

Construcción y validación de un sistema de confinamiento para la determinación de parámetros fisiológicos poscosecha en frutos climatéricos, adaptado al analizador infrarrojo de gases IRGA

Federico Nieto y Mauricio de Jesús

RESUMEN

Se diseñó y construyó un sistema de confinamiento para evaluar coeficientes metabólicos en frutos climatéricos, adaptado al analizador infrarrojo de gases Infra Red Gases Analyzer (IRGA). El sistema está constituido por una cámara de confinamiento de acrílico, el IRGA, una bomba de aire, una válvula derivadora de secado y un sistema de enfriamiento.

Asimismo, se validó el control de humedad relativa de dicho sistema. Los resultados obtenidos al respecto no mostraron diferencia significativa entre el cálculo teórico y el real, con relación al control del porcentaje de humedad relativa (HR%) a distintas temperaturas.

Este estudio forma parte de una línea de investigación que tienen como finalidad el desarrollo de retardadores de madurez fisiológica poscosecha en frutas y hortalizas, a través de la aplicación de agentes oxidantes atmosféricos (AOA).

INTRODUCCIÓN

La construcción y validación de un sistema de confinamiento para frutos, como parte esencial para la investigación de los cambios fisiológicos poscosecha, permitirá evaluar y desarrollar la efectividad del agente oxidante atmosférico (AOA) en investigaciones posteriores.

Para determinar la efectividad del AOA es necesario evaluar tres factores fisiológicos. El primero de ellos es la transpiración o eliminación de agua y la producción de bióxido de carbono (CO_2) como productos de la respiración. En los cuartos de almacenamiento, cuando la humedad relativa es baja, aumenta la transpiración y la fruta se deshidrata. En cambio, la humedad relativa elevada minimiza la transpiración y la pérdida de agua, lo que ayuda a mantener el vigor y retardar la senescencia de los productos. Sin embargo, una humedad relativa elevada también puede contribuir al crecimiento de hongos –debido a la condensación del agua en la superficie del fruto–, al crecimiento de raíces, a agrietar la piel y a que haya un mayor deterioro. Por ello, el control de la humedad relativa dentro de las cámaras de almacenamiento requiere de un cuidado especial (Comb, 1986).

El segundo factor fisiológico es la producción de etileno, que como fitohormona coordina y regula numerosos procesos del crecimiento y senescencia

de los frutos. La extrema simplicidad de su estructura química –es el hidrocarburo insaturado más sencillo (C_2H_4)– y su naturaleza gaseosa, le confieren ciertas características especiales que son únicas entre los distintos reguladores del desarrollo: su actividad biológica, la cual se produce a muy bajas concentraciones (0.01 ml/l) y afecta a un amplio espectro de procesos fisiológicos, y el hecho de que su velocidad de producción en los distintos tejidos vegetales es muy variable (del orden de 0.01 a 1 ml CO_2 / kg/h).

Sin embargo, durante las etapas de desarrollo de la planta (emergencia de semillas, maduración de ciertos frutos, marchitamiento de flores, senescencia y abscisión de hojas) puede aumentar hasta 100 ml CO_2 / kg/h, lo cual tiene un efecto decisivo para su conservación (Azcon, 1993).

El tercer elemento fisiológico se refiere a los cambios de textura y de color que surgen después de una serie de transformaciones, posteriores a la maduración del fruto, que originan cambios degradativos en los tejidos que rodean las semillas, generando como consecuencia la pérdida del fruto (Kader, 1980).

La eliminación del etileno de las cámaras de almacenamiento por medio de AOA tiene como principio la adsorción, es decir, la propiedad o capacidad de los sólidos para que sustancias específicas de una solución se concentren en la superficie del mismo. De esta forma, los componentes de soluciones gaseosas o líquidas pueden separarse unos de otros.

