

# El factor agua

Dr. Francisco José Alcaraz Ariza, Dr. José Delgadillo Rodríguez & Dra. Mariángeles Alonso Vargas  
Universidad de Murcia  
España

(versión de 13 de mayo de 2009)

Copyright: © 2009 Francisco José Alcaraz Ariza, José Delgadillo Rodríguez & Mariángeles Alonso Vargas. Esta obra está bajo una licencia de Reconocimiento-No Comercial de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite [http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/deed.es\\_CL](http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/deed.es_CL) o envíe una carta a Creative Commons, 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
1.1. Importancia del agua.....	3
1.2. Fuentes de agua para las plantas.....	3
1.3. Precipitaciones y disponibilidad de agua para las plantas.....	4
1.4. Un tipo de precipitación muy especial: la nieve.....	4
<b>2. Cuando hay exceso de agua: adaptaciones para perder más agua.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Cuando falta el agua: adaptaciones frente a la aridez.....</b>	<b>5</b>
3.1. Introducción.....	5
3.2. Mecanismos de las plantas para evitar los déficit hídricos.....	5
3.3. Tolerancia a los déficit hídricos en la planta.....	6
3.4. Rutas fotosintéticas alternativas como adaptación a la aridez.....	7
<b>4. Mapa conceptual.....</b>	<b>9</b>
<b>5. Actividades de aplicación de los conocimientos.....</b>	<b>11</b>
<b>6. Fuentes de consulta.....</b>	<b>12</b>
6.1. Bibliografía básica.....	12
6.2. Bibliografía complementaria.....	12
6.3. Direcciones de Internet.....	12

## **Índice de cuadros**

Cuadro 1: Fuentes de agua para las plantas.....	3
Cuadro 2: Extremos de precipitación en la Tierra y en la Península Ibérica.....	4
Cuadro 3: Los efectos de la nieve sobre las plantas.....	4
Cuadro 4: Formas de combatir el exceso de agua en plantas.....	5
Cuadro 5: Estrategias para escapar de la sequía.....	5
Cuadro 6: Estrategias para conservar el agua por reducción de la transpiración.....	6
Cuadro 7: Estrategias para mantener la absorción de agua.....	6
Cuadro 8: Principales diferencias entre plantas C3, C4 y CAM.....	7

## **Índice de figuras**

Figura 1: Importancia del agua.....	3
Figura 2: A. Estomas hundidos; B. Plantas ventana.....	6
Figura 3: Comparación de la estructura foliar entre plantas C3 (A) y C4 (B).....	8

# El factor agua

## Interrogantes centrales

- ¿Cuáles son las fuentes de agua para las plantas?
- ¿En qué se diferencia la precipitación total de la realmente disponible para las plantas?
- ¿Cuáles son los efectos favorables y desfavorables de ella sobre la vegetación?
- ¿Cuáles son los mecanismos que usan las plantas para acelerar la pérdida de agua?
- ¿Qué es la aridez?
- ¿Qué son los xerófitos y qué tipos podemos distinguir?
- ¿Qué mecanismos presentan las plantas para evitar el estrés hídrico y cuáles para tolerarlo?
- ¿Cuáles son las diferencias adaptativas y morfológicas entre las plantas C3, C4 y CAM?

## 1. Introducción

### 1.1. Importancia del agua

El agua es una de las bases de la vida de las plantas; el papel que desempeña para los vegetales se presenta de forma resumida en la figura 1.

