

## INTRODUCCIÓN



• La borraja, por su alto valor nutricional y tiempo que requiere su preparación, es un vegetal adecuado para comercializarse como mínimamente procesado, necesitando un envasado en atmósfera modificada (Alcúson, Remón y Salvador, 2017).

• Para diseñar adecuadamente el envase de este producto es clave conocer su actividad respiratoria.



• Existe un amplio abanico de opciones para la monitorización de la composición gaseosa en la cámara de respiración (sensores electroquímicos infrarrojos, ultrasónicos u ópticos). Estos sensores requieren de un microcontrolador que permita canalizar y controlar y registrar la información que nos proporcionan.



• Se utilizó un respirómetro diseñado por los autores para determinar la actividad respiratoria de tallos de borraja mínimamente procesados (González-Buesa y Salvador, 2019).

## MATERIAL BIOLÓGICO

Selección de tallos en buen estado

Corte en trozos (5 cm), cuchillo (5% ascórbico)

Lavado con agua fría (100 ppm NaClO) durante 5'

Aclarado

Centrifugado

Introducir 300 g en la cámara de respiración a 4 °C



• Borraja (*Borago officinalis* L.) de flor blanca, cv Movera

• Suministrada por la empresa *Hermanos Mene*

Diagrama de procesado de la borraja previo a la determinación de la actividad respiratoria

## RESPIRÓMETRO: Portátil, de bajo coste, completamente flexible y basado en software de código abierto

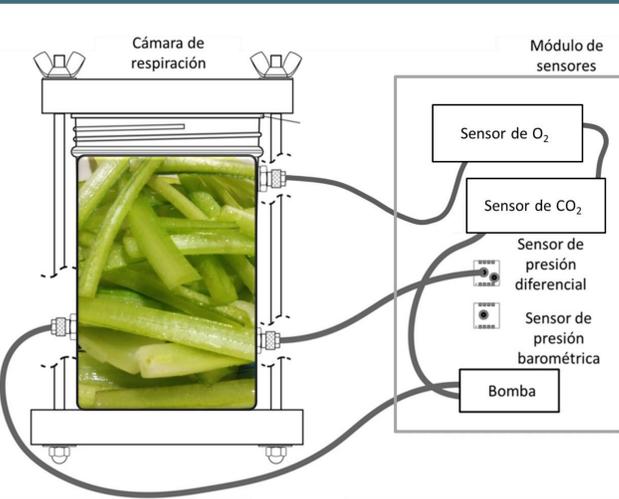


Figura 1. Diagrama del respirómetro.

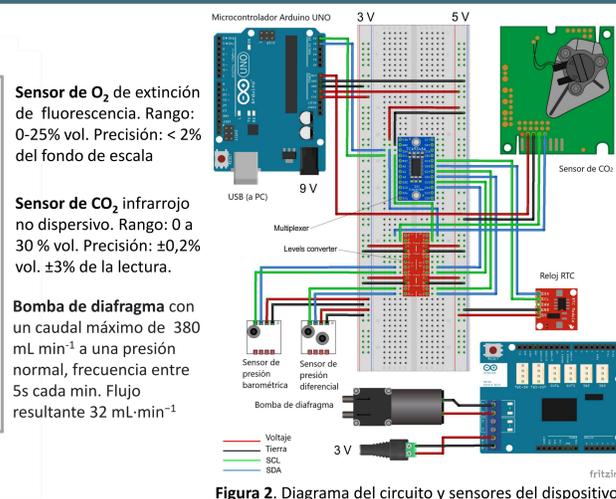


Figura 2. Diagrama del circuito y sensores del dispositivo (González-Buesa y Salvador, 2019).

Elemento	Marca	Modelo	Nº	Fuente
Microcontrolador	Arduino CC	UNO v3	1	www.diotronic.com
Motor shield	Arduino CC	Motor shield v3	1	www.diotronic.com
Adaptador de potencia	-	9V 1A	1	www.ebay.com
Sensor de CO <sub>2</sub>	SenseAir AB	BLG	1	www.sensorstecnic.net
Sensor de O <sub>2</sub>	CO2meter	UV Flux 25%	1	www.co2meter.com
Sensor de presión barométrica	Analog microelectronics	AMS 5915-1200-B	1	www.analog-micro.com
Sensor de presión relativa	Analog microelectronics	AMS 5915-0100-D-B	1	www.analog-micro.com
Cable TTL	FTDI chip	TTL-232R-3V3	1	www.ftdichip.com
Reloj RTC	Tiny RTC	-	1	www.ebay.com
Convertidor de nivel lógico	XCOURCE	TE291	1	www.amazon.es
Multiplexor	Adafruit	TCA9548A	1	www.ebay.com
Placa del circuito	-	-	5	www.diotronic.com
Cable de conexión	-	-	50	www.diotronic.com
Bomba	Thomas Pump	2002VD/0,5/E/DC 4.5	1	www.gd-thomas.com
Frasco	Le Parfait	FAMILIA WISS, 110 mm	1	www.juvasa.com
Juntas de cierre	Le Parfait	FAMILIA WISS, 110 mm	1	www.juvasa.com
Sistema de cierre	Own design	-	1	www.jaimelgb.com
Conectores	IMI Norgren	241250418	3	www.imi-precision.com
Tubos	Legris	1025U04R04	1 m	www.anlo.es

