



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2697			
Título del proyecto: : DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN RESPIRÓMETRO PARA ANALIZAR LA FISILOGIA POST-COSECHA DE FRUTAS Y VEGETALES			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería de Alimentos			
Grupo (s) de investigación: GIPAB y Bionanoelectrónica			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Carlos Antonio Vélez Pasos	4 h/s 12 meses	4 h/s 12 meses
Coinvestigadores	Jaime Velasco Medina	4 h/s 12 meses	20 h/s 12 meses
	Carlos Andrés Gómez García	20 h/s 12 meses	20 h/s 12 meses
	Karen Johana Ortega	20 h/s 12 meses	20 h/s 12 meses
Otros participantes			

1. Resumen ejecutivo:

En este proyecto se diseñó e implementó un Respirómetro de medición directa para analizar la fisiología post-cosecha de frutas y vegetales. El Respirómetro posee una cámara hermética, cuya atmósfera interior es monitoreada mediante sensores de O₂, CO₂, temperatura y humedad relativa. El aire de la cámara se renueva periódicamente mediante una bomba para mantener los niveles normales de O₂, CO₂. El equipo posee una interfaz de usuario que establece la comunicación entre el computador y la unidad hardware de control y medición, permitiendo adquirir los datos para su visualización y almacenamiento. La unidad hardware tiene como elemento central el microcontrolador reprogramable PSoC, con el cual se realiza la adquisición y adecuación de las señales entregadas por los sensores, además del control de la bomba de aire y las válvulas de entrada y salida usadas en la renovación de atmósfera. La precisión del sistema es determinada por la precisión de los sensores, y las mediciones pueden realizarse en pocos minutos o durante semanas. Con el propósito de verificar el funcionamiento del equipo, los cambios en las tasas de respiración de bananos y raíces de yuca fueron monitoreados durante diez días. Los resultados mostraron bajos niveles de varianza entre repeticiones y fueron comparables con datos publicados en la literatura.

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

1.1. Planteamiento del problema

Los productos agrícolas una vez cosechados experimentan cambios fisiológicos, entre ellos el principal es la respiración, proceso en el cual consumen sus reservas de carbohidratos en función de las condiciones ambientales, lo que inexorablemente los conduce a un deterioro final. Por ello es importante monitorear los cambios fisiológicos de tal forma que su identificación suministre información importante para minimizar el deterioro y por lo tanto aumentar su vida útil.

Por lo tanto, en este proyecto se desarrolló un respirómetro basado en circuitos programables de señal mixta, el cual tiene tres componentes: Un modulo físico (recipiente hermético, ventiladores, bombas, válvulas), una unidad hardware (conformado por los sensores, reles de potencia y la tarjeta de electrónica de procesamiento y control) y un desarrollo software (interfaz de usuario desarrollada para computadores Windows).

2. Síntesis del proyecto:

2.2. Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un respirómetro a nivel de prototipo para la medición de gases provenientes de la respiración de productos agrícolas.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar el microsistema hardware para la adquisición, adecuación, digitalización y procesamiento de las señales obtenidas desde los sensores de temperatura, humedad, oxígeno y dióxido de carbono.
- Diseñar y fabricar el modulo físico compuesto por una bomba de aire y un recipiente hermético, necesario para la aplicación.
- Desarrollar e implementar una interfaz de usuario para para la calibración del microsistema hardware, y la visualización del valor de los niveles de oxígeno y dióxido de carbono.
- Realizar las respectivas pruebas para verificar el correcto funcionamiento del respirómetro y comparar los resultados con un equipo certificado de características similares

2.3. Metodología

El proyecto se realizó en cuatro etapas descritas a continuación:

1. Consulta bibliográfica y estado del arte de los equipos y técnicas utilizadas en la actualidad para conocer la tasa de respiración de productos agrícolas.
2. Diseño e implementación el microsistema hardware para la medición de la temperatura y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.

3. Diseño e implementación del módulo físico que permita realizar la medición de manera adecuada y confiable de la temperatura y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.
4. Desarrollo de la interfaz de usuario por medio de la cual se visualizan y almacenan las mediciones de la temperatura y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.
5. Verificación del prototipo con dos productos biológicos: banano y yuca.

