

IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACION EN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS AGRICOLAS

E. Malavolta*

Introducción

La práctica de fertilización procura cubrir la diferencia entre la concentración requerida de nutrientes en el suelo para óptimo crecimiento del cultivo y la concentración de nutrientes en el suelo antes de la fertilización.

Por otro lado, los nutrientes pueden desempeñar diversas funciones en la vida de la planta, determinando o influyendo diferentes procesos (Figura 1). La suma de esas funciones es responsable del proceso total de formación de la cosecha y muchas veces de la calidad del producto recolectado. Esto se discutirá en detalle más adelante.

En este artículo, calidad se define de la siguiente forma: "Conjunto de características químicas relacionadas con el valor nutritivo, industrial o comercial del producto agrícola". Esta definición admite que características muy distintas, como el contenido de proteína del grano, el color externo, el sabor de un fruto o el perfume de una flor

son consecuencia de la composición química de las mismas.

Función de los elementos en la planta

Los nutrientes esenciales para las plantas son exclusivamente inorgánicos. Los criterios para que un elemento sea considerado como nutriente esencial para las plantas son los siguientes:

1. La carencia del elemento hace imposible que la planta complete su ciclo de vida.
2. Las características de la deficiencia son específicas para cada elemento.
3. El elemento está directamente envuelto en la nutrición de la planta o es requerido para la activación de sistemas enzimáticos.

En la actualidad, los siguientes elementos satisfacen los criterios directos o indirectos de esencialidad:

Macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S
Micronutrientes B, Cl, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn, (Na, Se, Si).

productos agrícolas (Malavolta, 1987, 1988).

Fertilización y calidad

Este artículo no pretende hacer una revisión exhaustiva de los efectos de los elementos minerales en la calidad de los productos agrícolas. Se espera más bien explicar el efecto de la utilización de nutrientes usando datos provenientes de la literatura, de experimentación o de experiencia práctica, basándose en el entendimiento de las funciones de los nutrientes en los diversos cultivos e integrándolos con otros conocimientos de Fisiología y Anatomía Vegetal. Por ello se recomienda tener a mano algunos textos de Fisiología Vegetal como Bidwell (1979) o Heller (1985), y claro algunos de Nutrición Mineral de Plantas como Malavolta (1980), Mengel & Kirkby (1987), Marschner (1986).

Efecto de la fertilización en la calidad de la naranja

En naranja, existe gran dificultad para conciliar con fertilización la productividad y la calidad de la fruta para consumo. Esto se debe a que estas dos variables no trabajan juntas. Cuando se incrementa el rendimiento de fruta por hectárea por medio de la fertilización (nitrogenada y potásica), generalmente se reduce el tamaño de la fruta, la resistencia al almacenamiento y transporte, el color externo e interno, el volumen de jugo y la relación azúcar/acidez. Este problema es de poca importancia cuando la fruta se destina a la industria del jugo, que es menos exigente que el mercado de fruta fresca. La Tabla 3 resume el efecto

Los criterios de esencialidad para los tres elementos entre paréntesis (Na, Se y Si) aún se hallan en discusión.

Las Tablas 1 y 2 resumen las funciones de los macro y micronutrientes, lo que ayudará a entender el efecto de la fertilización en la calidad de los pro-

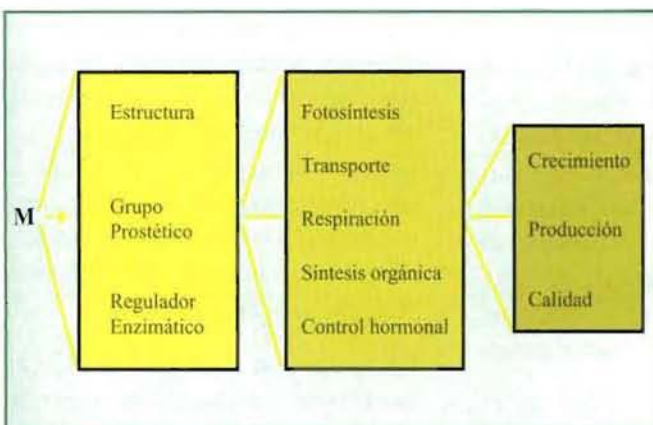


Figura 1. Representación esquemática del papel de los macro y micronutrientes (M) en el proceso de formación de la cosecha y en la calidad de los productos agrícolas.