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

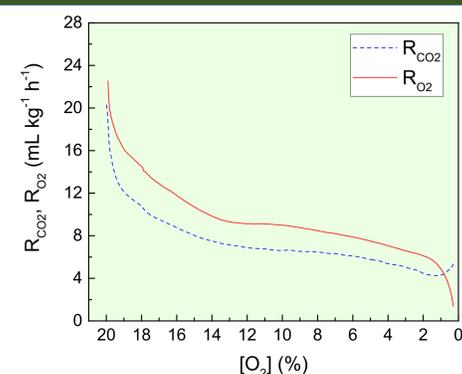


Figura 3. Evolución a 4 °C de la velocidad de consumo de O<sub>2</sub>, R<sub>CO2</sub>, y de producción de CO<sub>2</sub>, R<sub>CO2</sub>, con la concentración de oxígeno, [O<sub>2</sub>], a 4 °C.

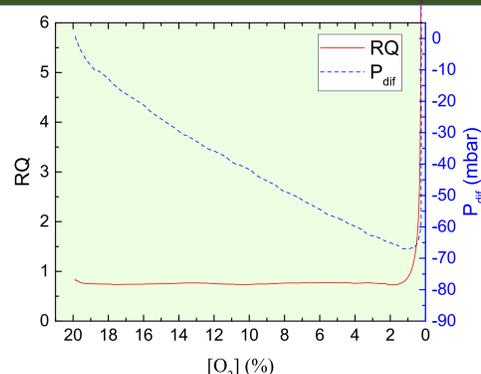


Figura 4. Evolución del coeficiente respiratorio, RQ, y de la presión diferencial, P<sub>diff</sub>, con la concentración de oxígeno, [O<sub>2</sub>], a 4 °C.

La velocidad de producción de CO<sub>2</sub>, R<sub>CO2</sub>, y de consumo de O<sub>2</sub>, R<sub>O2</sub>, se calcularon utilizando las siguientes expresiones:

$$R_{CO_2} = \frac{1}{W} \frac{([CO_2]_{t_2} - [CO_2]_{t_1})}{t_2 - t_1} \frac{1}{100 - V} \quad (1) \quad R_{O_2} = \frac{1}{W} \frac{([O_2]_{t_1} - [O_2]_{t_2})}{t_2 - t_1} \frac{1}{100 - V} \quad (2)$$

donde, [CO<sub>2</sub>]<sub>t<sub>2</sub></sub> y [CO<sub>2</sub>]<sub>t<sub>1</sub></sub> son las concentraciones de dióxido de carbono (%) a los tiempos t<sub>2</sub> y t<sub>1</sub> (h), respectivamente; de forma análoga [O<sub>2</sub>]<sub>t<sub>2</sub></sub> y [O<sub>2</sub>]<sub>t<sub>1</sub></sub> las concentraciones de oxígeno (%) a esos mismos tiempos; W (kg) la masa de tallos de borraja y V (mL) el volumen libre de la cámara de respiración.

Figura 3

• En aire, la velocidad de respiración a 4 °C es de 20 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 22 mL O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Estos valores son superiores a los de otros productos mínimamente procesados como judías verdes cortadas (15 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 5 °C), pero inferiores a los de la lechuga iceberg cortada (35 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 6 °C), (Deza-Durand y Petersen., 2011).

• Cuando la concentración de O<sub>2</sub> en el interior de la cámara de respiración se reduce, desde un 21 hasta un 14 %, se produce un rápido descenso de la velocidad de respiración hasta 7 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 8,5 mL O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Figura 4

• RQ es menor que 1 en prácticamente todo el intervalo de concentraciones de O<sub>2</sub>. Este hecho es el responsable de que la presión diferencial tome valores negativos disminuyendo de forma lineal con la concentración de O<sub>2</sub>.

