aF	HU, Hu, MO, Mo, mo
Tierra fría semi-tropical	TF (invierno Ct)	HU, Hu, MO, Mo, mo
Tierra fría baja	TF (invierno Ci, Av)	HU, Hu, MO, Mo, mo
Tierra fría media	Tf	HU, Hu, MO, Mo, mo
Tierra fría alta	tf	HU, Hu, MO, Mo, mo
Andino bajo	An	HU, Hu, MO, Mo, mo
Andino alto	an	HU, Hu, MO, Mo, mo
Andino de taiga	aP	HU, Hu
Andino de tundra	ap	HU, Hu, MO, Mo, mo
Andino de desierto sub-glacial	aF	HU, Hu, MO, Mo, mo
<b>DESERTICO</b>	cualquiera	da, de, di, do
Desierto tropical cálido	EQ, TR, tR	da, de, di, do
Desierto subtropical cálido	Ts, SU	da, de, di, do
Desierto tropical fresco	Eq, Tr, tr	da, de, di, do
Desierto subtropical fresco	Su, MA, Mm	da, de, di, do
Desierto de tierras altas de bajas latitudes	Tf, tt, TF, Tf, tf, An, an	da, do
Desierto continental	CO, Co, co, te	da, de, di, do
Desierto pampeano	PA, TE	da, de, di, do
Desierto patagoniano	Pa, pa	da, de, di, do
<b>SUBTROPICAL</b>	Ts, SU, Su	HU, Hu, MO, Mo, mo
Subtropical húmedo	SU, Su	HU, Hu
Subtropical monzónico	SU, Su	MO, Mo, mo (con primavera seca)
Semi-tropical cálido	Ts (verano G)	
Semi-tropical semi-cálido	Ts (verano g)	HU, Hu, MO, Mo, mo

Subtropical semi-mediterráneo	SU, Su	MO, Mo (no seca la primavera)
<b>PAMPEANO</b>	PA, Pa, pa, TE, MA, Ma, ma, SU, Su	St, si, MO, mo; y me con Pa, pa, Te, Ma
Pampeano típico	PA	St
Pampeano de tierras altas	Pa	St
Pampeano subtropical	SU, su	St
Pampeano marítimo	TE, MA, Mm, Ma	St
Peri-pampeano monzónico	PA	Mo, mo
Peri-pampeano semiárido	PA, TE, SU, Su	si
Pradera patagoniana	Pa, pa, ma	St
Patagoniano semi-árido	Pa, pa, Ma, TE	mo, si, me
<b>MEDITERRANEO</b>	cualquiera (Pa-pa-TE-Ma con me es PAMPEANO)	ME, Me, me
Mediterráneo subtropical	SU, Su	ME, Me
Mediterráneo marítimo	MA, Mm	ME, Me
Mediterráneo marítimo fresco	Ma	ME
Mediterráneo tropical	tr	ME, Me
Mediterráneo templado	TE	ME, Me
Mediterráneo templado fresco	Te, te, Po, Pa, pa	ME, Me
Mediterráneo continental	CO, Co, co	ME, Me
Mediterráneo semiárido subtropical	SU, Su, Tr, tr, MA	me
Mediterráneo semiárido continental	CO, Co, co, TE, Te, te	me
<b>MARITIMO</b>	Mm, MA, Ma, ma, TE, Te, te, Pa, pa	HU, Hu
Marítimo cálido	MA, Mm	HU, Hu
Marítimo fresco	Ma	HU, Hu
Marítimo frío	ma	HU, Hu
Marítimo polar	mp, mF	HU, Hu
Templado cálido	TE	HU, Hu
Templado fresco	Te	HU, Hu
Templado frío	te	HU, Hu
Patagoniano húmedo	Pa, pa	Hu, Hu
<b>CONTINENTAL HUMEDO</b>	CO, Co, co	HU, Hu, MO
Continental cálido	CO	HU, Hu, Mo
Continental semi-cálido	Co	HU, Hu, MO
Continental frío	co	HU, Hu, MO
<b>ESTEPARIO</b>	CO, Co, co, Te, te, Po. Po con invierno Pr y St (ó Po y si) es ESTEPARIO el resto es POLAR	St, si, Mo, mo
Estepario cálido	CO	St

Estepario semi-cálido	Co	St
Estepario frío	co	St
Estepario templado	te, Te	St
Estepario polar	Po (invierno Pr)	St
Continental semi-árido	CO, Co, co, te, Po	si
Continental monzónico seco	CO, Co, co	Mo, mo
<b>POLAR</b>	Po, po, Fr, fr, Al, al. (Po con HU, Hu, MO, Mo, St)	cualquiera
Taiga	Po	HU, Hu, MO, Mo, St (con invierno pr)
Tundra	po	cualquiera
Desierto sub-glacial	Fr	cualquiera
Hielo permanente	fr	cualquiera
Alpino	Al, al	cualquiera

Un ejemplo de cálculo de la unidad y subunidad climática podría ser el de Sevilla, con régimen térmico SU y régimen hídrico Me, que se definiría como clima Mediterráneo subtropical.

#### REQUERIMIENTOS CLIMATICOS DE LOS CULTIVOS

Papadakis desarrolla en diversas obras las necesidades climáticas de los cultivos, utilizando para ello los criterios desarrollados en su sistema de clasificación. Algunas publicaciones españolas resumen esta información en una serie de tablas de una forma sencilla y accesible (De León y Forteza, 1979). La evaluación de la viabilidad potencialidad climática de un cultivo se realiza comparando los requisitos del cultivo con la caracterización climática de la zona siguiendo la clasificación de Papadakis.

