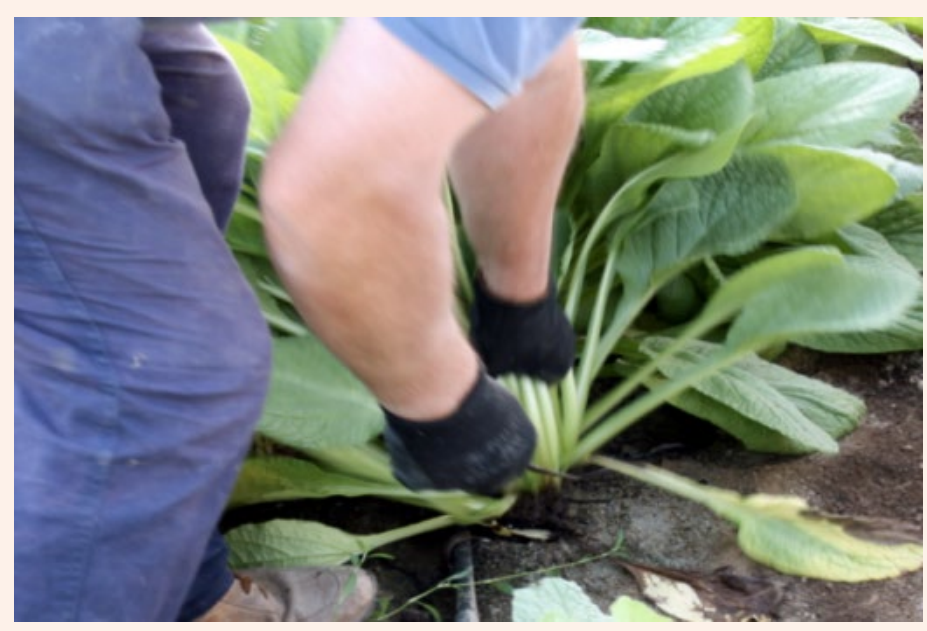


INTRODUCCIÓN



• 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

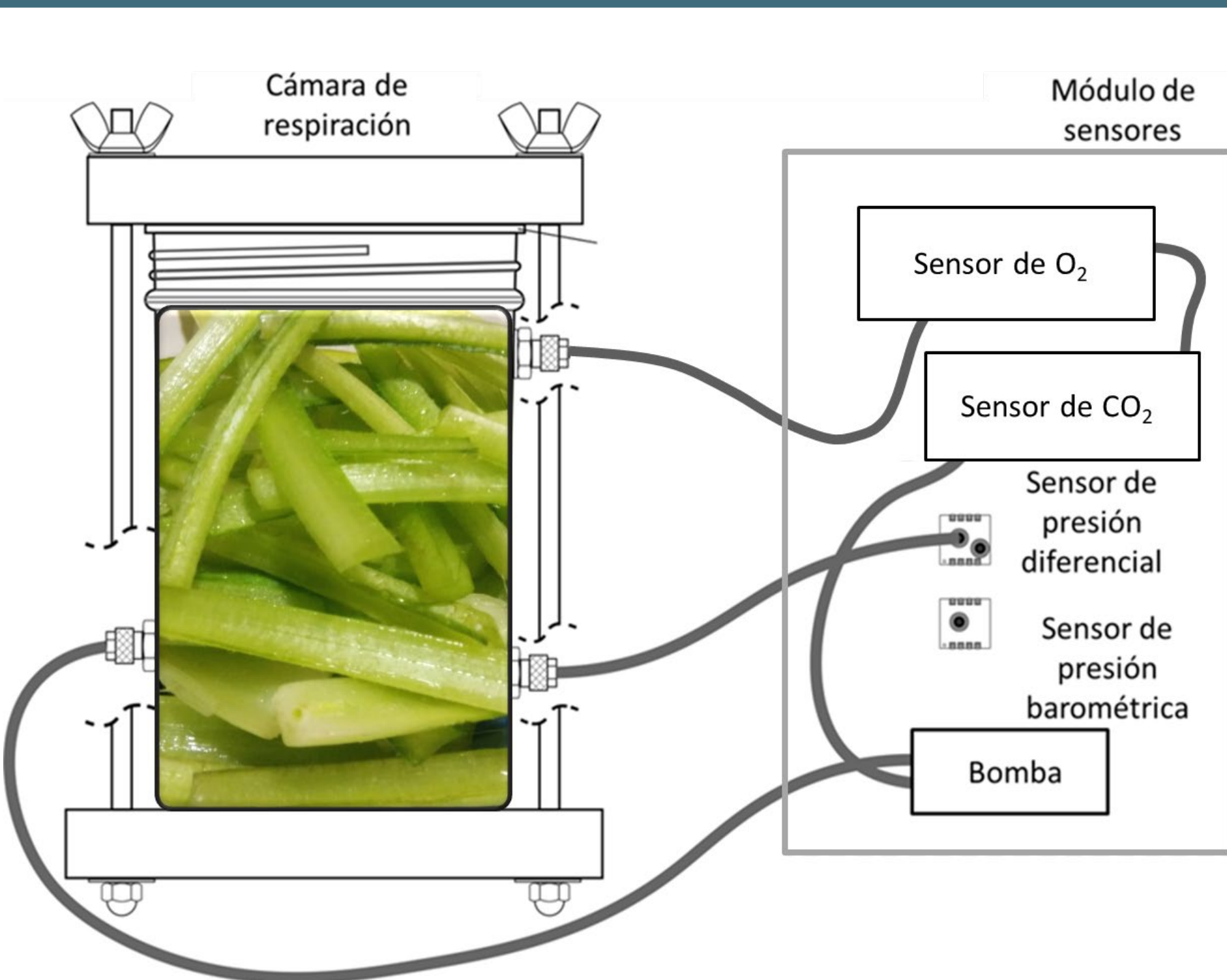