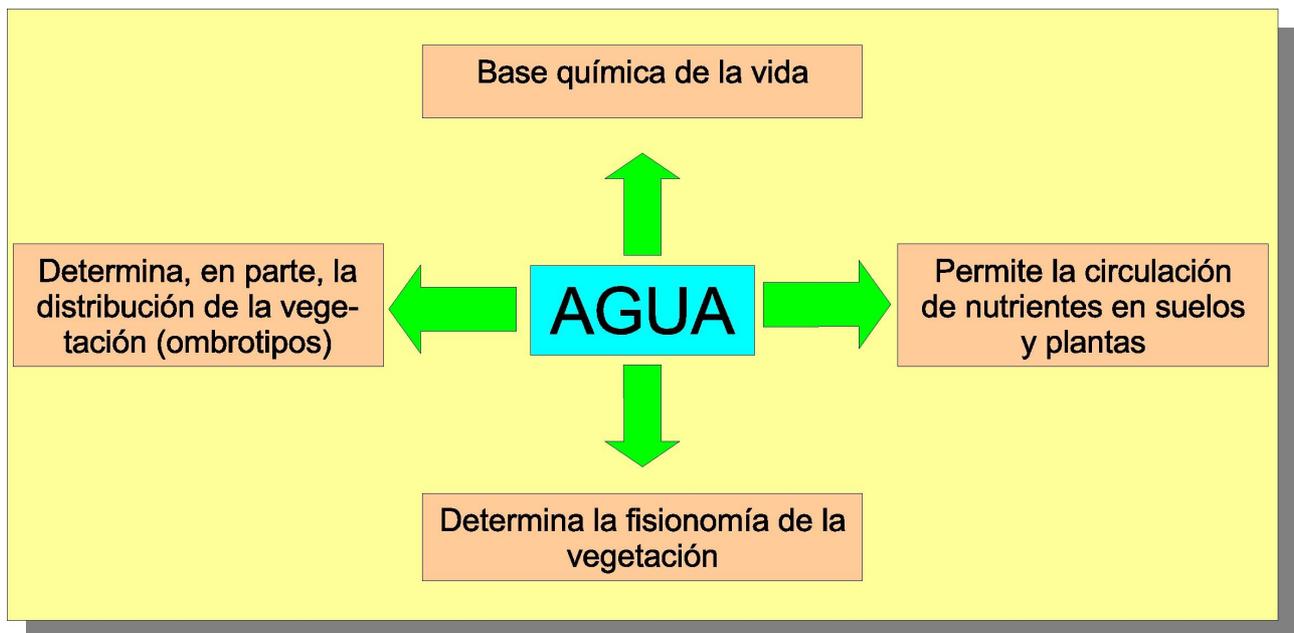


Figura 1: Importancia del agua

### 1.2. Fuentes de agua para las plantas

Además de las evidentes, como la lluvia y la nieve, hay que tener en cuenta las llamadas «precipitaciones ocultas», como el rocío, y las que suponen compensación (nieblas, posición topográfica favorable, etc. Las principales se resumen en el cuadro 1.

Mensurables	Ocultas	Compensantes
Lluvia	Rocío	Humedad ambiental
Nieve	Agua freática	Nubosidad
Granizo	Escorrentías	Nieblas

Cuadro 1: Fuentes de agua para las plantas

### 1.3. Precipitaciones y disponibilidad de agua para las plantas

- La Distribución en la Tierra muy desigual (ver cuadro 2).
- Esta variación es responsable en parte de la alta diversidad de la cubierta vegetal.
- Además, es necesario conocer:
  - ✓ La distribución de las lluvias a lo largo de las distintas estaciones.
  - ✓ La disponibilidad real de agua, resultado de restar al agua total las pérdidas por:
    - ✓ Torrencialidad y escorrentías.
    - ✓ Evapotranspiración.
    - ✓ La retenida fuertemente en el suelo.
    - ✓ La pérdida por la escasa capacidad de retención de agua en suelos poco desarrollados o degradados.

Territorio	Máximo	Mínimo
Tierra	Faldas Himalaya: > 12.000 mm	Atacama, Sahara Central: < 10 mm
Península Ibérica	Sierra de Grazalema: > 3.000 mm	Águilas a Cabo de Gata: < 200 mm

Cuadro 2: Extremos de precipitación en la Tierra y en la Península Ibérica

### 1.4. Un tipo de precipitación muy especial: la nieve

- En zonas frías uno de los proveedores de agua más importantes para plantas.
- Comunidades vegetales adaptadas (Quionófilas).
- Efectos favorables y desfavorables sobre plantas (ver cuadro 3).

Efectos favorables	Efectos desfavorables
Protección desecación	Abrasión
Protección frío	Acorta periodo vegetativo
Evita brotación temprana	Daños mecánicos
Aumento temperatura por reflexión	Suelos poligonales
Abonado	Soliflucción
Suministro agua en periodo deshielo	Disminuye vitalidad
Mantiene calor del suelo	Aludes

Cuadro 3: Los efectos de la nieve sobre las plantas

## 2. Cuando hay exceso de agua: adaptaciones para perder más agua

- En climas muy húmedos, zonas con suelos encharcados o alta humedad ambiental las plantas deben forzar la transpiración para movilizar los nutrientes (ver cuadro 4).
  - ✓ Expulsión agua líquida (gutación) a través de estomas acuíferos (hidatodos)
  - ✓ Morfologías de hojas especiales (rematadas en larga punta, lámina deprimida en parte central, péndulas, etc.)