* Adaptado de: Malavolta, E. 1994. Importancia da adubacao na qualidade dos produtos - funcao dos nutrientes na planta. En M. Eustaquio de Sá e S. Buzzeti. Importancia da adubacao na qualidade dos produtos agricolas. Sao Paulo: Icone, 1994.

Tabla 1. Macro y micronutrientes como compuestos estructurales.

Compuestos	Funciones	Compuestos	Funciones
Nitrógeno		Boro	
Aminoácidos y proteínas	Absorción iónica	Esteres condifenoles, carbohidratos y azúcares - P	Transporte de carbohidratos (?) Control hormonal (?)
Bases nitrogenadas y ácidos nucleicos	Fotosíntesis, Respiración	Cloro	
Enzimas, coenzimas y vitaminas	Biosíntesis	Acutumina, acutumidina	Fotosíntesis
Glico y lipoproteínas	Multiplicación y diferenciación celular	Jacumina	
Pigmentos y productos secundarios	Herencia	Acido C1-indolacético	Auxina (?)
Fósforo		Cobalto	
Esteres de carbohidratos	Almacenamiento y transferencia de energía	Vitamina B12 y derivados	Fijación de dinitrógeno
Fosfolípidos		Cobre	
Nucleótidos y ácidos nucleicos	Fijación de dinitrógeno (ver nitrógeno)	Proteínas azules (azurina, estelacianina, umecianina)	Fotosíntesis
Coenzimas		Glicoproteínas	Enzimas
Potasio		Hierro	
Predominante en forma iónica		Quelatos con ácidos di y tricarbónicos	Almacenamiento (?)
Calcio		Fotoferritina (con P)	Almacenamiento
Pectato (lamela media)	Estructura y funcionamiento de membranas	Hemoglobina	Fijación de dinitrógeno
Carbonato	Absorción iónica	Manganeso	
Oxalato	Control hormonal	Manganina	Fotosíntesis, metabolismo de ácidos orgánicos
Filato	Mensajero secundario de estímulos	Silicio	
Calmodulinas	Activación enzimática	SiO ₂ : hidratado	paredes celulares inclusive tubos polínicos
Magnesio			
Clorofilas	Fotosíntesis		
Azufre			
Aminoácidos (cisteína, cistina, metionina, taurina)	Fotosíntesis, fijación no fotosintética del CO ₂		
Proteínas (todas)	Respiración		
Vitaminas y coenzimas (tiamina, biotina)	Biosíntesis		
Esteres con polisacáridos (membranas)	Fijación de dinitrógeno		
	Precursor de etileno		

de la fertilización en la calidad de la naranja, y las Figuras 2 y 3 intentan demostrar la relación existente entre el contenido foliar de nutrientes y algunas de las características de la fruta. No es posible explicar el efecto de los elementos a nivel molecular o a nivel fisiológico en todos los casos.

1) Nitrógeno

En la práctica, el efecto predominante de la aplicación de nitrógeno (N) es la disminución en el tamaño de frutos, compensado por el aumento en el número de los mismos. Es posible que el N cause menor aborto de flores y que el suplemento de esqueletos carbónicos mediante la fotosíntesis sea insuficiente para hacer crecer todas las frutas. A propósito, hay que recordar que el índice de área foliar

de los cítricos está alrededor de 7-8 y son necesarias 20 a 25 hojas para alimentar un fruto.

2) Fósforo

Las frutas carentes en fósforo (P) poseen el mesocarpo significativamente más grueso. Posiblemente existe un desvío de esqueletos carbónicos para formar polisacáridos de peso molecular más elevado en el mesocarpo, en lugar de ser acumulados como sólidos solubles, cuyo contenido en el jugo disminuye.