Figura 1. Diagrama del respirómetro.

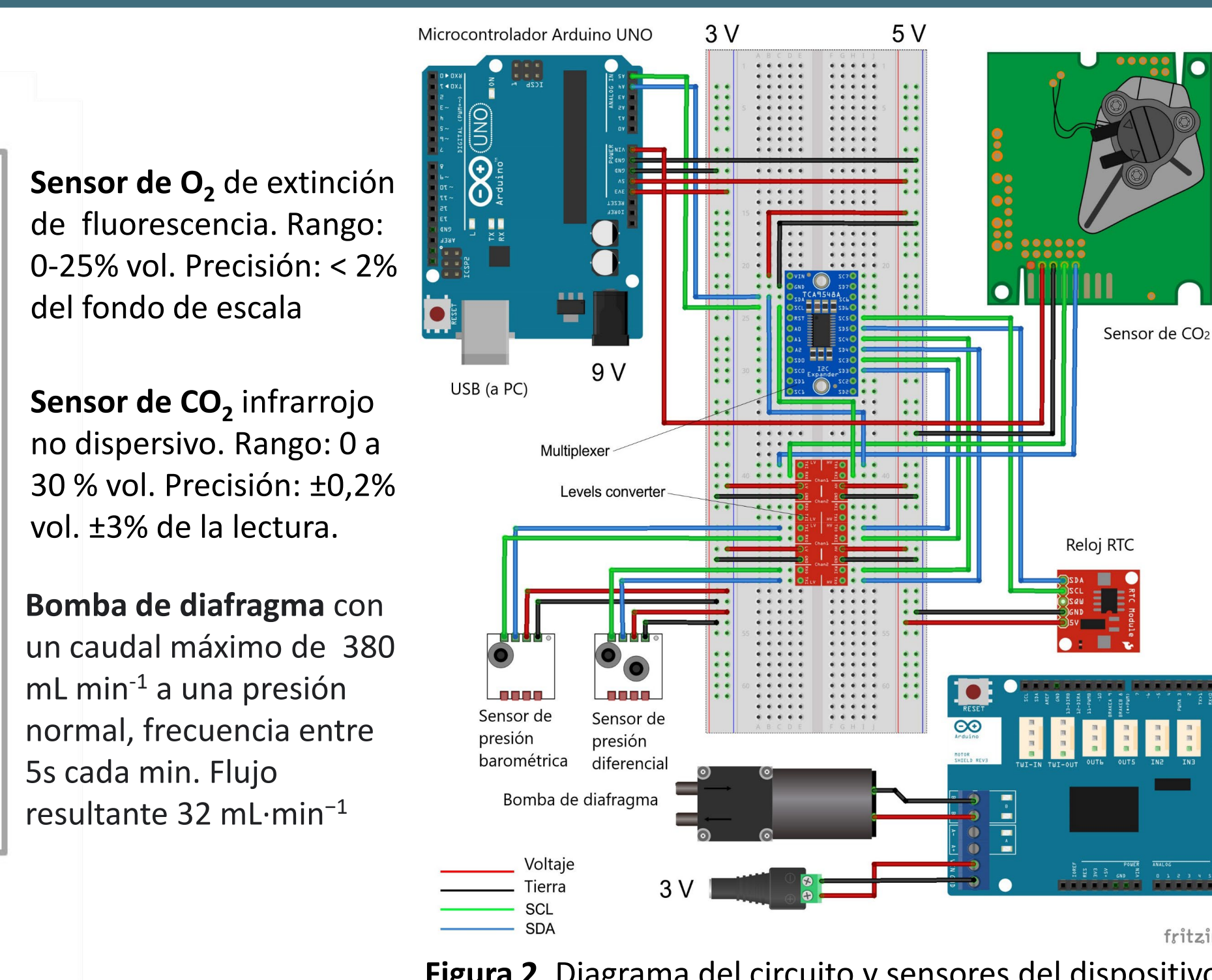


Figura 2. Diagrama del circuito y sensores del dispositivo (González-Buesa y Salvador, 2019).