Tabla 1. Cuadro de actividades realizadas durante el proyecto

Objetivo Específico N°	Actividades desarrolladas
1. Diseñar e implementar el microsisistema hardware para la adquisición, adecuación, digitalización y procesamiento de las señales obtenidas desde los sensores de temperatura, humedad, oxígeno y dióxido de carbono.	<i>Actividad 1.1.</i> Se revisaron los sensores de temperatura, humedad y concentración de oxígeno y dióxido de carbono. <i>Actividad 1.2.</i> Se seleccionaron los sensores según el rango de medición necesario para productos biológicos y otras características técnicas para su implementación. <i>Actividad 1.3.</i> Se seleccionó la tarjeta de desarrollo basada en PSoC. <i>Actividad 1.4.</i> Se integraron los sensores a la tarjeta de desarrollo, para adquirir y adecuar las señales. <i>Actividad 1.5.</i> Se diseñó e implementó un dispositivo en vidrio para calibrar los sensores.
2. Diseñar y fabricar el modulo físico compuesto por una bomba de aire y un recipiente hermético necesario para la aplicación.	<i>Actividad 2.1.</i> Se diseñó la cámara del Respirómetro evaluando su nivel de hermeticidad. <i>Actividad 2.2.</i> Se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento de la bomba de aire adecuada al sistema evaluando presiones de entrada y salida inyectadas por la misma.
3. Desarrollar e implementar una interfaz de usuario para la calibración del microsisistema hardware, y la visualización del valor de los niveles de oxígeno y dióxido de carbono.	<i>Actividad 3.1.</i> Se definieron los parámetros de control por parte del usuario a través de la interfaz. <i>Actividad 3.2.</i> Se diseñaron los componentes de la interfaz de usuario. <i>Actividad 3.3.</i> Se desarrolló la interfaz de usuario de acuerdo con las especificaciones definidas. <i>Actividad 3.4.</i> Se verificó el funcionamiento de la interfaz con material biológico (banano).
4. Realizar las respectivas pruebas para verificar el correcto funcionamiento del espirómetro y comparar los resultados con un equipo certificado de características similares.	<i>Actividad 4.1.</i> Se seleccionó el banano y las raíces de yuca como productos a realizar las pruebas. <i>Actividad 4.2.</i> Se desarrollaron pruebas preliminares con los productos seleccionados con las cuales se verificó el funcionamiento del sistema y se realizaron ajustes. <i>Actividad 4.3.</i> Se desarrollaron las pruebas definitivas para banano y yuca con un diseño experimental completamente al azar durante 14 días con tres réplicas. <i>Actividad 4.4.</i> Se realizó el análisis de resultados y su comparación con los obtenidos resultados reportados en la literatura en dispositivos similares con banano y yuca.

2.4. Resultados obtenidos.

Sensores seleccionados: En la Tabla 2 se mencionan algunas especificaciones de los sensores seleccionados para las mediciones de gases y condiciones de ambientales internas del Respirómetro. En el anexo 2 se encuentra información más amplia de sus características.

Tabla 2. Sensores seleccionados para el Respirómetro

Sensor	Fabricante	Modelo
Dióxido de Carbono (ppm)	Cozir – CO2meter	COZIR–Ultra baja potencia G0016 (0-100%)
Oxígeno (%)	Fígaro	Sensor KE- GS serie KE-25
Humedad Relativa (%)	Honeywell	Serie HIH-4010
Temperatura (°C)	Texas Instrument	Serie LM35

Diagrama de bloques del diseño del Respirómetro: En la Figura 1 se muestra el diseño electrónico del Respirómetro en diagrama de bloques que definen cada uno de los componentes que hacen parte del mismo.

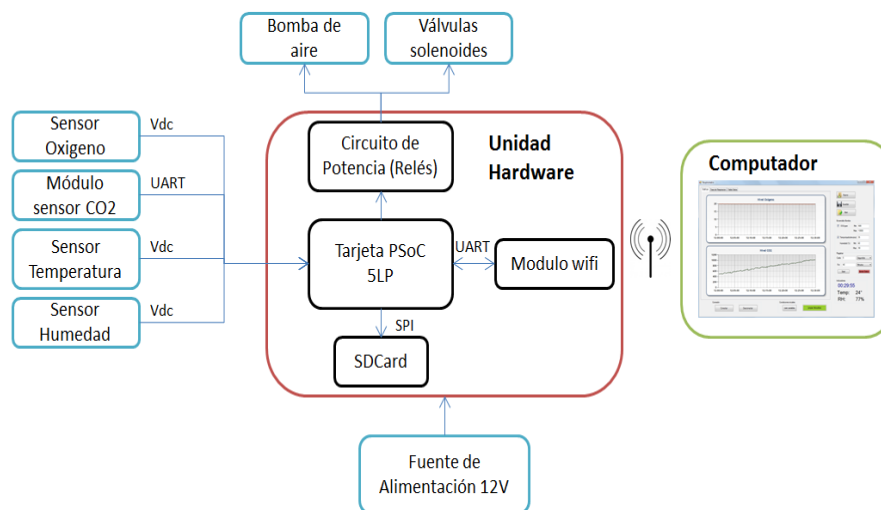


Figura 1. Diseño electrónico del Respirómetro

Dispositivo de calibración de sensores: un dispositivo de vidrio fue desarrollado para llevar a cabo la calibración de los sensores de CO2 y O2. El diseño final y la descripción del procedimiento llevado a cabo para la calibración se describen en el Anexo 3.

Diseño y prototipo final del Respirómetro: En la Figura 2 se muestra el diseño de la cámara de Respiración en sus partes internas y externas y el prototipo final del Respirómetro, cuyo protocolo de operación se muestra en el Anexo 4.