3) Potasio

La falta de potasio (K) disminuye marcadamente el tamaño del fruto, siendo éste el síntoma más sensible de carencia de este elemento. En condiciones de carencia de K

existe menor transporte de asimilados para el fruto (Figura 4) y en consecuencia menos agua. A su vez, la falta de regulación en el cierre y apertura de los estomas provoca pérdida excesiva de agua por transpiración, lo que repercute en el crecimiento del fruto. La falta de K generalmente provoca un estancamiento excesivo del crecimiento de los frutos, especialmente en sequía, aparentando senescencia precoz.

La aplicación de K incrementa el tamaño de la fruta. El fruto grande significa mucho azúcar, fruta ácida y principalmente mucha agua, la cual probablemente es absorbida para mantener constante la concentración de los primeros.

Por otro lado, el excesivo suple-

Tabla 2. Macro y micronutrientes en grupos prostéticos, como activadores y reguladores enzimáticos y como grupos activos.

Reacción	Procesos	Reacción	Procesos
Como K ⁺ libre	Potasio Osmoregulación Apertura y cerrado de estomas Transporte de carbohidratos y de otros productos Fijación de dinitrógeno Reducción de nitrato Síntesis de proteína Respiración	Oxidasa de ascorbato Polifenol oxidasa Cresolasa, catecolasa Triosinasa, lacasa Plastocianina Oxidasa de diamino Oxidasa de citocromo Carboxilasa de ribulosa 1,5 - 2P	Cobre Metabolismo de fenoles Regulación hormonal Fotosíntesis Respiración Fotosíntesis
Quinasa pirúvica 6-P frutoquinasa Síntesis de glutatone Síntetasa de succinil CoA Síntetasa de clutamilsteína Síntetasa de NAD ⁺ Síntetasa de formil hidrofosfato Deshidratasa de treonina Aldolasa Deshidrogenasa de aldehído Síntetasa de amido	Síntesis de péptidos Síntesis de proteína Respiración Indicada	Catalasas peroxidasas Citocromos Reductosa y oxidasa de Sulfito Ferrodoxina Deshidrogenasa succínica Nitrógenasa Reductosa de nitrato Hidrogenasa Aconitasa	Hierro Respiración Fotosíntesis Síntesis de proteínas Fijación de dinitrógeno Asimilación de azufre
Activador de la ATPasa Alfa amilasa Fosfolipasa, poligalacturosana y nucleasa	Calcio Absorción iónica Hidrólisis		
Tioquinasa acética Quinasa pirúvica Hexoquinasa Enolasa Deshidrogenasa isocritica Descarboxilasa de piruvato Carboxilasa de ribulosa 1,5 - 2P Síntetasa de fosfopiruvato Síntetasa e transferasa de glutamilo	Magnesio Respiración Fotosíntesis Respiración Síntesis de proteína	Síntesis de glutatone Activación de la metionina Síntetasa y transferasa del glutamilo ATPasa Enolasa Deshidrogenasa isocritica Pirofosforilasa Enzimas málica Oxidasa del ácido indolil acético	Síntesis de proteínas Absorción iónica Respiración Síntesis de amido Fijación del CO ₂ Control hormonal
Grupos S-H y S-S Ferrodoxina	Azufre Respiración Biosíntesis Fotosíntesis Síntesis proteica (estructura terciaria)	Reductosa del nitrato Nitrogenasa	Molibdeno Asimilación del nitrógeno Fijación del dinitrógeno
ATPasa de membrana Transformaciones de fenoles	Boro Absorción iónica Control hormonal Lignificación	Anhidrasa carbónica Isomerasa de fosfomanosa Deshidrogenasa láctica y alcoholica Aldolasa Carboxilasa pirúvica Síntetasa del triptófano Ribonucleasa	Zinc Equilibrio ácido-base Síntesis de carbohidratos Respiración Control hormonal Síntesis de proteínas
Fotólisis de H ₂ O	Cloro Fotosíntesis	Ureasa	Niquel Asimilación del nitrógeno Asimilación del CO ₂
Isomerasa de Metilmalonil CoA Mutasa de glutamato Deshidratasa de glicerol Deshidratasa de diol Mutasa de beta lisina Metionina - etileno	Cobalto Síntesis de núcleo pirrólico Síntesis de proteína Síntesis de proteína Control hormonal		Sodio Control hormonal (citoquininas)
			Silicio Osmoregulación Fertilidad del grano de polen

Tabla 3. Efecto de los elementos en la calidad de la naranja (1).