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 ₂	SenseAir AB	BLG	1	www.sensorstecnic.net
Sensor de O ₂	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

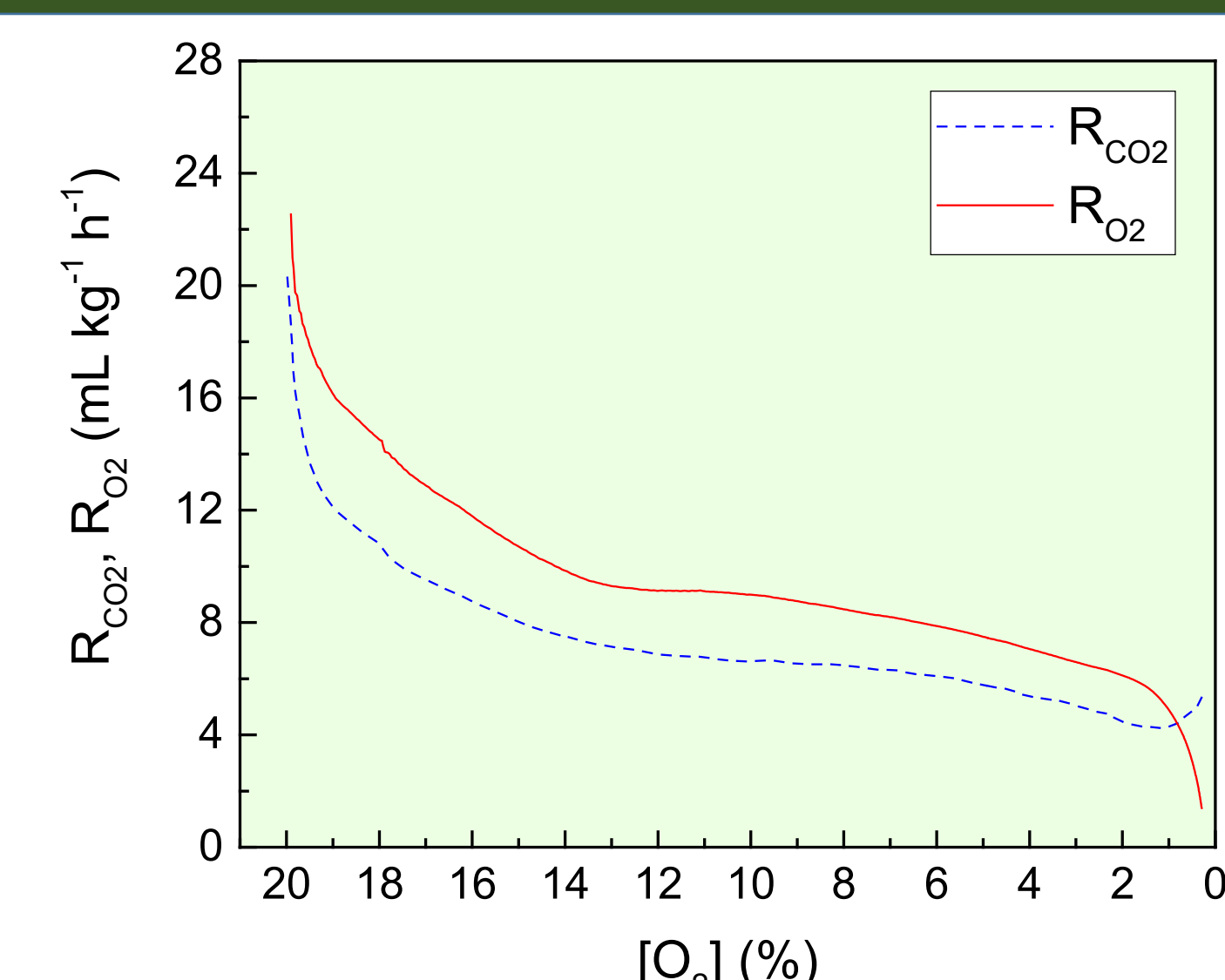


Figura 3. Evolución a 4 °C de la velocidad de consumo de O₂, R_{CO₂}, y de producción de CO₂, R_{CO₂}, con la concentración de oxígeno, [O₂], a 4 °C.