• A concentraciones de oxígeno en torno al 1 %, RQ comienza a tomar valores mayores de 1 y simultáneamente la presión diferencial deja de disminuir, lo que podría indicar la iniciación de rutas metabólicas anaerobias.

## CONCLUSIONES

- Mediante un respirómetro novedoso se ha determinado la actividad respiratoria de un producto poco estudiado como son los tallos borraja mínimamente procesados.
- La velocidad de respiración de los tallos de borraja a 4 °C se frena considerablemente a concentraciones de O<sub>2</sub> por debajo del 14 %.
- Los resultados muestran el potencial de la medida de la presión diferencial como indicador de cambios en el coeficiente respiratorio.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Unión Europea a través del séptimo programa marco (FP7/2007-2013) (People Programme, Marie Curie Actions, REA grant agreement nº 332201) y por el Departamento de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento del Gobierno de Aragón a través del reconocimiento y subvención a la actividad investigadora del Grupo de investigación A22-20R.

## REFERENCIAS

1. Alcúson, G., Remón, S., Salvador, M.L. (2017). Quality related aspects of sous-vide processing of borraja (*Borago officinalis* L.) stems. LWT-Food Sci. Technol. 85: 104-109.
2. Deza-Durand, K.M., Petersen, M.A. (2011). The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). Postharvest Biol. Technol. 61: 83-90.
3. González-Buesa, J. and Salvador, M.L. (2019). An Arduino-based low cost device for the measurement of the respiration rates of fruits and vegetables. Comput. Electron. Agr. 162: 14-20.

## **Actividad respiratoria de tallos de borraja (*Borago officinalis* L.) mínimamente procesados.**

D. Naval, J. González-Buesa y M.L. Salvador

Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal, Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2-(Universidad de Zaragoza-CITA), Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza. E-mail: mlsalva@unizar.es (M.L. Salvador)

### **Resumen**

**El objetivo de este trabajo fue determinar experimentalmente la actividad respiratoria, en sistema cerrado, de tallos de borraja mínimamente procesados utilizando un respirómetro portátil, de bajo coste, completamente configurable, flexible, basado en software de código abierto y diseñado por los autores. El dispositivo es modular de manera que los sensores están situados fuera de la cámara de respiración del producto, conectados por un circuito cerrado y permite la medida en continuo de la concentración de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub>, así como de la presión diferencial. A partir de estas medidas se determinó la velocidad de respiración a 4 °C de los tallos de borraja en aire (20 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> y 22 mL O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) y su evolución con la concentración de O<sub>2</sub>. Los resultados indican que un envase que reduzca la concentración de O<sub>2</sub> por debajo del 14 % es suficiente para ralentizar la actividad metabólica de los tallos de borraja al 35-38 % del valor inicial en aire. La concordancia entre el coeficiente respiratorio y la presión diferencial ofrece la posibilidad de utilizar esta medida como indicativa de cambios metabólicos.**

**Palabras clave:** Arduino, coeficiente respiratorio, microcontrolador, respirómetro, velocidad de respiración.

### **INTRODUCCIÓN**

La borraja, por su alto valor nutricional (Alcusón, Remón y Salvador, 2017) y tiempo que requiere su preparación, es un vegetal adecuado para comercializarse como mínimamente procesado, necesitando un envasado en atmósfera modificada. Para diseñar adecuadamente el envase de este producto es clave conocer su actividad respiratoria. La metodología para su determinación está experimentando cambios muy importantes. Aunque el método de sistema cerrado sigue siendo el más utilizado, existe un amplio abanico de opciones para la monitorización de la composición gaseosa de la cámara de respiración mediante sensores electroquímicos infrarrojos, ultrasónicos u ópticos. Estos sensores requieren de un microcontrolador que permita canalizar y controlar y registrar la información que nos proporcionan (González-Buesa y Salvador, 2019). En este trabajo se utilizó un respirómetro diseñado por los autores para minimizar los inconvenientes de los existentes, y con él se determinó la actividad respiratoria de tallos de borraja mínimamente procesados.

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **Material biológico**

Se utilizó borraja (*Borago officinalis* L.) de flor blanca, cv Movera, cultivada en invernadero. Los tallos se cortaron en trozos de 5 cm mediante un cuchillo cerámico que se bañó en una disolución de ác. ascórbico al 2 % para reducir el pardeamiento enzimático. Se lavaron en agua fría a 4 °C con una disolución de hipoclorito sódico de 100 ppm durante 5 min, se aclararon y se centrifugaron manualmente. Los tallos (300 g) se introdujeron en la cámara de respiración para la medida de su actividad respiratoria a 4 °C. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

### Respirómetro

El sistema está formado por una cámara de respiración conectada al módulo donde están ubicados los sensores mediante un sistema cerrado. En la Fig. 1 se muestra un esquema general del dispositivo. La cámara de respiración se compone de un frasco de vidrio hermético. Mediante una bomba de diafragma (Gardner Denver Thomas GmbH, 2002VD / 0.5 / E / DC, Puchheim, Alemania) y un microcontrolador de motor (Arduino motor shield rev3, Arduino SRL, Strambino, Italia) se bombea el gas de la cámara hacia el módulo de los sensores, de donde retorna de nuevo a la cámara de respiración.

