

APLICACIÓN DE LA CINÉTICA DE ARRHENIUS EN LA EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE COLOR DE LA PIEL DE AGUACATE CV. "HASS" EN LA MADURACIÓN, DURANTE LA CONSERVACIÓN EN ATMÓSFERA MODIFICADA.

P. C. Corrêa*, J. L. De la Plaza* y M. Ruiz-Altisent**

* Instituto del Frío (CSIC), 28040 - Madrid

** ETSIAgrónomos (UPM), 28040 - Madrid

Se presenta el estudio de la pérdida de color verde de la piel de aguacate cv. "Hass" en atmósferas modificadas con y sin absorción de etileno, a las temperaturas de +20, +6 y +3°C. Los análisis se basan en el modelo de Arrhenius para la evolución de la coordenada "a" de Hunter evaluando el efecto de la conservación a una temperatura por debajo de la crítica para este cultivar.

Los resultados obtenidos en forma global, permiten concluir que la evolución del color de la piel de estos frutos se correlaciona con las concentraciones de etileno, en las atmósferas modificadas y con temperatura según el modelo clásico de cinética. Asimismo los cambios en la linealidad de Arrhenius pueden ser muy útiles en la indicación de las temperaturas que interfieren en el desarrollo normal de los frutos, y en especial para determinar la temperatura más próxima a la crítica, sin causar cambios aparentes en la calidad comercial de los frutos.

INTRODUCCIÓN

Los atributos sensoriales de los frutos, incluyendo el color, el sabor, el aroma y la textura, contribuyen en gran medida para la evaluación de su calidad por el consumidor. De estos atributos de calidad, la apariencia, principalmente el color, es de gran importancia.

El aguacate, como fruto climatérico que es, sigue evolucionando tras la recolección y durante su conservación, los frutos sufren diversos cambios físico-químicos que dependen, entre otros factores, de las

condiciones de conservación. Dentro los cambios más importantes y manifiestos que ocurren, para muchos frutos, durante la conservación y maduración, es el del color de la piel.

El resultado más común de estos cambios es la pérdida de la pigmentación verde como consecuencia de la degradación de la clorofila asociada a la síntesis o desenmascaramiento de otros pigmentos. Diversos cambios físicos químicos y de calidad de los frutos, o en otros alimentos de consumo en fresco, o mismo procesados, se desarrollan bajo las leyes de velocidad de reacción enzimática. Así, modelos matemáticos para la tasa de variación del color es de gran importancia para el diseño y optimización de los procesos de conservación (2; 3; 4).

La relación de los procesos físicos con el tiempo pueden ser descritos según el modelo clásico de cinética:

$$\frac{dP}{dt} = -kP^n \quad [1]$$

donde P representa la característica física evaluada; k es la constante que depende de las condiciones ambientales donde ocurre el proceso y n , es el orden de la reacción del cambio. Para varios procesos físicos, en productos en conservación, es difícil la distinción entre cero, primero y segundo orden, debido a la pequeña extensión de la reacción, o de la pequeña tasa de evolución del atributo estudiado. Dentro los factores de mayor importancia en la conservación de los frutos y vegetales deben ser considerados: el tiempo de post-recolección, la variedad, los pre-tratamientos y las condiciones de las atmósferas de conservación. El etileno biosintetizado autocatalíticamente por los frutos desencadena el proceso de maduración seguido de la senescencia pueden ser retrasadas manteniendo el etileno a muy bajas concentraciones en las cámaras de conservación. La pérdida del color verde es desencadenada o acelerada cuando el producto es expuesto al etileno. Recientes estudios sobre conservación de aguacates, (1), indican el importante efecto de las atmósferas exentas de etileno en retardar el proceso de maduración, consiguiendo mayor tiempo de conservación de estos frutos.

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL VEGETAL Y CONDICIONES DE ENSAYO

Se utilizó frutos de la variedad "Hass", que fueron acondicionados en cajas de plástico envueltas en bolsas selladas de polietileno de baja densidad de 0,025 mm de espesor y mantenidos a las temperaturas de +3°C, +6°C y +20°C. Para cada temperatura se establecieron dos lotes de los que uno es sin absorbedor de etileno (testigo) y otro con absorbedor permanganato potásico-sepiolita a la dosis de 9,5 g/kg de frutos. Los ensayos se establecieron

al inicio del ensayo y a los 5, 7, 9 y 11 días desde la fecha inicial para el tratamiento a +20°C y a los 11, 18, 25, 32, 39, 46, 53 y 60 días para los tratamientos a +3°C y +6°C.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

a) Color:

1 - Determinación.