Aumento superficie transpiradora	Aumento de la gutación
Aumento limbo foliar y estomas aeríferos (plantas latifolias)	Estomas acuíferos o hidatodos
Pilosidad foliar de pelos vivos que transpiran activamente	Tricomas
Posición superficial de los estomas aeríferos, que pueden incluso estar salientes	Glándulas de agua
Hojas de superficie rugosa o perforadas	
Hojas delgadas	
Hojas con pantalla (pigmentada o gaseosa)	

Cuadro 4: Formas de combatir el exceso de agua en plantas

### 3. Cuando falta el agua: adaptaciones frente a la aridez

#### 3.1. Introducción

- Se consideran áridos aquellos territorios o periodos de tiempo en que las necesidades hídricas de las plantas no están aseguradas por el medio.
- Las plantas adaptadas a soportar la aridez se denominan **Xerófitos**.
- Las plantas que evitan los déficit hídricos no son auténticos xerófitos (ej. las que toman agua del manto freático, acumulan el agua: *Suculentas*).
- Tipos de Xerófitos:
  - ✓ *Caducifolios facultativos*: plantas con hojas blandas, las cuales se marchitan en periodos secos pudiendo incluso caer.
  - ✓ *Esclerofilos*: plantas leñosas de hojas pequeñas, duras y provistas de tejidos mecánicos, propias de climas mediterráneos o tropicales pluviestacionales.
  - ✓ *Estenohidros*: plantas capaces de cerrar sus estomas y detener la fotosíntesis en los periodos secos, consumiéndose lentamente hasta nuevas condiciones favorables.
- Consideraremos dos tipos de clasificaciones de plantas de sitios áridos:
  - ✓ Evitan los déficit hídricos.
  - ✓ Toleran los déficit hídricos.

#### 3.2. Mecanismos de las plantas para evitar los déficit hídricos

- Se pueden agrupar en:
  - ✓ Estrategias para escapar de la sequía (cuadro 5).
  - ✓ Estrategias para conservar el agua (cuadro 6).
  - ✓ Estrategias para mantener la absorción de agua (cuadro 7).

En el espacio	En el tiempo
Obtener agua freática	Anuales (Terófitos)
	Geófitos
	Reviviscentes (poiquilohidros)

Cuadro 5: Estrategias para escapar de la sequía

Estrategias	
Formas redondeadas	Color verde claro o brillante: refleja la luz
Disminución tamaño y número hojas	Hojas enrolladas permanentemente
Hojas paralelas rayos solares	Hojas enrolladas al disminuir turgencia
Desprendimiento aceites volátiles	Estomas hundidos (ver figura 2.A)
Hojas caedizas periodo seco	C4, C3/C4, CAM
Ausencia hojas (tallos clorofilicos)	Cierre estomático rápido y completo
Caída trozos tallos periodo seco	Cutículas gruesas e impermeables
Tricomas	Plantas ventana (ver figura 2. B)
Almacenamiento agua (suculencia)	Plantas semi enterradas