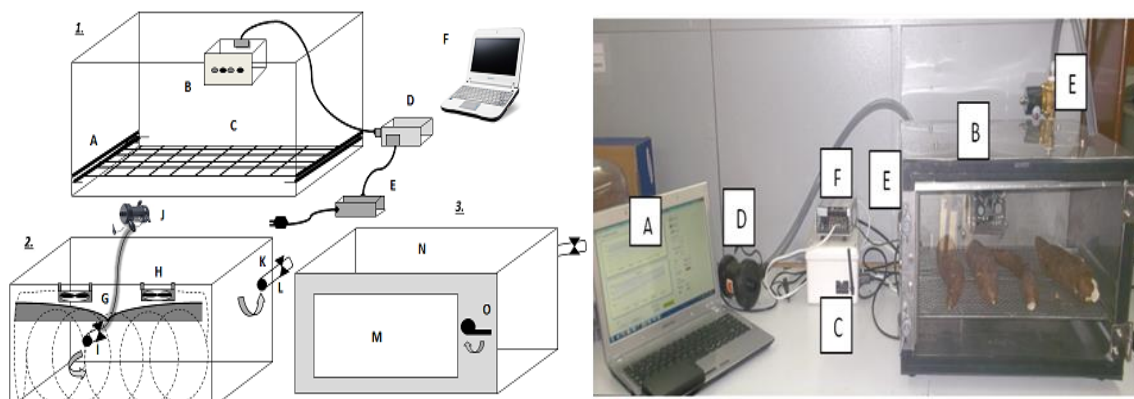


Figura 2. IZQUIERDA. Diagrama de configuración del Respirómetro. **Parte 1.interna** A. Rieles de rejilla, B. Caja de sensores, C. Rejilla producto, D. Sistema Electrónico de control, E. Fuente de energía, F. Computador. **Parte 2.interna** G. Deflectores de aire, H. Ventilador, I. Entrada de aire externo, J. Bomba de aire con manguera, K. Salida de aire interno, L. Válvula solenoide. **Parte 3.externa** M. Visor al interior, N. Cámara del Respirómetro (30x45x55cm), O. Sistema de apertura del Respirómetro. **DERECHA.** Prototipo final del Respirómetro. A. Computador. B. Cámara del Respirómetro con sensores internos de CO₂ y O₂. C. Tarjeta electrónica de control. D. Bomba de aire. E. Válvulas solenoides (2). F. Fuente de energía.

Funcionamiento del equipo e interfaz de usuario: la Figura 3 muestra el mecanismo de funcionamiento básico del equipo controlado a través de una interfaz mediante la cual el usuario define las condiciones del funcionamiento del equipo y monitorea la concentración de gases al interior de la cámara del Respirómetro. Su diseño es mostrado en el Anexo 5.

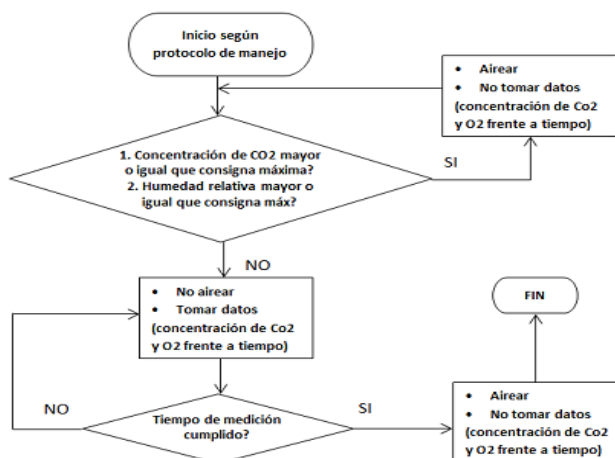


Figura 3. Diagrama de flujo básico del funcionamiento del Respirómetro.

Verificación y validación del equipo: Pruebas de hermeticidad, efectividad del recambio y mezclado del aire interno fueron realizadas para asegurar la validez de las mediciones realizadas y el correcto funcionamiento del Respirómetro. Se realizaron pruebas preliminares con banano y yuca con lo cual se logró establecer un tiempo de respuesta respiratoria mínimo de 5 minutos, un tiempo óptimo de evaluación de 30 minutos y una cantidad de materia prima máxima de 2 kilogramos.

Finalmente en la Figura 4 se observan las curvas de respiración obtenidas para banano y yuca, las cuales no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre repeticiones para ambos productos, lo cual indicó bajos niveles de varianza entre las mediciones realizadas, dando confianza a los resultados dada la repetitividad de los datos. Las tasas de respiración resultantes para cada producto coinciden dentro del rango aquellas reportadas por Barreiro et al. (Barreiro & Sandoval, 2006) para yuca entre 67-188mgCO₂/kg-h y para banano entre 70-350mgCO₂/kg-h a una temperatura entre 20 y 25°C. Además la curva de respiración para banano resultó ser muy similar a la reportada por Gane para la misma variedad Gross Michel a una temperatura de 25°C medida por método gravimétrico (indirecto) con soda cáustica. (Gane, 1936).

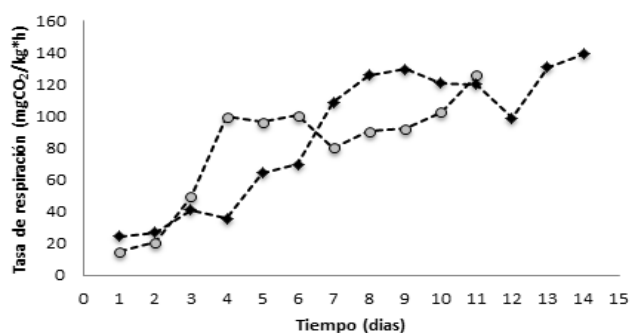


Figura 4. Curvas de respiración para banano (-♦-) variedad Gross Michel durante 14 días y yuca (-o-) variedad HMC-1 durante 11 días.

2.5. Conclusiones

Se diseñó un Respirómetro de medición directa y de fácil uso. Las tasas de respiración evaluadas con banano y yuca presentaron una baja varianza entre sus resultados mostrando buena repetitividad de datos y sus valores coincidieron con resultados presentados en la literatura por otros autores que emplearon métodos indirectos de medición de las tasas de respiración.

3. Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos de nuevos conocimientos				
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2	0		0	
Artículo completo publicados en revistas B	1		0	
Artículo completo publicados en revistas C	0		0	
Libros de autor que publiquen resultados de investigación	0		0	
Capítulos en libros que publican resultados de investigación	0		0	
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados	0		0	
☐ Prototipos y patentes	0		0	
☐ Software	0		0	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial	0		1*	
Normas basadas en resultados de investigación	0		0	
Formación de recursos humanos	No. De estudiantes vinculados	No. De tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	1	0	0
Semillero de Investigación Jóvenes investigadores (Karen Ortega)	0	0	1	0
Estudiantes de maestría Carlos Andrés Gómez, Kadaffi León Arce	1	0	2	0
Estudiantes de doctorado	0	0	0	0

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas	0		0	
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. De ponencias nacionales	No. De ponencias internacionales	No. De ponencias nacionales	No. De ponencias internacionales
Propuesta de investigación	1	0	2	0
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	0		0	
* En trámite con apoyo de OTRI				

Tabla No. 2. Detalle de productos.

Artículo Ponencia:

Tipo de producto:	Artículo (Ponencia)
Nombre General:	Dos Ponencias en IICTA 2014 **
Nombre Particular:	1. Desarrollo de un respirómetro para productos agrícolas 2. EVALUACIÓN DEL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA DE RAÍCES DE YUCA (Manihot esculenta) Variedad HMC-1 EN FUNCIÓN DE LA TASA DE RESPIRACIÓN
Ciudad y fechas:	Medellín, mayo 27-30, 2014
Participantes:	Karen J. Ortega, Carlos A. Vélez, Carlos A. Gómez, Jaime Velasco, Lisímaco Alonso A.
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal – Universidad del Valle



Formas organizativas:	Grupo de Investigación Bionanoelectrónica – GIPAB
-----------------------	---

****Las ponencias serán publicadas en edición especial de la Revista de la Facultad Nacional de Agronomía, indexada en el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, COLCIENCIAS, en la categoría A2.**

En el anexo 1 se incluyen los artículos en extenso.

Prototipo:

Tipo de producto:	Prototipo
Nombre General:	NA
Nombre Particular:	Respirómetro para analizar la fisiología post-cosecha de frutas y vegetales
Ciudad y fechas:	Cali, Marzo de 2014
Participantes:	Carlos Antonio Vélez, Jaime Velasco, Carlos Andrés Gómez, Karen Johana Ortega
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal – Universidad del Valle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación GIPAB y Bionanoelectrónica

Software:

Tipo de producto:	Software
Nombre General:	NA
Nombre Particular:	Aplicación para respirómetro UV
Ciudad y fechas:	Cali, Marzo de 2014
Participantes:	Carlos Andrés Gómez García
Sitio de información:	Biblioteca Mario Carvajal – Universidad del Valle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación Bionanoelectrónica

Propuesta externa:

Tipo de producto:	Propuesta externa
-------------------	-------------------



Nombre General:	Convocatoria Jóvenes Investigadores Colciencias
Nombre Particular:	ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE DETERIORO POSCOSECHA DE RAÍCES DE YUCA (<i>Mahinot esculenta Crantz</i>) EN FUNCIÓN DE LA TASA DE RESPIRACIÓN
Ciudad y fechas:	Cali, 11 Feb 13 al 01-Mar 14
Participantes:	Karen Johana Ortega, Carlos Antonio Vélez, Lisímaco Alonso
Sitio de información:	COLCIENCIAS – Universidad del Valle
Formas organizativas:	Grupo de Investigación GIPAB

4. Impactos actual o potencial:

Impacto Ambiental

Este proyecto no tiene impacto ambiental negativo, ya que los sensores utilizados no son electroquímicos. Se basan en características ópticas o semiconductoras, por lo que el nivel de contaminación ambiental es casi nulo y el periodo de vida de este tipo de sensores es considerablemente largo.

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

ANEXOS

ANEXO 1. Artículos

DESARROLLO DE UN RESPIRÓMETRO PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS DEVELOPMENT OF A RESPIROMETER FOR AGRICULTURAL PRODUCTS

Karen J. Ortega¹, Carlos A. Vélez², Carlos A. Gómez³, Jaime Velasco⁴, Lisímaco Alonso A.

¹ Ing. Alimentos, Programa de Jóvenes Investigadores, Universidad del Valle, Colombia, karen.ortegav@gmail.com, A.A. 25360

² Profesor Titular, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Colombia, carlos.velez@correounivalle.edu.co, A.A. 25360

³ Ing. Electrónico, Estudiante Maestría, Universidad del Valle, Colombia, carlosgo515@gmail.com, A.A. 25360

⁴ Profesor Titular, Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad del Valle, Colombia,

jaime.velasco@correounivalle.edu.co, A.A. 25360

RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un Respirómetro de medición directa. La atmósfera al interior de la cámara del Respirómetro es monitoreada mediante sensores de O₂, CO₂, temperatura y humedad relativa, y es renovada con aire una vez alcance el tiempo, la humedad relativa o la cantidad de CO₂ producida por el tejido del producto agrícola, parámetros que son especificados a través de una interfaz de usuario. La precisión del sistema es determinada por la precisión de los sensores, y las mediciones pueden realizarse en pocos minutos o durante semanas. Con el propósito de verificar el funcionamiento del equipo, cambios en las tasas de respiración de bananos y raíces de yuca fueron monitoreados durante diez días. Los resultados mostraron bajos niveles de varianza entre repeticiones y fueron comparables con datos publicados en la literatura.