A continuación se indican los requisitos de algunos cultivos sacados de las publicaciones del Ministerio de Agricultura "Caracterización Agroclimática".

Tabla. Requisitos cultivos (Clasificación Papadakis). Fuente: Ministerio de Agricultura

Cultivo	TIPO INVIERNO	TIPO VERANO	REGIMEN HUMEDAD	OBSERVACIONES
Trigo	t <sub>i</sub> o más suaves	t, o más cálidos	Me, o más húmedos o bien riego	Para su siembra en otoño exige inviernos t <sub>i</sub> o más suaves. Cuando es más frío (Pr o pr) se siembra en primavera. Se cultiva en climas con inviernos Ct o tP, pero en estos casos los rendimientos son bajos y requiere de alta fertilización. Necesita abundante humedad durante el mes que precede y los días que siguen a su espigazón.
Cebada	T <sub>v</sub> o más suaves	t, o más cálidos, e incluso P ó A.	Me, o más húmedos o bien riego	En su resistencia al invierno, es intermedia entre el trigo y la avena. Exigencias en calor más bajas que las del trigo, por lo que penetra un poco en climas con verano P o A. Un poco más resistente a la sequía que el trigo y la avena.
Maíz		M, o más cálidos e incluso T		El período de crecimiento no debe ser seco. En caso contrario el rendimiento disminuye en particular durante la formación del penacho y granazón. Días largos y noches frescas son favorables, por ello da sus más altos rendimientos en su límite polar y en tierras altas de los trópicos. Un verano G permite su cultivo, pero los rendimientos son más bajos. Temperaturas > 35°C destruyen el polen. Con período crítico en el mes que precede a la formación del grano.

Girasol		M, o más cálidos		Semejante al maíz en exigencias climáticas, pero más resistente a la sequía, aunque menos que el sorgo. No está bien adaptado a los climas tropicales. Bastante resistente a la helada. Temperaturas de $-1$ ó $-2$ °C destruyen las flores.
Arroz		O, o más cálidos		Suelos continuamente saturados de agua y con mal drenaje, ligeramente ácidos. Lluvia de lavado alta. Termófila, requiere tiempo soleado y buena iluminación para un buen desarrollo. Temperaturas por debajo de 0°C producen daños que dependen de la intensidad y duración de la helada. Soporta temperaturas del orden de 35 a 40°C con humedad suficiente. Rinde mejor cuando las noches son frescas (media de las mínimas de todos los meses < 20°C), por lo que da sus más altos rendimientos cerca de su límite polar o en ciertas zonas altas de los trópicos.
Vid	Ti, o más suaves	M, o más cálidos	Me, o riego	Exigencias en frío análogas a las del trigo. Las heladas tardías le causan daños. El verano no debe ser húmedo. Cuando el clima no es semiárido no necesita riego, pero este incrementa la cosecha.
Olivo	av, o más suaves	O, es suficiente	Sin riego con Me o más húmedo. Con riego me o desérticos.	Más resistente al invierno que los cítricos, pero menos que la avena, exige una MAM > -7°C. Exigencias en frío bajas, pero inviernos Citrus tropical o Tropical cálido son demasiado cálidos. Un verano arroz (O) es suficientemente cálido para cubrir sus exigencias de calor. Resistente a la sequía.
Manzano	ti, o más suaves	t, o más cálidos. T, o casi T es suficiente.	HU, Hu, o riego	Altas exigencias en frío. Media de las máximas del más frío < 15°C, por lo que no vegeta bien con inviernos Ec, Tp, tp, Ct. En plena floración puede soportar como máximo una temperatura de $-2,5$ °C. Más resistente a la helada que el melocotonero, albaricoquero y cerezo. Requiere noches frescas (media de las mínimas de todos los meses < 20°C). Temperaturas máximas superiores a 38°C dañan la calidad del fruto. Temperaturas altas antes de la recolección pueden ocasionar la caída del fruto. Requiere un clima húmedo (HU, Hu), pero rinde mejor en climas secos o desérticos con riego.
Naranja	Ci, o más suaves	g, c ó más cálidos		La calidad es mayor cuando el invierno es Ci o tp. Un clima húmedo es favorable y responde bien a los riegos. Resisten una estación seca corta con S<500 mm, cuando el suelo tiene capacidad de retención y la lluvia durante la estación húmeda puede dar lugar a una reserva. El intervalo 27 a 32 °C es el óptimo para el crecimiento.

Ejercicio 14.7. Dada la clasificación de Papadakis para el observatorio de Sevilla se desea analizar la viabilidad del manzano según los criterios de Papadakis.

- Tipo de invierno ti ó más suave, tenemos Ci.
- Altas exigencias en frío:  $T_1 < 15^\circ\text{C}$ , tenemos  $T_1 = 15,0^\circ\text{C}$ , luego estamos en el límite de vernalización, aunque no llegamos a tener un invierno Ct en que el problema se presentaría seguro.
- Tipo de verano t ó más cálido, tenemos G.
- Temperaturas máximas superiores a 38°C dañan la calidad del fruto, tenemos  $T_a > 38$  de mayo a septiembre y  $T'a_{12} = 41,2^\circ\text{C}$ , luego tenemos probabilidad de daños en la calidad del fruto.
- Régimen de humedad HU, Hu o riego, tenemos Me, luego necesitamos riego. Pese a esto, rinde más en climas secos con riego.

En conclusión, según esta metodología, tendríamos posibilidad de cultivar el manzano en regadío; pero eligiendo una variedad de menores exigencias en frío. Tendríamos que valorar económicamente la probabilidad de daños en la calidad del fruto.