En el campo de las separaciones gaseosas, que es el que nos interesa en este caso, la adsorción sirve para eliminar olores o impurezas desagradables de gases industriales, como dióxido de carbono; para recuperar vapores valiosos de disolventes a partir de

mezclas diluidas con aire y otros gases; y para fraccionar mezclas de gases hidrocarburos que contienen sustancias como etileno, etano, propileno y propano. Para realizar esta operación, la mezcla que quiere separarse se pone en contacto con el sólido adsorbente, al hacerlo, la propia distribución de los componentes originales entre la fase adsorbida en la superficie sólida y el fluido permitirá que se lleve a cabo la separación (Licuotas, 1988).

La adsorción física es el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción del sólido y la sustancia adsorbida. La sustancia adsorbida no penetra dentro de la red cristalina ni se disuelve en ella, sino que permanece totalmente sobre la superficie. Si el sólido es muy poroso y contiene muchos capilares pequeños, la sustancia adsorbida penetrará en estos intersticios, si es que la sustancia humedece al sólido (León, 1982).

La adsorción química –o adsorción activa– es el resultado de la interacción química del sólido y la sustancia adsorbida: la fuerza de unión química puede variar considerablemente y es probable que no se formen compuestos químicos en el sentido usual, pero la fuerza de adhesión es generalmente mucho mayor que la observada en la adsorción física. El calor eliminado durante la quimioadsorción comúnmente es del orden de los 400 kJ/mol, por ser reacciones químicas exotérmicas.

En el proceso de desorción se puede ver que la sustancia original ha sufrido un cambio químico. La transferencia de masa que se verifica cuando el componente de una mezcla emigra en una misma fase o de una fase a otra –a causa de la diferencia de concentración entre dos puntos–, así como la difusión molecular o transporte molecular –el cual se debe a la transferencia o movimiento de moléculas individuales a través de un fluido por medio de

los movimientos individuales y desordenados de las moléculas— se explican empíricamente por medio de la difusión. El transporte en sólidos puede clasificarse en dos tipos de difusión: en la que obedece la Ley de Fick, que no depende primordialmente de la estructura del sólido, y en la difusión en sólidos porosos —en la cual la estructura real y los pasajes abiertos revisten gran importancia— denominada difusividad efectiva (Genkoplis, 1989).

OBJETIVO

Construcción y validación de la humedad relativa (HR%) de un sistema de confinamiento para la determinación de parámetros fisiológicos poscosecha en frutos climatéricos, adaptado a un analizador infrarrojo de gases (IRGA).

MATERIAL Y MÉTODOS

La construcción de la cámara de confinamiento se realizó con acrílico de 1/4 de pulgada de espesor, un sistema de suministro de aire —constituido por un bomba de aire y válvula de control— y un sistema de control de humedad relativa en el interior de la cámara, que es controlado con el empleo de sales ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, KCl, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y cuyo instrumento de medición es un higrómetro Cole Parmer. Dicho sistema cuenta con una válvula derivadora de secado en el exterior y un sistema de refrigeración con agua, que consiste en una bomba de recirculación y un serpentín colocado en el interior de la cámara, para el control de la temperatura.

Para validar la cámara de acuerdo con nuestros requerimientos, se caracterizó el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa. La tempe-

ratura se evaluó en diferentes partes de la cámara, según una distribución aleatoria, y se verificó en un rango de 25 °C a 65 °C; y la humedad relativa en el interior de la cámara se determinó en un rango de 10% a 90% HR. Para la determinación teórica de la humedad relativa, se emplearon las relaciones psicrométricas para mezclas de aire y vapor de agua. La validación del higrómetro se realizó mediante la evaluación de su precisión, sensibilidad y capacidad de repetición. El equipo cuantificador de gases (IRGA) se caracterizó tomando como patrón de referencia una concentración conocida de CO_2 , mediante un controlador de flujo y la lectura obtenida en la pantalla del equipo.

El método de calibración utilizado fue el denominado “método de calibrado absoluto”, el cual consiste en introducir mezclas de calibrado de los compuestos a estudiar (en este caso CO_2 y aire) en proporciones conocidas dentro del equipo IRGA.