Palabras Claves: renovación de aire, atmósfera, dióxido de carbono, oxígeno.

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of a direct measurement respirometer. The atmosphere inside the chamber of the respirometer is monitored by O₂, CO₂, temperature and humidity sensors, and it is refreshed with air after achieve the time, the relative humidity, or the amount of CO₂ produced by agricultural product tissue, parameters that are specified through a user interface. The system accuracy is determined by the sensors accuracy, and the measurements can be done in minutes or over weeks. In order to verify the operation of equipment, changes in respiration rates of banana and cassava roots were monitored for ten days. The results showed low levels of variance between replicates and were comparable to data published in the literature.

Keywords: air renovation, atmosphere, carbon dioxide, oxygen

INTRODUCCIÓN

Sistemas de almacenaje, transporte y distribución apropiados tienen un gran impacto sobre la vida útil de los productos agrícolas, reduciendo pérdidas poscosecha y conservando su calidad. El mantenimiento de la temperatura adecuada, la humedad relativa y la composición del gas durante el almacenamiento son elementos clave en la calidad de los productos agrícolas y la extensión de su vida útil. [1].

Los productos agrícolas después de cosechados continúan sus actividades fisiológicas tales como la respiración (consumo de O₂ y emisión de CO₂) y la transpiración (producción de agua). El uso de un método directo para medir las tasas de respiración puede conducir a mejores sistemas de control de almacenamiento y una observación más cercana de las pérdidas de almacenamiento. [2].

En la mayoría de los casos los estudios de respiración en productos agrícolas, ya sea trabajando en sistema cerrado, sistema dinámico o permeable, se extrae una muestra gaseosa del espacio de cabeza del recipiente donde se ubica el producto y se analiza su composición inyectándola en un cromatógrafo de gases o un analizador de gases infrarrojo[2]. Este proceso en varios pasos hace que sea muy laborioso, discontinuo, impreciso y costoso [3]

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en este estudio se desarrolló un sistema de medición – directo, preciso y económico- de tasas de respiración, con renovación de aire, mediante sensores electrónicos de O₂ y CO₂.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de una versión inicial del Respirómetro con características similares al reportado por Bower et al [4], se realizaron cambios fundamentales hasta obtener el equipo final. Durante su diseño y construcción fueron creados la interfaz de usuario y el protocolo para su funcionamiento. Posteriormente se realizaron ensayos de verificación y validación del equipo con bananos (Gross Michel) y raíces de yuca (HMC-1).

La concentración de O₂ fue medida utilizando un sensor KE-GS serie KE-25 (0-100%) tipo celda galvánica fabricado por Fígaro, con una precisión de $\pm 1\%$ y calibrado desde la fábrica. La concentración de CO₂ fue medida con un sensor COZIR–Ultra baja potencia G0016 (0-100%) basado en tecnología infrarroja no dispersiva (NDIR), con una precisión de $\pm 3\%$ de la lectura realizada y calibrado por el fabricante a condiciones ambientales. Debido a que los cambios en la concentración de CO₂ son más fáciles de detectar en el ambiente en comparación con el O₂, entonces la evaluación de la tasa respiratoria fue evaluada a partir de la producción de CO₂. También fue diseñada una cámara hermética en vidrio para la calibración del sensor de CO₂ (Figura 1), el cual fue calibrado a cero usando gas nitrógeno puro.



Figura 1. Dispositivo de calibración de sensores.

Evaluación de la tasa respiratoria: el peso del producto fue registrado antes de ser ingresado al Respirómetro. La concentración de CO₂ producido por las raíces de yuca al interior de la cámara fue registrada cada 5 segundos durante 35 minutos. La tasa de producción de CO₂ (ppmCO₂/h) fue obtenida de la pendiente de la recta de ajuste de la gráfica entre la concentración de CO₂ versus el tiempo. La conversión de los resultados se realizó teniendo en cuenta que 1ppmCO₂ equivale a 1,8mgCO₂/m³. El volumen libre de la cámara del Respirómetro fue estimado mediante la sustracción del volumen de las raíces ingresadas (peso x densidad) del volumen total de la cámara del

Respirómetro. Finalmente la tasa de respiración se estimó a partir de la ecuación 1.

(Ec.1)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño del Respirómetro con sus componentes electrónicos se muestra en la Figura 2. Las partes internas y externas del equipo pueden observarse en la Figura 4. En general el Respirómetro consta de tres partes claramente diferenciadas, el Respirómetro propiamente dicho, donde se realizan las pruebas biológicas, el sistema electrónico de control donde se transmiten las señales desde los sensores y el PC desde donde se controla el equipo a través de la interfaz de usuario. Esta interfaz (Figura 3) permite establecer la frecuencia y tiempo de medición de los cambios en la concentración de gases al interior de la cámara, y permite además definir los parámetros del recambio de aire para el encendido automático de la bomba, según tres condiciones: la primera cuando la concentración de CO₂ sobrepasa un máximo especificado, en este caso el 2% ya que por encima de este valor puede afectar la respiración del tejido vegetal [5]; la segunda cuando la humedad relativa interior sobrepasa el 90% (por transpiración del producto) con el fin de proteger los sensores. En ambos casos la bomba se activa durante 30 segundos las veces que sea necesario hasta reducir los niveles hasta un valor mínimo especificado. Finalmente cuando el tiempo de medición se cumple, la bomba recambia en aire para dejar la atmósfera interna lista para otra medición. Adicionalmente la interfaz permite el monitoreo continuo de las respuestas de todos los sensores (CO₂, O₂, temperatura y humedad) incluso desde antes de activar el registro de los datos, con el fin de revisar las condiciones iniciales y poder efectuar un recambio de aire manual si es necesario. La figura 5 describe el funcionamiento del respirómetro.