La determinación objetiva del color se ha realizado mediante un colorímetro Hunter Lab D25A. Las coordenadas L, a y b se ha obtenido para la piel en tres puntos equidistantes en la zona ecuatorial del fruto en cinco frutos extraídos al azar, de cada lote. En el presente trabajo se consideró solamente la coordenada a por estar relacionada con el color verde, el más importante para el caso de aguacate cv. "Hass".

2 - Cinética:

El análisis de la cinética de la evolución del color de la piel de los frutos se basó en el modelo:

$$\frac{a_{(0)}}{a_{(t)}} = e^{kt} \quad [2]$$

donde:

$a_{(0)}$ = coordenada a en el tiempo cero.

$a_{(t)}$ = coordenada a en el tiempo t.

k = constante de la reacción (día⁻¹).

t = tiempo (día).

El cálculo de k se hace por medio de la regresión de la razón del color ($a_{(0)}/a_{(t)}$) con el tiempo. Para los aguacates cv. "Hass" la coordenada a crece con el tiempo, evidenciando la pérdida del color verde con la maduración. Para el lote Testigo a +6°C llega a cambiar de negativo a valores positivos. Con el fin de contornar los problemas de razón de color negativa, en estos casos, se trabajó con dichas razones al cuadrado, recalculando el valor de k posteriormente. Dicho procedimiento no resulta en ninguna interferencia en los valores reales de k. El método de sumar valores a la coordenada a, descrito, por (3), con el mismo objetivo a nuestro juicio, van a interferir en los valores reales de k.

La relación de la constante de la reacción con la temperatura está descrita por la ecuación de Arrhenius:

$$K = Ae^{\frac{-E}{RT}} \quad [3]$$

donde:

A = factor pre-exponencial, (día^{-1}).

E = energía de activación, ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$).

R = constante universal de los gases, ($8.31441 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

T = temperatura, (K).

Los valores del factor pre-exponencial (A) y de la energía de activación (E) son calculados por la regresión exponencial de K con T^{-1} .

b) Etileno:

Los análisis de etileno se realizó en las muestras extraídas de la atmósfera de cada lote utilizando una jeringa hipodérmica de 1 ml e inyectada en un cromatógrafo de gases Varian 3700 equipado con válvula de 6 vías y la detección se hizo por ionización de llama.

RESULTADOS

En la Tabla 1 está representada la evolución de la coordenada Hunter "a" para los distintos tratamientos.

En las Figuras 1, 2 y 3 son representadas las composiciones, con relación al etileno, de las atmósferas modificadas que han sido producidas en los envases y los valores de la coordenada a . Las concentraciones del etileno son resultado del metabolismo del propio fruto, del efecto del absorbedor y de las propias características del polietileno de las bolsas, en cuanto a su permeabilidad a los gases. Para las tres temperaturas estudiadas se puede observar la coincidencia de la evolución del color de la piel de los frutos con el acúmulo de etileno. Para el tratamiento a $+20^{\circ}\text{C}$ y a $+6^{\circ}\text{C}$, para los lotes, son similares, aunque el lote con absorbedor presenta los resultados retrasados en el tiempo, evidenciando el efecto en retardar el proceso de maduración y senescencia de los frutos.

TABLA 1 - Evolución de la coordenada Hunter "a" para los distintos tratamientos

DÍAS	3 GK	3 TE	6 GK	6 TE	20 GK	20 TE
0	-6,984	-6,984	-6,984	-6,984	-6,984	-6,984
5					-6,185	-6,148
7					-5,810	-4,909
9					-5,689	-2,245
11	-6,723	-6,907	-6,524	-6,695	-3,153	-0,974
18	-6,867	-6,400	-6,344	-6,612		
25	-6,971	-6,582	-6,679	-6,231		
32	-6,733	-6,482	-6,295	-5,917		
39	-6,740	-6,375	-6,587	-5,342		
46	-6,759	-6,263	-6,262	-4,199		
53	-6,640	-6,617	-1,987	0,567		
60	-6,664	-6,525	-0,671	0,671		