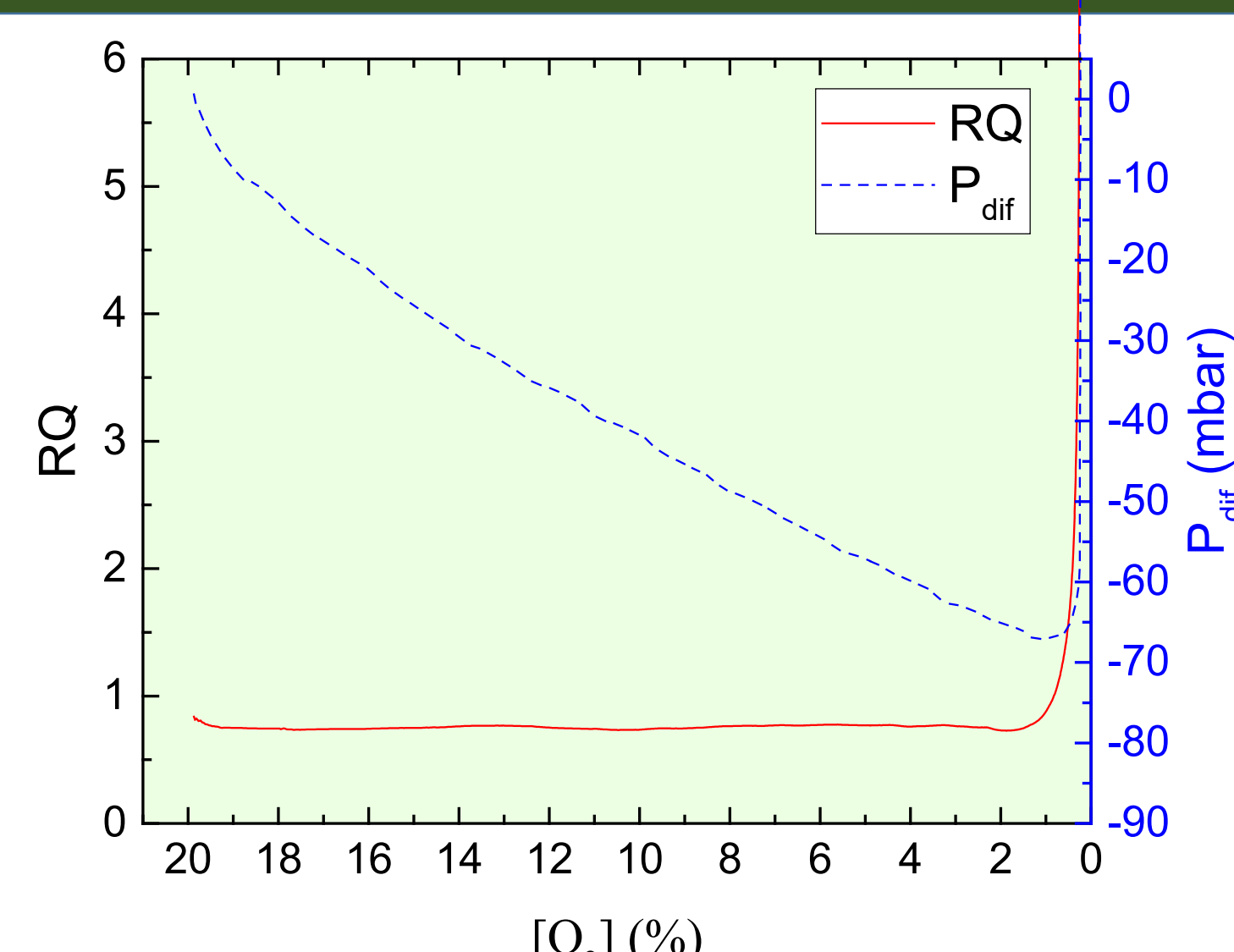


Figura 4. Evolución del coeficiente respiratorio, RQ, y de la presión diferencial, P_{diff}, con la concentración de oxígeno, [O₂], a 4 °C.

La velocidad de producción de CO₂, R_{CO₂}, y de consumo de O₂, R_{O₂}, se calcularon utilizando las siguientes expresiones:

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

donde, [CO₂]_{t₂} y [CO₂]_{t₁} son las concentraciones de dióxido de carbono (%) a los tiempos t₂ y t₁ (h), respectivamente; de forma análoga [O₂]_{t₂} y [O₂]_{t₁} 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 CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 22 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹. Estos valores son superiores a los de otros productos mínimamente procesados como judías verdes cortadas (15 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 5 °C), pero inferiores a los de la lechuga iceberg cortada (35 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 6 °C), (Deza-Durand y Petersen., 2011).

• Cuando la concentración de O₂ 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 CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 8,5 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Figura 4

• RQ es menor que 1 en prácticamente todo el intervalo de concentraciones de O₂. Este hecho es el responsable de que la presión diferencial tome valores negativos disminuyendo de forma lineal con la concentración de O₂.

• 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 O₂ 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 borage (*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.