Cuadro 6: Estrategias para conservar el agua por reducción de la transpiración

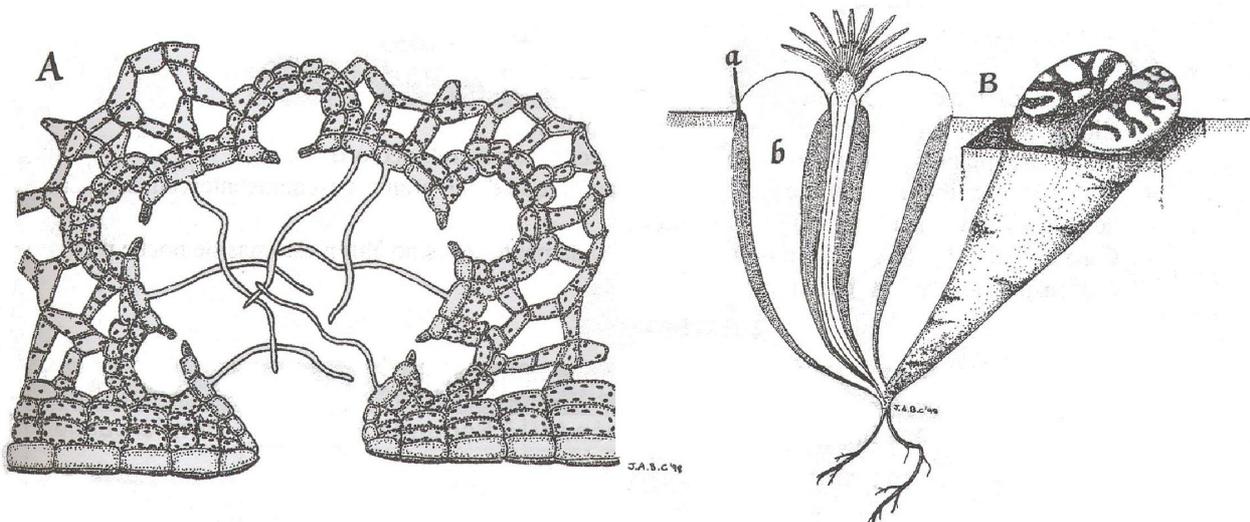


Figura 2: A: Estomas hundidos en criptas en baladre (*Nerium oleander*); B. Las plantas ventana como este *Lithops* están casi enteramente enterrados y la luz sólo puede alcanzar el tejido fotosintético (a) gracias a la existencia de ventanas translúcidas (b = parénquima acuífero)

Estrategias	
Hipertrofia sistema radical	Raíces superficiales (torrencialidad)
Vasos vasculares gruesos	Raíces profundas captan agua freática
Absorción agua rocío: bombeo y reabsorción para captar nutrientes	

Cuadro 7: Estrategias para mantener la absorción de agua

### 3.3. Tolerancia a los déficit hídricos en la planta

- Ajuste osmótico (acumulación solutos en plantas sometidas a estrés lento).
- Células pequeñas e inextensibles.
- Reviviscentes (pteridófitos y criptógamas no vasculares).

### 3.4. Rutas fotosintéticas alternativas como adaptación a la aridez

- El gasto de agua para producir 1 gramo de materia orgánica es muy diferente según la estrategia utilizada por las plantas:
  - ✓ 4 a 9 litros de agua en las plantas C3 (ver figura 3).
  - ✓ 1 a 3 litros de agua en las plantas C4 (ver figura 3).
  - ✓ 0,5 a 0,6 litros de aguas en las plantas CAM.
- Plantas C4 (ver cuadro 8):
  - ✓ Dos carboxilaciones separadas en el espacio.
  - ✓ Anatomía foliar en corona, tipo Kranz.
  - ✓ Temperaturas óptimas de crecimiento mayores.
  - ✓ Resisten mejor medios salinos.
  - ✓ Menor gasto de agua.
- Plantas intermedias C3/C4:
  - ✓ Géneros *Alloteropsis*, *Mollugo*, *Moricandia*, *Panicum*.
  - ✓ Cloroplastos en la vaina y mesófilo diferenciado en posición dorsiventral.
- Plantas CAM:
  - ✓ Dos carboxilaciones separadas en el tiempo.
  - ✓ Ciclo estomático invertido (abren estomas de noche).
  - ✓ En general plantas suculentas con parénquima acuífero central incoloro.
  - ✓ Mesófilo fotosintético externo, con células grandes que dejan grandes espacios intercelulares, paredes delgadas y gran vacuola central.
  - ✓ Caso especial: CAM inútil (en periodos extremadamente secos no abren estomas de noche pero fijan CO<sub>2</sub> respirado por la noche en malato).

Tipo de planta	Primera fijación CO	Dónde/Cuándo	Segunda fijación CO	Dónde/Cuando
C3	Rubisco	Mesófilo/Día		
C4	PEP carboxilasa	Mesófilo/Día	Rubisco	Vaina del haz/Día
CAM	PEP carboxilasa	Mesófilo/Noche	Rubisco	Mesófilo/Día