TABLA 2 - Constantes de reacción (k) para la evolución del color de la piel de cada tratamiento

TEMPERATURA (°C)	TRATAMIENTO	K (DÍA ⁻¹)
3	GK	0,001
	TE	0,001
6	GK	0,033
	TE	0,040
20	GK	0,058
	TE	0,169

En la Tabla 2 se puede observar el claro efecto de la temperatura y del tratamiento de absorción del etileno en los valores de la constante de reacción, k . Los pequeños valores y su igualdad de magnitud, para los dos lotes de la temperatura a +3°C, evidencian el bajo o nulo metabolismo de estos frutos. La escala de clasificación para los tratamientos según la constante k es: 3 GK = 3 TE < 6 GK < 6 TE < 20 GK < 20 TE, que muestra claramente las distintas tasas de evolución, en relación a la variación de temperatura y absorción de etileno.

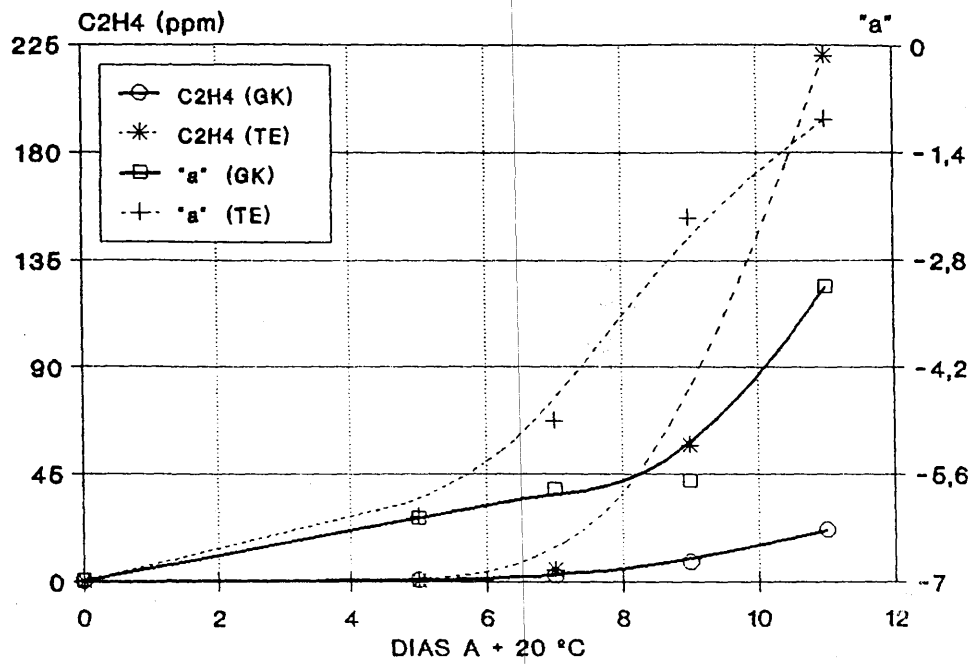


FIG.1 - Evolución de la concentración de etileno y de la coordenada "a" durante la maduración a + 20°C.