Características	N	P	K	Ca	Mg
Jugo					
Contenido	0a+	+	-	0	0
Sólidos Solubles (SS)	0a+	-	-	0	0a+
Acidez (A)	+	-	+a++	0	0a+
Relación SS/A	-	+	-	0	0
Color Rojo	+	?	0a+	?	?
Color Amarillo	+	?	0a-	?	?
Vitamina C	0	-	+	?	?
Calidad externa del fruto					
Tamaño	-	0a-	+a++	0	0
Peso	-	-	-	0	0
Color	+	-	+	0	+
Grosor de la cáscara	+	-	+	0	0
Defectos de la cáscara					
Cicatriz	-	0	0	?	?
Herrumbre	-	0	0	?	?
Rugosidad	+	0	-	?	?
Pudrición en almacenamiento					
Pudrición húmeda	-	0	-	?	?
Moho verde	-	0	0	?	?
Pudrición amarga	0	0	0	?	?
Aceite de la cáscara					
	+	?	-	?	?

(1) Fuente: Malavolta & Violante neto (1988), basado en KOO (1979).

0 = Sin efecto, + = aumento; - = disminución

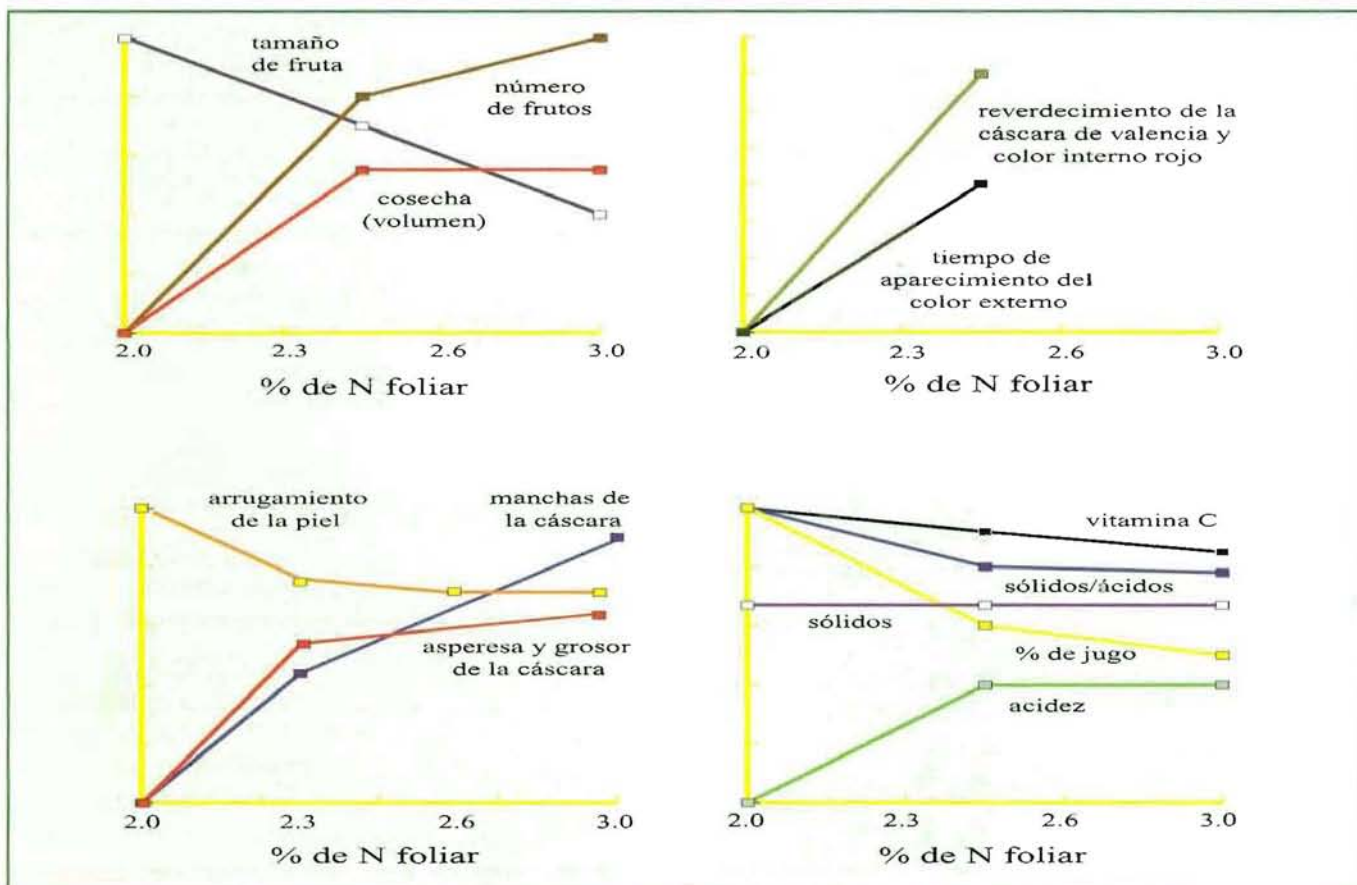


Figura 2. Relación entre los contenidos de N foliar y la calidad de la naranja.