Cuadro 8: Principales diferencias entre plantas C3, C4 y CAM

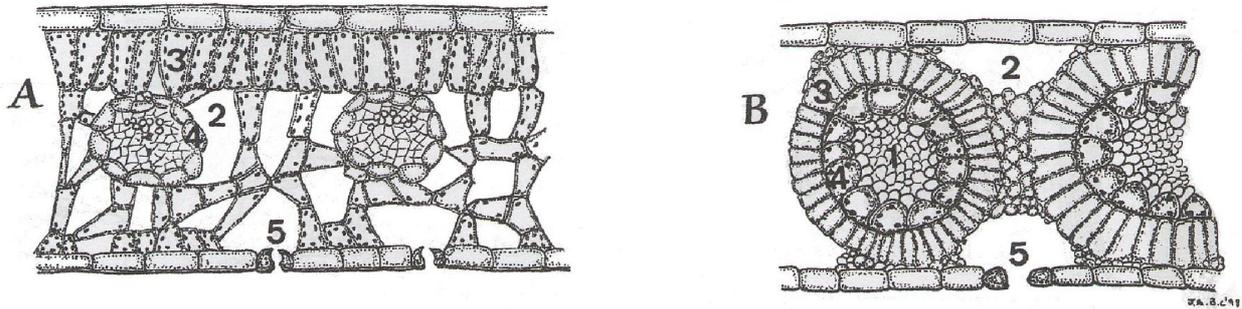
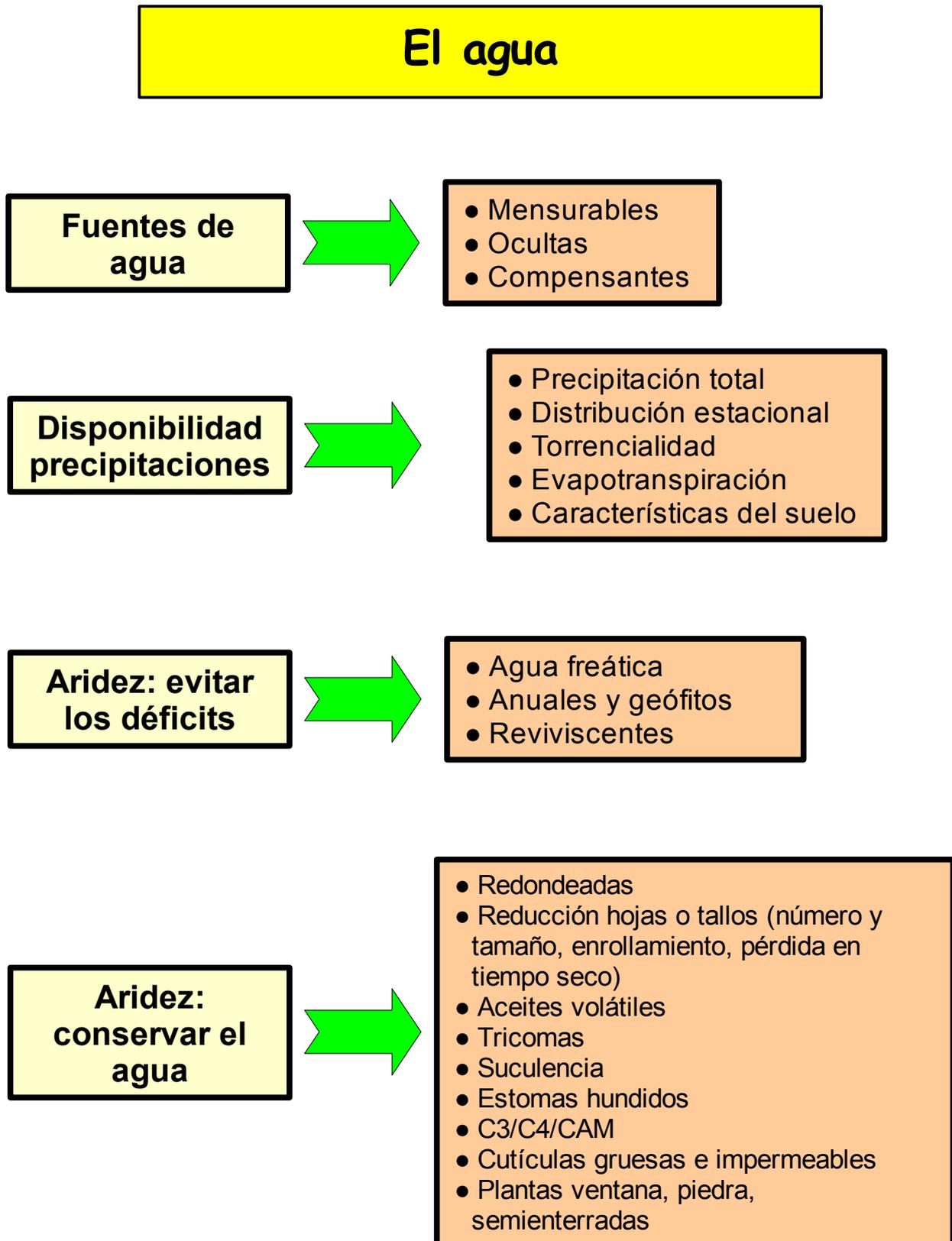