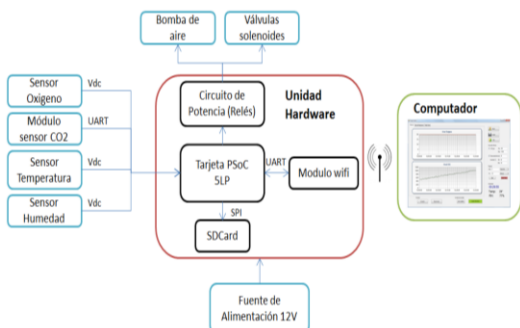


Figura 2. Diseño electrónico del Respirómetro.

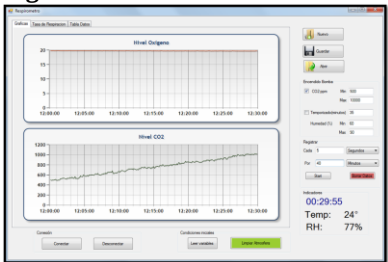


Figura 3. Diseño de la interfaz de usuario. Imagen durante el monitoreo durante 30 min.

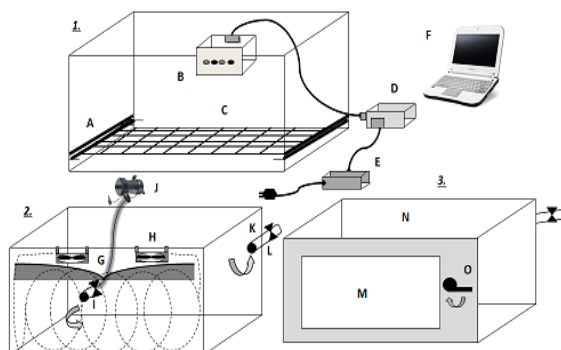


Figura 4. Diagrama de configuración del Respirómetro. **Parte 1.interna** A. Rieles de rejilla, B. Caja de sensores, C. Rejilla producto, D. Sistema Electrónico de control, E. Fuente de energía, F. Computador. **Parte 2.interna** G. Deflectores de aire, H. Ventilador, I. Entrada de aire externo, J. Bomba de aire con manguera, K. Salida de aire interno, L. Válvula solenoide. **Parte 3.externa** M. Visor al interior, N. Cámara del Respirómetro (30x45x55cm), O. Sistema de apertura del Respirómetro.

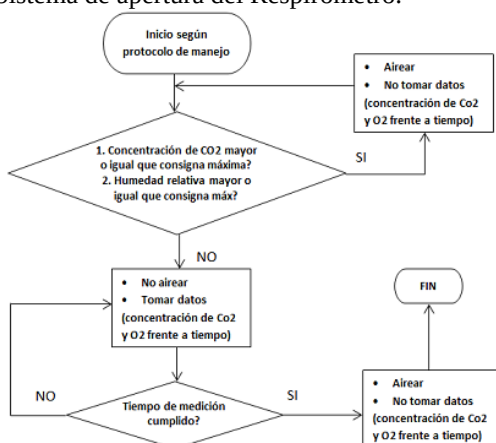


Figura 5. Diagrama de flujo básico del funcionamiento del Respirómetro.

Verificación y validación del equipo

Pruebas de hermeticidad, efectividad del recambio y mezclado del aire interno fueron realizadas para asegurar la validez de las mediciones realizadas y el correcto funcionamiento del Respirómetro. Se realizaron pruebas preliminares con banano y yuca con lo cual se logró establecer un tiempo de respuesta respiratoria mínimo de 5 minutos, un tiempo óptimo de evaluación de 30 minutos y una cantidad de materia prima máxima de 2 kilogramos.

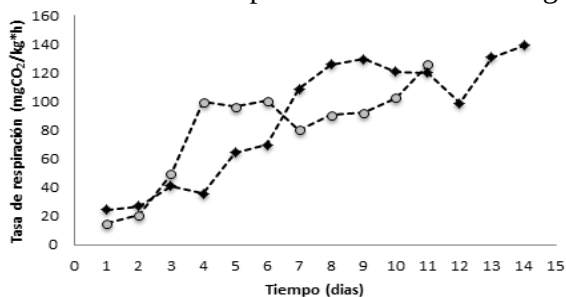


Figura 6. Curvas de respiración para banano (--) variedad Gross Michel durante 14 días y yuca (--) variedad HMC-1 durante 11 días.

No hubo diferencia significativa ($p>0,05$) entre repeticiones para ambos productos, lo cual indica bajos niveles de varianza entre las mediciones realizadas. Las tasas de respiración observadas en la Figura 6 para cada producto coinciden dentro del rango aquellas reportadas por Barreiro et al. en 2006[6] para yuca entre 67-188mgCO₂/kg-h y para banano entre 70-350mgCO₂/kg-h a una temperatura entre 20 y 25°C. Además la curva de respiración para banano resultó ser muy similar a la reportada por Gane en 1936 [7].