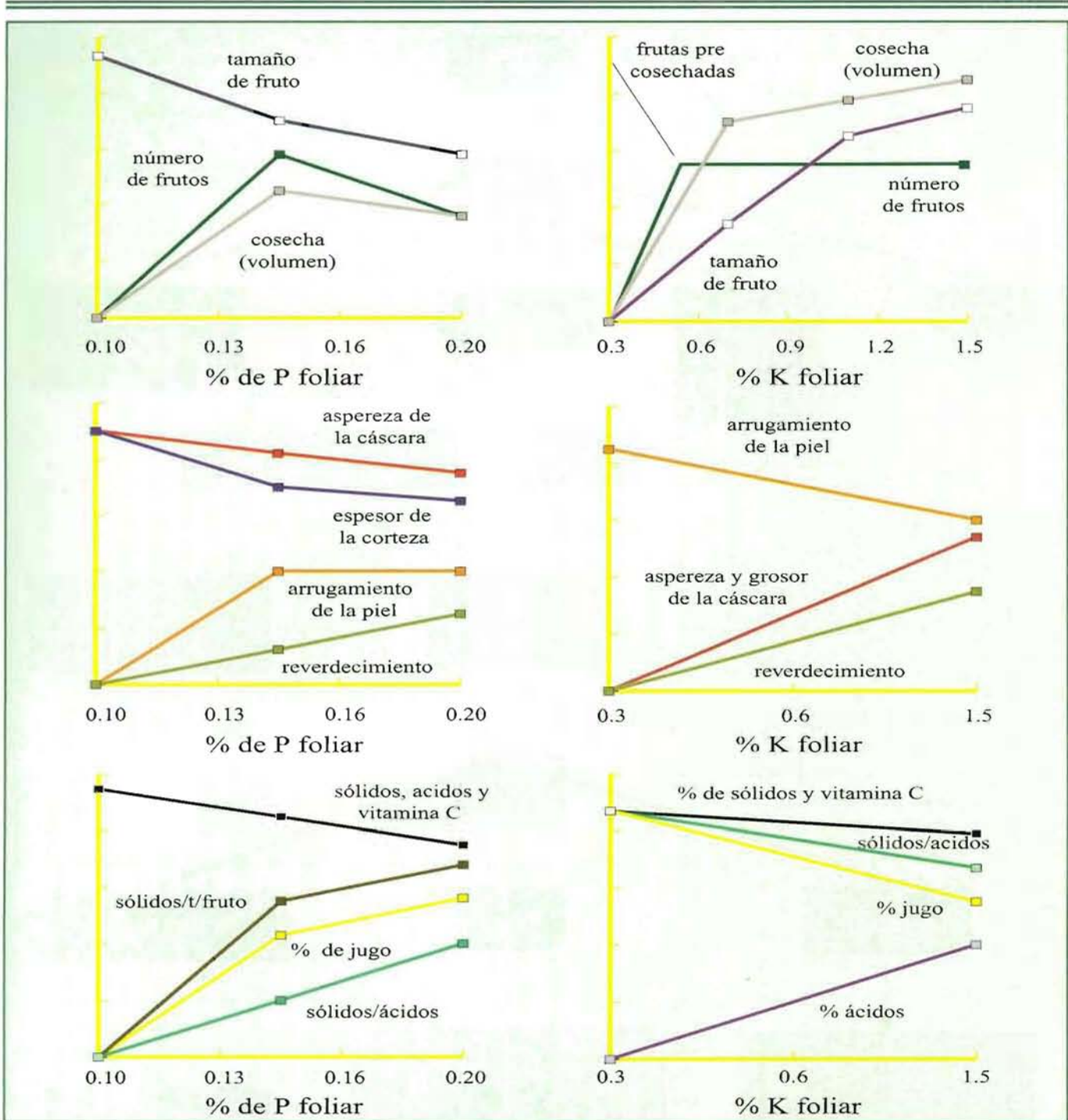


Figura 3. Relación entre los contenidos de P y K foliar y la calidad de la naranja.

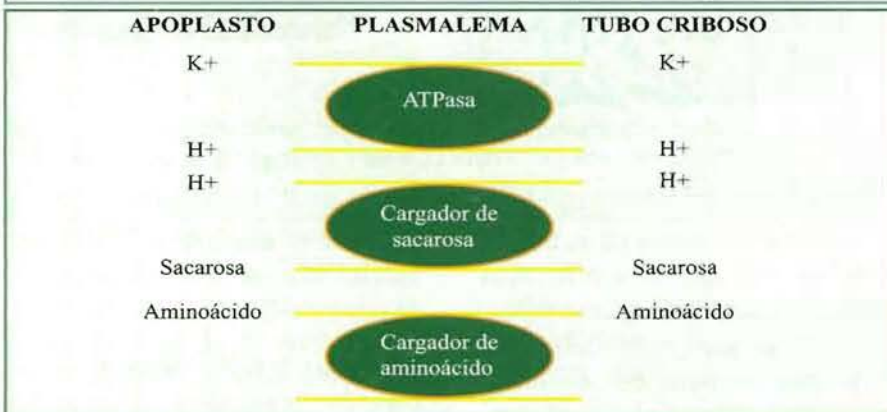


Figura 4. Representación esquemática del agrandamiento del xilema con sacarosa, aminoácido y el K como activador de la ATPasa.

mento de K provoca incremento en la acidez, debido a que el K activa enzimas del ciclo de los ácidos tricarbónicos, aumentando la producción de ácido cítrico. Además, en respuesta a la acumulación de K⁻ en el jugo celular, una proporción mayor de ácidos disociados debe estar presente para garantizar el equilibrio entre cargas positivas y negativas.