Figura 3: Comparación de la estructura foliar entre plantas C3 (A) y C4 (B). 1. Vena; 2. Aire (en contacto con el mesófilo en plantas C3, lo que permite la fotorrespiración, pero que no contacta con la vaina del haz, que es el lugar del ciclo de Calvin en las plantas C4); 3. Células del mesófilo (lugar de la fotosíntesis y la fotorrespiración en las plantas C3; no son fotosintéticas en las plantas C4, sino que en ellas se da una incorporación como ácidos orgánicos); 4. Vaina del haz (en las C3 estas células que rodean las venas no son fotosintéticas; en las C4 son el lugar del ciclo de Calvin); 5. Estoma.

4. Mapa conceptual





## **5. Actividades de aplicación de los conocimientos**

1. Recoja hojas de especies de un determinado hábitat y realice cortes a mano alzada para su observación al microscopio, determinando morfológicamente si se trata de plantas C, C o CAM. Puede coger plantas de diversos hábitats para comparar los resultados. Intente de forma razonada explicar estas diferencias.
2. Intente identificar plantas que presentan adaptaciones para aumentar la transpiración (posiblemente tendrá mejores resultados si se fija en plantas de jardín). Intente obtener información sobre el lugar de origen y la formación vegetal en la que prospera en su hábitat natural.
3. En las áreas desérticas del mundo predominan tres biotipos: anuales, suculentas y arbustos muy ramificados. ¿Qué ventajas e inconvenientes piensa que presenta cada una de estas formas vitales en tales ambientes áridos? ¿Qué tipos de adaptaciones a la aridez piensa que serán las más habituales en cada una de ellas?
4. En zonas de climas de tendencia árida hay una clara diferenciación en la distribución altitudinal de plantas C, C y CAM. ¿Cuáles serán a su juicio las tendencias más previsibles? Razone las respuestas.

### 6. Fuentes de consulta

#### 6.1. Bibliografía básica

- Alcaraz, F.; Clemente, M.; Barreña, J.A. y Álvarez Rogel, J. 1999. *Manual de teoría y práctica de Geobotánica*. ICE Universidad de Murcia y Diego Marín. Murcia
- Azcon-Bieto, J. y M. Talón, M. 1996. *Fisiología y bioquímica vegetal*. Interamericana. McGraw-Hill. Madrid. pp: 81-88, 135-147.
- Daubenmire, R.F. 1990. *Ecología vegetal*. Limusa. Méjico. pp: 97-191.
- Gil Martínez, F. 1995. *Elementos de fisiología vegetal*. Mundi-Prensa. Madrid. pp: 627-714
- Izco, J. *et alii*. 1997. *Botánica*. McGraw-Hill. Interamericana. Madrid. pp: 82-87, 638-652.
- Strasburger, E. *et alii*. 1994. *Tratado de Botánica*. 8a edición castellana. Omega S.A. Barcelona. pp: 289-293, 352-353.

#### 6.2. Bibliografía complementaria

- Braun Blanquet, J. 1979. *Fitosociología*. H. Blume. Madrid. pp: 257-283.
- Folch, R. [Ed.]. 1996. *Biosfera, vol. 4. Deserts*. Enciclopedia Catalana. Barcelona. pp: 24-25, 43, 87-114.
- Géhu-Franck, J. y Géhu, J.M. 1994. *Schemas de botanique systematique illustree. II- Organisation generale des plantes vasculaires*. Centre Régional de Phytosociologie et Conservatoire Botanique National de Bailleul. pp: 19-22, 42-56.
- Ozenda, P. 1977. *Flore du Sahara*. Editions du CNRS. Paris. pp: 56-67.

#### 6.3. Direcciones de Internet

- <http://club2.telepolis.com/ohcop/lect39.html>
- <http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/C/C4plants.html>
- <http://www.botanical-online.com/animacion9.htm>
- [http://www.desertusa.com/du\\_plantsurv.html](http://www.desertusa.com/du_plantsurv.html)
- [http://www.desertusa.com/du\\_sonoran.html](http://www.desertusa.com/du_sonoran.html)
- <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Runway/8787/c3vsc4.htm>