CONCLUSIONES

Un Respirómetro de medición directa y fácil uso fue desarrollado. Las tasas de respiración evaluadas con banano y yuca presentaron una baja varianza y sus valores coincidieron con resultados presentados en la literatura.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MinSalud.Colombia-FAO, 2013. "Proyecto UTF/COL/039. Perfil nacional de consumo de frutas y verduras".
- [2] Fennir M. A., 1997. "In-Situ Estimation of Respiration and Transpiration Rates of Stored Fruits and Vegetables," McGill University.
- [3] Fonseca S. C., Oliveira F. and Brecht J. K., 2002. "Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review," *J. Food Eng.*, vol. 52, no. 2, pp. 99–119.
- [4] Bower J., Jobling J., Patterson B., and Ryan D., 1998. "A method for measuring the respiration rate and respiratory quotient of detached plant tissues," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 13, no. 3, pp. 263–270.
- [5] Wills R. B., 1984. *Fisiología Y Manipulación De Frutas Y Hortalizas Post - Recolección*, Acribia. Zaragoza, pp.192.
- [6] Barreiro J. A. and Sandoval A. J., 2006. "Respiración de los tejidos vegetales," En: *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*, Equinoccio., Caracas, Venezuela: Universidad Simón Bolívar, pp. 23–24.
- [7] Gane R., 1936. "A Study of the Respiration of bananas," *New Phytol.*, vol. 35, no. 5, pp. 1–21.

EVALUACIÓN DEL DETERIORO FISIOLÓGICO POSCOSECHA DE RAÍCES DE YUCA (*Manihot esculenta*) Variedad HMC-1 EN FUNCIÓN DE LA TASA DE RESPIRACIÓN

POST-HARVEST DETERIORATION OF CASSAVA ROOTS (*Manihot esculenta*) HMC-1 Variety IN FUNCTION OF RESPIRATION RATE

Karen J. Ortega¹, Carlos A. Vélez², Lisímaco Alonso³

¹ Ing. Alimentos, Programa de Jóvenes Investigadores, Universidad del Valle, Colombia, karen.ortegav@gmail.com, A.A. 25360

² Profesor Titular, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Colombia, carlos.velez@correounivalle.edu.co, A.A. 25360

³ Ing. Agrícola, Programa de Yuca, CIAT, Colombia, l.alonso@cgiar.org, A.A. 6713

RESUMEN

Las raíces de yuca presentan un rápido Deterioro Fisiológico Poscosecha (DFP) que limita su explotación. El deterioro de un producto agrícola en general está relacionado con su tasa respiratoria. En el presente trabajo se buscó establecer la relación entre DFP y respiración en raíces intactas y partidas de la variedad HMC-1, bajo condiciones de temperatura controlada. Adicionalmente se evaluó la variación de la materia seca y la pérdida de peso. Como resultado, se encontró una relación positiva entre el DFP, la tasa respiratoria y la pérdida de peso ($r^2=0,994$); esto sería útil para comprender y evaluar de manera no destructiva los mecanismos de DFP, lo cual permitiría reducir pérdidas poscosecha de la yuca y expandir su campo de utilización.

Palabras Claves: fisiología, correlación, pico respiratorio, respiración, transpiración.

ABSTRACT

Cassava roots have a rapid Postharvest Physiological Deterioration (PPD), limiting their exploitation.

Crop deterioration in general is related to their respiratory rate. This study sought to establish the relationship between DFP and respiration in intact and cut roots of HMC-1 variety, under controlled temperature. Additionally the variation of the dry matter and the weight loss was evaluated. As a result, a positive relationship between the DFP in function of the respiratory rate and weight loss ($r^2 = 0.994$) was found; this would be useful to understand and assess mechanisms DFP nondestructively, which would reduce post-harvest losses of cassava and expand its field application.

Keywords: physiology, relationship, respiratory peak, respiration, perspiration.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot Esculenta*) es la cuarta fuente de calorías más grande del mundo después del arroz, la caña de azúcar y el maíz, alimentando más de 500 millones de personas en África, Asia y Latinoamérica. Su comercialización extensiva y dinámica se ve afectada entre otros factores por la corta vida de las raíces luego de la cosecha, debido a que experimentan un rápido DFP[1].

El deterioro fisiológico parece estar relacionado con la respiración de un producto y su vida útil con frecuencia puede ser predicha basada en su tasa respiratoria [2]. El presente trabajo pretende aportar información sobre la relación entre el deterioro que sufren las raíces de yuca después de la cosecha y sus tasas de respiración para la variedad comercial HMC-1.

MATERIALES Y MÉTODOS

Raíces de yuca de la variedad HMC-1 (10 – 11 meses de edad) fueron suministradas por el Programa de Yuca del Centro de Agricultura Tropical (CIAT) localizado en Palmira-Valle. Las raíces sin daños físicos ni microbianos aparentes fueron seleccionadas como muestras enteras. También se obtuvieron muestras partidas eliminando los extremos distal y proximal con el fin de acelerar el DFP. El extremo distal se cubrió con una película plástica transparente para evitar la entrada de oxígeno [3]. Unidades experimentales entre 1,8 a 2kg fueron conformadas y se mantuvieron almacenadas a 23°C de temperatura y 67% de humedad relativa.