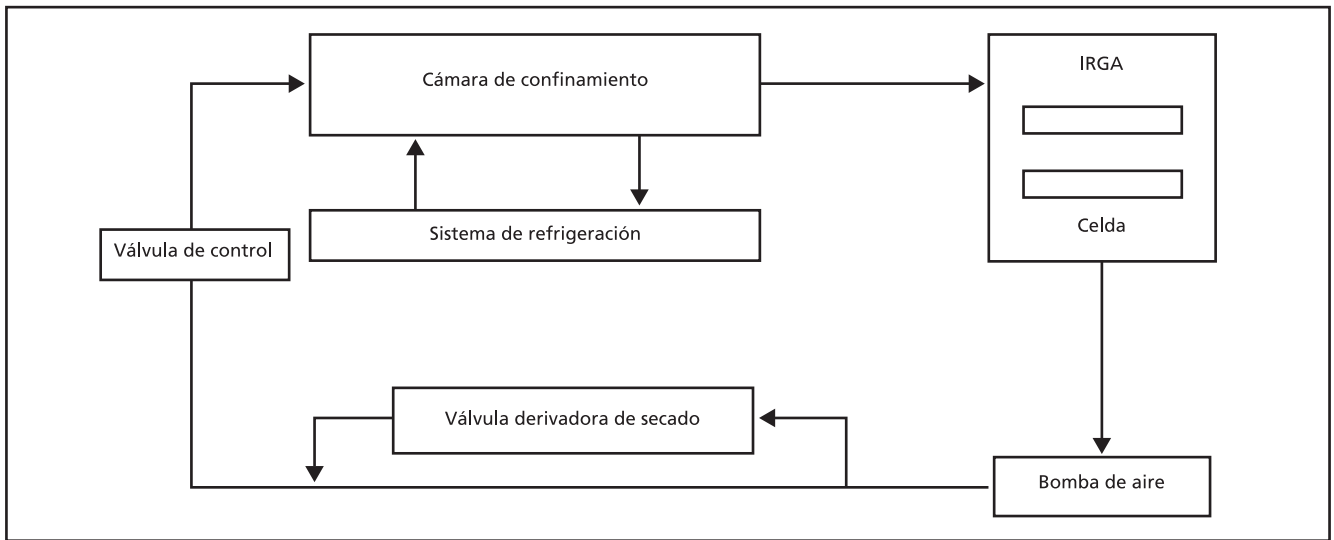
Para que los ensayos de calibrado sean válidos y puedan utilizarse con éxito en la interpretación posterior de las lecturas analíticas que se obtengan, deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Igual volumen de muestra en el calibrado y en los ensayos analíticos. En este caso, flujo constante del aire.
- La mezcla de calibrado debe contener todos los componentes que se esperan encontrar en la mezcla problema. En este caso, CO_2 , y en estudios posteriores, C_2H_4 .
- Tanto en los ensayos de calibrado como en los analíticos, se deben controlar las variables operativas a las mismas condiciones (temperatura, caudales, etcétera).