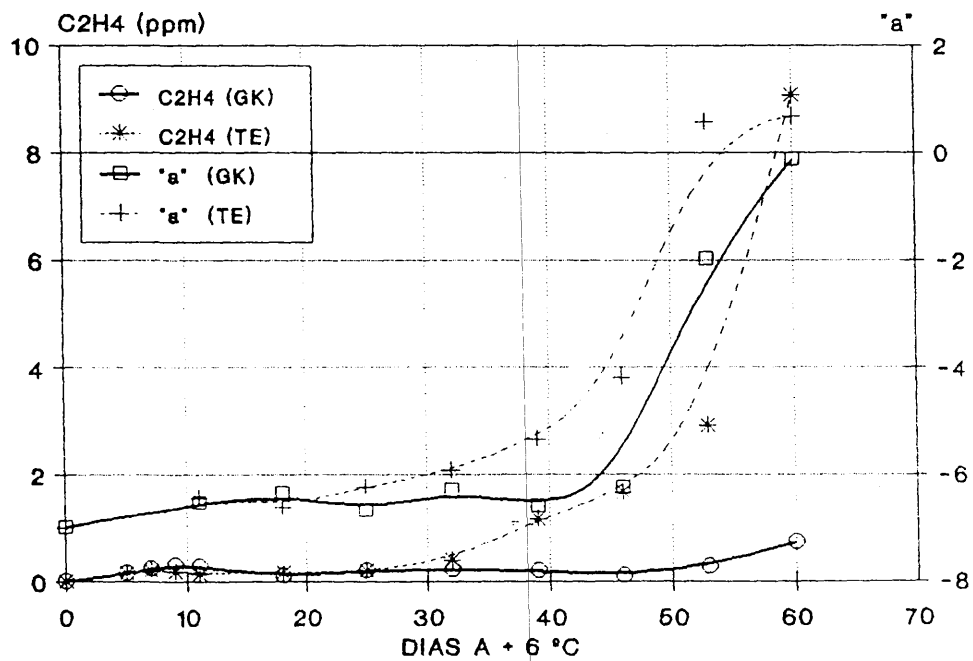


FIG.2 - Evolución de la concentración de etileno y de la coordenada "a" durante la conservación + 6°C.

TABLA 3 - Energía de activación (E) y factor pre-exponencial (A) para la evolución del color

TRATAMIENTO	E (kJ/mol)	A (DÍA ⁻¹)
GK	120,87	2,68 * 10 ²⁰
TE	164,18	4,00 * 10 ²⁸

En relación a la energía de activación, se puede verificar en la Tabla 2, el claro efecto de la absorción del etileno en disminuir el metabolismo de los frutos cuando, se observa un 40 % de superioridad del valor para el testigo en relación a dicho tratamiento. La energía de activación media calculada sin considerar la temperatura de +3°C, es de 48.92 kJ.mol⁻¹ que está dentro del rango de 40-120 kJ.mol⁻¹ para color, sabor y textura, sugerido por Saguy y Karel (1980) citados por (3).

El efecto de la temperatura de +3°C en el bloqueo de la maduración de los frutos puede ilustrarse mediante la representación de Arrhenius (Figura 4), donde se observa un cambio brusco en las pendientes de ambas rectas al pasar de la temperatura de conservación de +6°C para dicha temperatura. La quiebra de la linealidad de las representaciones indica el cambio de las tasas de desarrollos con los tratamientos a temperaturas inferiores a la temperatura crítica para estos frutos.

CONCLUSIONES

Del presente estudio puede concluirse que la evolución del color de la piel de aguacate cv. "Hass", (coordenada Hunter a) está correlacionada con las concentraciones de etileno en las atmósferas modificadas (AM) de conservación y de maduración. Puede concluirse así mismo que la evolución del color sigue el modelo clásico de cinética:

$$\frac{da}{dt} = ka \quad [4]$$

La variación de la constante de reacción k sigue el modelo de Arrhenius con E = 120.87 kJ.mol⁻¹ para los frutos en atmósferas con absorción de etileno y E = 164 kJ.mol⁻¹, para los frutos en atmósferas sin tratamiento.

Las representaciones de Arrhenius pueden indicar la temperatura que interfiere en el desarrollo normal de los frutos.