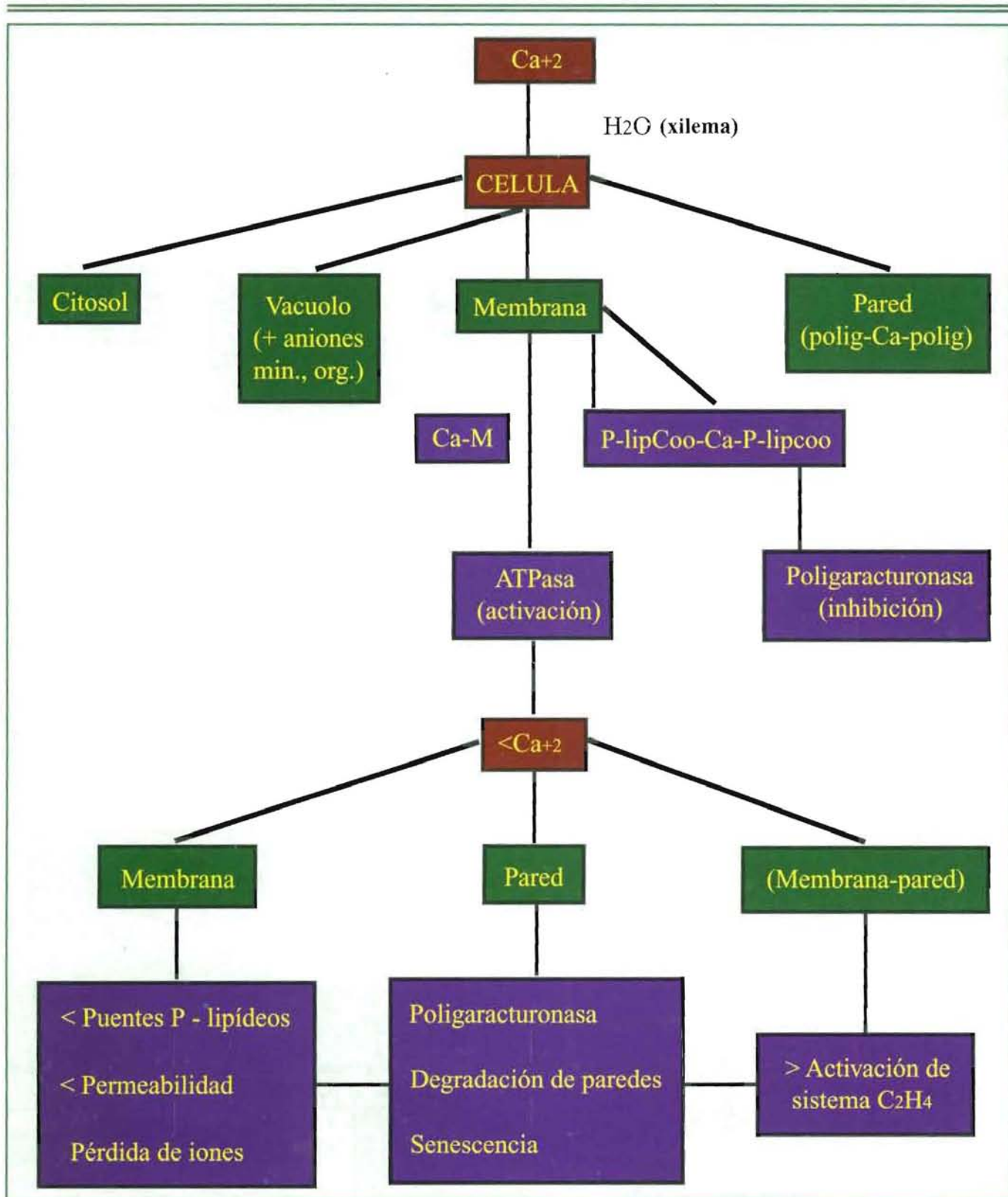


Figura 5. Representación esquemática del papel del Ca en la senescencia (Ca-M= calmodulina activada; P-lip = P-lípidos; polig = poligacturónico; Coo = pectato).

Efecto de la fertilización en la calidad del tomate

Existen dos enfermedades fisiológicas del tomate que se reflejan en los frutos. Estas son la pudrición húmeda o "mancha negra", que causa el apareamiento de man-

chas oscuras externas en el fruto y el "corazón negro" lo que provoca oscurecimiento interno de la pulpa. La calidad comercial del fruto, tanto para consumo directo, como para la industria, se ve perjudicada. En ambos casos se trata de una deficiencia de Ca. La Tabla 4

muestra el análisis de frutos del tomate normales y afectados por "corazón negro".