RESULTADOS

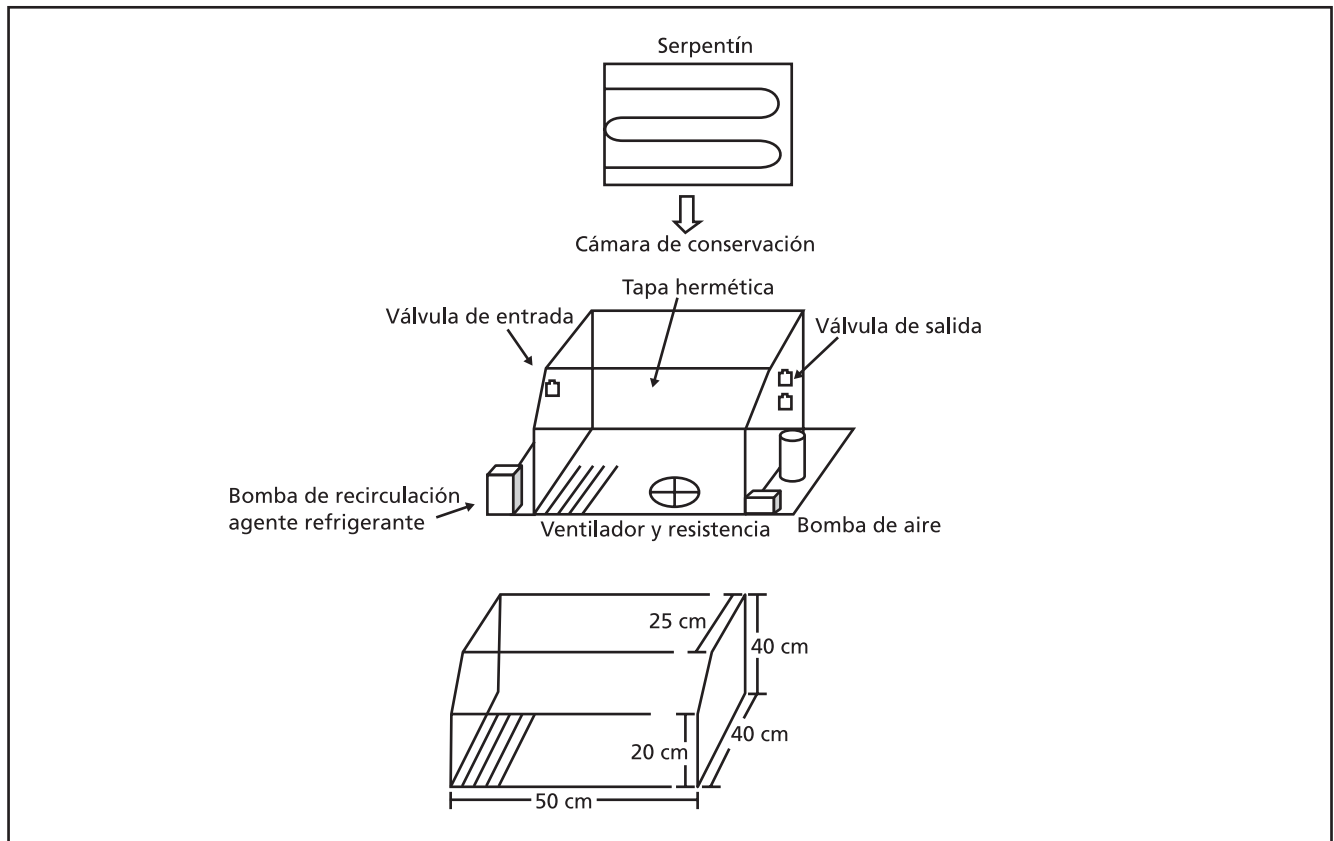
La Figura 1 muestra el esquema del sistema de confinamiento adaptado al analizador infrarrojo de gases (IRGA).

Fig. 1. Diagrama del sistema de confinamiento



La cámara de confinamiento con sus elementos constitutivos se muestra en la Figura 2.

Fig. 2. Diseño de la cámara de confinamiento (se muestran sus componentes y dimensiones)



Los resultados en cuanto a la validación de la humedad relativa y la temperatura fueron los siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Humedad relativa teórica y su humedad relativa experimental correspondiente, a diferentes temperaturas

Humedad relativa teórica	Humedad relativa experimental				
	Temperatura				
	25 °C	35 °C	45 °C	55 °C	65 °C
10	10.2	10.6	10.8	11.7	12.7
20	20.6	20.8	21.7	22.7	25.2
30	30.5	31.1	31.9	33.8	36.1
40	40.8	41.3	42.4	44.1	46.9
50	50.7	51.3	52.1	54.2	57.1
60	60.8	62.2	62.3	64.1	66.9
70	70.5	71.1	72.1	73.2	75.8
80	80.5	80.9	81.7	82.6	84.2
90	90.3	90.4	90.8	91.2	92.1
Media	50.5	51.1	51.8	53.1	55.2
Desviación estándar	27.4	27.4	27.4	27.2	27.2
Coefficiente de variación	54.2	53.7	53.0	51.3	49.2

Para la calibración del IRGA se considera que las moléculas de gases heteroatómicas (en este caso CO₂) absorben radiación infrarroja en longitudes de onda submilimétricas específicas, y que cada gas tiene un espectro de adsorción característico.