En el módulo de los sensores dispone de un sensor de CO<sub>2</sub> que utiliza una tecnología de ondas infrarrojas no dispersiva (NDIR) (ABC Engine Engine BLG, Senseair AB, Delsbo, Suecia). Para la medida de la concentración de O<sub>2</sub> cuenta con un sensor de extinción de fluorescencia LuminOx (Flujo UV 25 %, CO2meter Inc., Florida, EE.UU). La medida de la presión diferencial se realiza mediante un sensor de presión bidireccional (AMS 5915-0100-D-B, Analog Microelectronics GmbH, Mainz, Alemania). La presión barométrica se mide con un sensor AMS 5915-1200-B (Analog Microelectronics GmbH, Mainz, Alemania). Todos los sensores y dispositivos se alimentan y se controlan directamente a través de un Arduino UNO (Arduino SRL, Strambino, Italia).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previamente al cálculo de la tasa respiratoria, los valores de la concentración de CO<sub>2</sub> y de O<sub>2</sub> que suministran los sensores se corrigieron siguiendo las instrucciones de los fabricantes para tener en cuenta su dependencia con la presión. La velocidad de producción de CO<sub>2</sub>,  $R_{CO_2}$ , y de consumo de O<sub>2</sub>,  $R_{O_2}$ , se calcularon utilizando las siguientes expresiones (Fonseca, Oliveira y Brecht, 2002):

$$R_{CO_2} = \frac{1}{W} \frac{([CO_2]_{t_2} - [CO_2]_{t_1})}{t_2 - t_1} \frac{1}{100 \cdot V} \quad (1)$$

$$R_{O_2} = \frac{1}{W} \frac{([O_2]_{t_1} - [O_2]_{t_2})}{t_2 - t_1} \frac{1}{100 \cdot V} \quad (2)$$

donde,  $[CO_2]_{t_2}$  y  $[CO_2]_{t_1}$  son las concentraciones de dióxido de carbono (%) a los tiempos  $t_2$  y  $t_1$  (h), respectivamente; de forma análoga  $[O_2]_{t_2}$  y  $[O_2]_{t_1}$  las concentraciones de oxígeno (%) a esos mismos tiempos;  $W$  (kg) la masa de tallos de borraja y  $V$  (mL) el volumen libre de la cámara de respiración.

Las velocidades de respiración obtenidas como medias de las réplicas se muestran en la Fig. 2 en función de la concentración de O<sub>2</sub>. En aire, la velocidad de respiración es de 20 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 22 mL O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Estos valores son superiores a los de otros productos mínimamente procesados como judías verdes cortadas (15 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 5 °C), pero inferiores a los de la lechuga iceberg cortada (35 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 6 °C), (Deza-

Durand et al., 2011). Cuando la concentración de O<sub>2</sub> en el interior de la cámara de respiración se reduce, desde un 21 hasta un 14 %, se produce un rápido descenso de la velocidad de respiración hasta 7 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 8,5 mL O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

El coeficiente respiratorio,  $RQ$ , se determinó como cociente entre la velocidad de producción de CO<sub>2</sub> y la de consumo de O<sub>2</sub>. En la Fig. 3 se muestra su evolución y la de la presión diferencial.  $RQ$  es menor que 1 en prácticamente todo el intervalo de concentraciones de O<sub>2</sub>. Este hecho es el responsable de que la presión diferencial tome valores negativos disminuyendo de forma lineal con la concentración de O<sub>2</sub>. A concentraciones de oxígeno en torno al 1 %,  $RQ$  comienza a tomar valores mayores de 1 y simultáneamente la presión diferencial deja de disminuir, lo que podría indicar cambios metabólicos y la iniciación de rutas metabólicas.

## CONCLUSIONES

Mediante un respirómetro novedoso, de bajo coste, modular, totalmente configurable, flexible y basado en software de código abierto, se ha determinado la actividad respiratoria de un producto poco estudiado como son los tallos borraja mínimamente procesados. Los resultados indican que velocidad de respiración de este producto se frena considerablemente a concentraciones de O<sub>2</sub> por debajo del 14 %. Los resultados muestran el potencial de la medida de la presión diferencial como indicador de cambios en el coeficiente respiratorio.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Unión Europea a través del séptimo programa marco (FP7/2007-2013) (People Programme, Marie Curie Actions, REA grant agreement n° 332201).