La Figura 5 pretende explicar ese tipo de degeneración interna de acuerdo a las siguientes condiciones:

Tabla 4. Contenidos de macro y micronutrientes en los frutos de tomate afectados por el "corazón negro" (1).

Elemento	Ataque de corazón negro en los frutos								
	Ninguno			Incipiente			Acentuado		
	Ped	Media	Punta	Ped	Media	Punta	Ped	Media	Punta
Materia seca (%)									
N	2.45	2.90	2.88	2.05	2.01	2.04	1.96	2.46	1.92
P	0.35	0.42	0.45	0.37	0.45	0.47	0.21	0.21	0.20
K	4.53	4.15	4.19	4.4	3.17	4.15	1.90	2.02	1.87
Ca	0.16	0.11	0.10	0.13	0.09	0.09	0.06	0.06	0.06
Mg	0.15	0.17	0.19	0.14	0.17	0.19	0.06	0.09	0.10
S	0.16	0.18	0.19	0.14	0.17	0.19	0.06	0.09	0.10
Materia Seca (ppm)									
B	5	5	6	7	7	5	5	5	5
Cu	50	21	25	41	25	28	22	13	23
Fe	86	107	105	79	74	92	125	43	85
Mn	56	44	52	45	36	38	20	18	19
Zn	36	41	41	25	26	30	16	26	31

**Ped = Pedúnculo; Media = Parte media del fruto; Punta = Punta del fruto
(1) Malavolta (1984)**

Tabla 5. Efecto del calcio Ca en la hidrólisis de pectato por la poligacturonasa.

Concentración de Ca ²⁺ (ppm)	Acido poligacturónico liberado (umol/4h)
0	3.5
40	2.4
200	0.6
400	0.6

Corden, 1965.

- 1) En la transpiración (vehículo de transporte de Ca²⁺) la hoja gana más Ca²⁺ que el fruto.
- 2) En consecuencia existe menor activación de la ATPasa (vía Ca colmodulina) de la membrana implicada en la acumulación iónica, menos puentes de Ca para dar rigidez a la pared celular, menos puentes lipídicos en la membrana, poca regulación de la poligacturonasa (inhibida por el Ca²⁺) (Tabla 5) lo que acentúa la degeneración de la pared celular. La falta de Ca activa el sistema generador de etileno localizado en el complejo pared-membrana.
- 3) Al final la célula entra en senes-

cencia precoz. El color negro puede deberse a la formación de fenoles oxidados, debido a que puede ocurrir rompimiento de las barreras que separan substratos, enzimas y activadores (lamentablemente no existe evidencia experimental de lo uno u otro).

Bibliografía

- Bidwell, R.G. S. 1979. Plant Physiology (2da. Ed.). New York, Mac Millan, 726 p.
- Heller, R. 1985. Physiologie vegetale, 2. Developpement (3a. ed.). Paris, (s.n), 215 p.
- Malavolta, E. 1980. Elementos de

- nutricao de plantas. Sao Paulo: Agronomica Ceres, 251 p.
- Malavolta, E. 1984. Adubacao mineral em olericultura. In: Curso, sobre nutricao e adubacao de hortalicas. Brasilia: A N D A - E M B R A P A - POTAFOS. 65 p.
- Malavolta, E. 1987. Nutricao mineral de plantas. In: Fernandes, F. M. Nascimento, V. M. (Coord.) Curso de Atualizacao en fertilidade do solo de Ilha solteira. Campinas: Fundacao Cargill. p.33-105.
- Malavolta, E., Boaretto, A. E., y Paulino, V. T. 1988. Micronutrientes: uma visao global. In: Ferreira, M. E. (ed.) Simpósio sobre micronutrientes na agricultura. Jaboti-cabal: Faculdade de Ciencias Agrárias e Veterinárias da UNESP. p. 1-74.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition in higher plants. London: Academic Press, 1986, 674 p.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4a. ed. Berna: IPI. 697 p.*