La banda principal de absorción del CO₂ se encuentra en una longitud de onda $\lambda = 4.25 \mu\text{m}$ con picos secundarios en $\lambda = 2.66, 2.77$ y $14.99 \mu\text{m}$. En el sistema confinado, el aire se bombea desde la cámara que encierra al fruto hacia el equipo IRGA, el cual registra continuamente la concentración de CO₂ en el sistema. Más tarde, el aire es reciclado a la cámara, la cual se encuentra sellada en su exterior.

Cuando el IRGA se emplea para determinar la concentración de CO₂ de una muestra de aire, se calibra con la perilla en posición absoluta; esto es, aire libre de CO₂ como referencia. Durante la calibración el aire libre de CO₂ traspasa la celda de análisis y la de referencia. El medidor de salida se pone en cero

por medio del ajuste del obturador en posición cero. Posteriormente, a través de la celda de análisis, se liberan muestras de aire de concentraciones conocidas de CO₂, empezando con la concentración más alta.

La respuesta de salida de concentración de CO₂ no es necesariamente lineal, de tal manera que se necesitan una serie de puntos que cubran la gama de fracciones molares que se vayan a analizar. Dichos puntos se obtienen usando un solo cilindro de calibración que proporcione el punto más alto de la escala; los puntos más bajos se obtienen por dilución con la mezcla de aire libre de CO₂, para lo cual se utiliza una bomba mezcladora de gases de precisión integrada al IRGA. El aire libre de CO₂ se obtiene cuando el flujo pasa a través de un sistema de filtrado que contiene hidróxido de bario, el cual también se encuentra integrado al equipo IRGA (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la calibración del equipo IRGA

Muestras de concentración conocida (ml CO ₂ /L)	Lectura de equipo IRGA (ml CO ₂ /L)
80	79.71
60	61.53
40	38.61
20	20.92
5	4.87
2	2.11
1	0.96
0.5	0.53

DISCUSIÓN

Los promedios de la humedad relativa a diferentes temperaturas mostraron una desviación absoluta de 4.7%. Sin embargo, las desviaciones estándar no mostraron una diferencia absoluta significativa (0.2%), lo cual indica la consistencia de los resultados en cuanto a su precisión. Por otro lado, se observa que los coeficientes de variación tienden a disminuir de manera proporcional al aumento de la temperatura: 54.2 (25 °C) a 49.2 (65 °C), dato que resulta congruente con las relaciones teóricas de los sistemas saturados con sales (Tabla 1).

Los resultados de la calibración del IRGA mostraron linealidad –respecto a la magnitud en la respuesta de salida y la muestra patrón– hasta alcanzar una concentración 0.5 ml CO₂/l. Dichos resultados se consideran satisfactorios en cuanto a su operación y calibración (Tabla 2).

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió establecer las condiciones de operación del sistema de confinamiento, a través de la validación del sistema de control de

humedad, temperatura y calibración del IRGA bajo diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura. En estudios posteriores, esto nos ayudará a establecer la metodología de trabajo para la evaluación de los coeficientes metabólicos y la de los frutos bajo condiciones atmosféricas modificadas por los AOA. ✪

BIBLIOGRAFÍA

- Azcon, J. (1993). *Fisiología y bioquímica vegetal*. España: Interamericana.
- Comb, B. J. (1986). *Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad*. London: Academic Press.
- Genkoplis, C. J. (1989). *Proceso de transporte y operaciones unitarias*. México: Continental.
- Kader, A. (1980). Prevención de maduración en frutas por el uso de AC. *Food Technology* (vol. 38), 51-54.
- León, F. M. (1982). *Industrialización de variedades mejoradas de mango Kent y Keit*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Licuotas, T. (1988). Cambios de control en empaque de AM. Una perspectiva de una compañía de alimentos. *Food Technology* (vol. 42), 78-86.