## REFERENCIAS

- Alcusón, G., Remón, S., Salvador, M.L. (2017). Quality related aspects of sous-vide processing of borage (*Borago officinalis* L.) stems. *LWT-Food Sci. Technol.* 85: 104-109.
- Deza-Durand, K.M., Petersen, M.A. (2011). The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.)". *Postharvest Biol. Technol.* 61: 83-90.
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R. and Brecht, J.K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *J. Food Eng.* 52: 99-119.
- González-Buesa, J. and Salvador, M.L. (2019). An Arduino-based low cost device for the measurement of the respiration rates of fruits and vegetables. *Comput. Electron. Agr.* 162: 14-20.

## FIGURAS

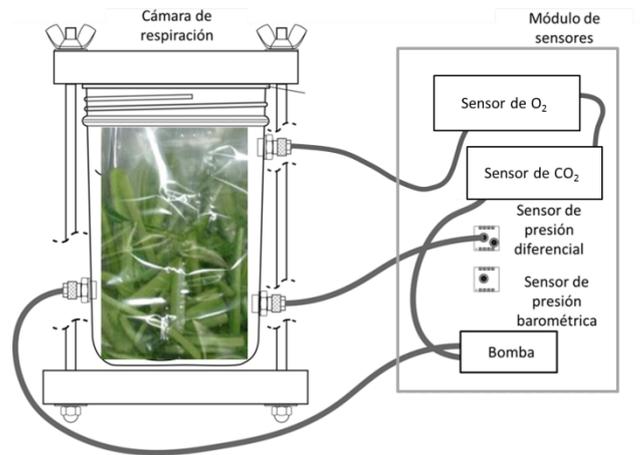


Fig. 1. Esquema del respirómetro.

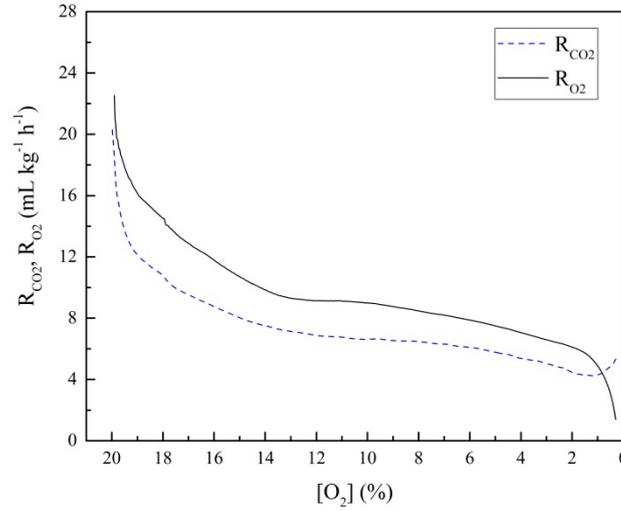


Fig. 2. Evolución de la velocidad de consumo de O<sub>2</sub>, R<sub>O<sub>2</sub></sub>, y de producción de CO<sub>2</sub>, R<sub>CO<sub>2</sub></sub>, con la concentración de oxígeno, [O<sub>2</sub>].

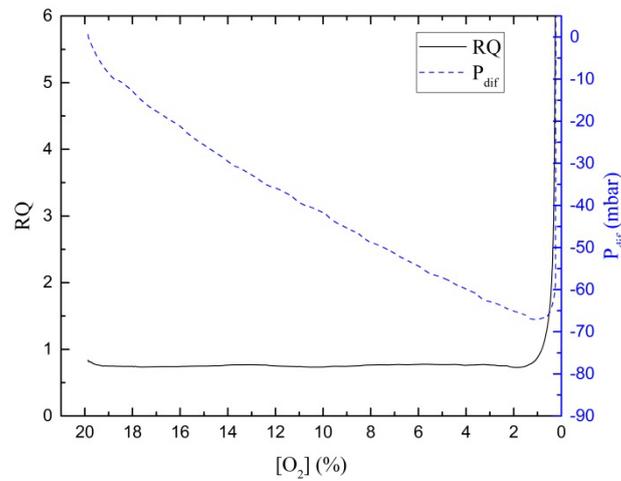


Fig. 3. Evolución del coeficiente respiratorio, RQ, y de la presión diferencial, P<sub>dif</sub>, con la concentración de oxígeno, [O<sub>2</sub>].