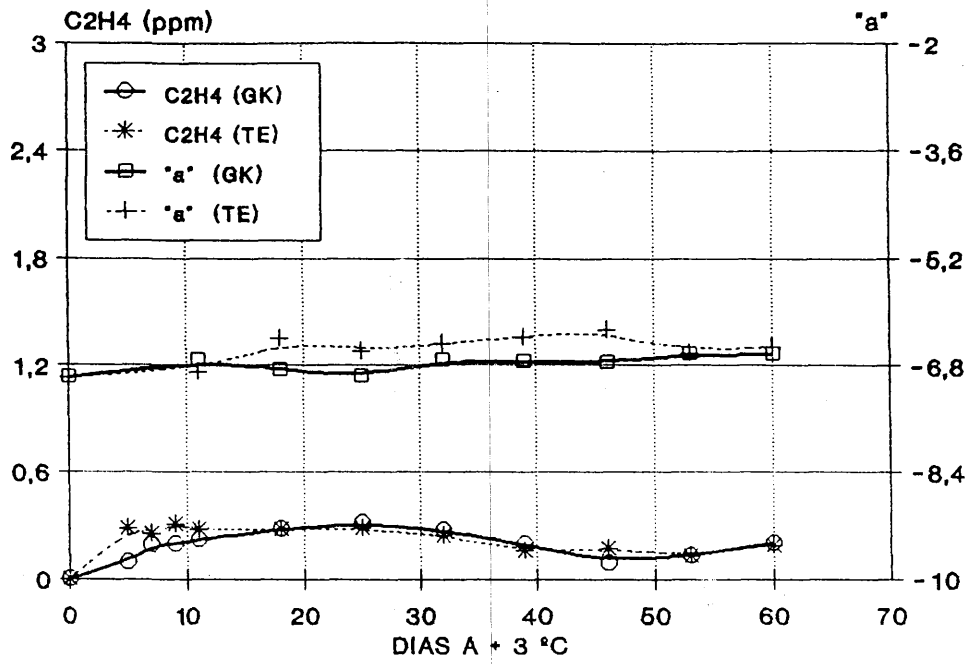


FIG.3 - Evolución de la concentración de etileno y de la coordenada "a" durante la conservación a +3°C.

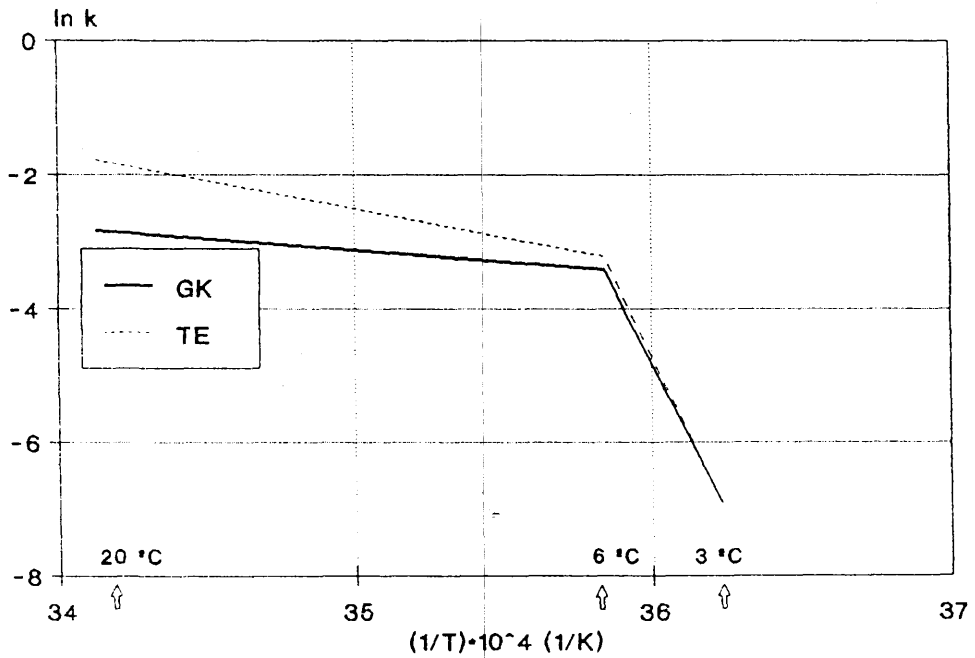


FIG. 4 - Representación de Arrhenius para la pérdida de color verde de la piel (coordenada "a").

BIBLIOGRAFÍA

- 1-Corrêa, P.C., De la Plaza, J.L. y Ruiz-Altisent, M. (1991). Ensayos no destructivos para la evaluación de la madurez post-recolección de aguacate. Conferencia Internacional de Mecanización Agraria (CIMA91), Zaragoza, abril, 1991; 499-508.
- 2-Lund, D. (1986). Kinetics of physical changes in foods. in: Physical and Chemical Properties of Food. ASAE. 367-382.
- 3-Pai, T.K. & Sastry, S.K. (1990). Effects of storage conditions on colour change of selected Properties of Food. ASAE. 367-382.
- 4-Villota, R. (1986). Kinetics of nutrients and organoleptic changes in foods during processing. In: Physical and Chemical Properties of Food. ASAE. 206-366.