La influencia de dos condiciones de estrés de las muestras (raíces intactas y partidas) fue evaluada con base en la tasa de respiración ($\text{mgCO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$), grado de DFP (%), pérdida de peso (%) y contenido de materia seca (%), durante diez días para las raíces intactas y cinco días para las raíces partidas, dado que a partir del sexto día estas muestras presentaron daño microbiológico. Estas mediciones fueron replicadas cuatro veces cada día para ambas condiciones de la muestra y sus resultados fueron promediados. El análisis estadístico se realizó con el programa Minitab 16 y para la correlación entre las variables de respuesta se empleó el programa Curve Expert Professional 2.0.3.

La pérdida de peso de cada muestra fue determinada previo a la medición de su tasa respiratoria. Esta tasa se estimó en función de la producción de CO_2 (Ecuación1) durante 30 minutos mediante un Respirómetro con sensores electrónicos de CO_2 y O_2 . [4]

$$\frac{\text{tasa de producción de } \text{CO}_2 (\text{mgCO}_2.\text{m}^{-3}.\text{h}^{-1}) \times \text{Volumen libre cámara (m}^3\text{)}}{\text{Peso (kg)}} \\ = \text{Tasa de Respiración (mgCO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}\text{)}$$

Ecuación 1. Tasa de respiración en función de la producción de CO_2 .

Una vez determinada la tasa respiratoria, las raíces se partieron para la evaluación del DFP según el método descrito por Medina et al. en 2013 [5]. Muestras entre 8 y 10 gramos de trozos de yuca

utilizados en la evaluación de DFP se tomaron para determinar por triplicado el contenido de materia seca según la AOAC 925.09-1925.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la Figura 1 las raíces partidas presentaron mayores grados de DFP, tasas de respiración y pérdidas de peso que las raíces intactas ($p < 0,05$). Una mayor pérdida de peso fue encontrada para las raíces partidas hecho que se explica al considerarse la pérdida de peso como la suma de la cantidad de sustrato perdida en la respiración y la transpiración, procesos que se vieron favorecidos por el corte $\text{mgCO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$ Tasa de Respiración Deterioro Fisiológico Poscosecha 0 1 0 10 20 30 40 50 60 70 80 $\text{mgCO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$ Tiempo (días) Tasa de Respiración Deterioro Fisiológico Poscosecha 0 1 2 3 4 5 6 0 10 20 30 40 50 60 70 80 realizado [6]. Porcentajes en pérdidas de peso similares se reportaron en raíces intactas de HMC1 por Sánchez et al en 2013[6].

El contenido de materia seca no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las raíces enteras (37,12%) y las muestras partidas (38,54%). Además, estos valores tampoco tuvieron variaciones significativas durante el período de almacenamiento, resultados que son consistentes con los reportados por Booth [7]. y Sánchez et al. [6].

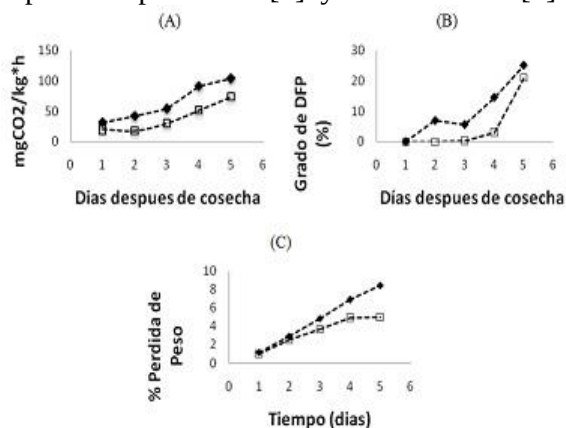


Figura 1. Variación de las tasas respiratorias (A), grados de DFP (B) y pérdidas de peso (C) entre raíces partidas y raíces intactas

La tasa respiratoria y el deterioro fisiológico de las raíces enteras (Figura 2) presentaron un comportamiento similar, con un crecimiento pronunciado a partir del tercer día después de cosecha, lo que sugiere una estrecha relación entre estas dos variables. El pico cercano al día 5 podría estar relacionado con los cambios bioquímicos característicos de los mecanismos del DFP mencionados por Hirose et.al en 1984 [8] para yuca; entre estos mecanismos se destaca una alta actividad de la enzima peroxidasa reportada por Reilly et al. [9] para la variedad M-Col, responsable de la oxidación de la escopoletina, que a su vez ha sido relacionada directamente como una de las causantes del DFP por diversos autores como Wheatley et al. [10], y Sánchez et al. [6].

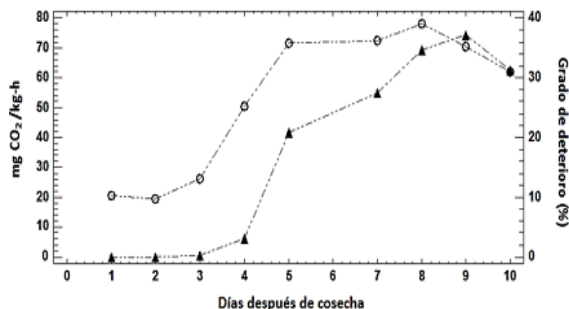


Figura 2. Relación entre DFP y tasa respiratoria para las raíces enteras de la variedad HMC-1.

Se realizaron correlaciones entre las variables de respuesta DFP, pérdida de peso (PP) y tasa de respiración (TR). El mejor resultado se encontró para la relación entre DFP, tasa de respiración y pérdida de peso con un R^2 de 0.994 y un error estándar de 1,7811. El modelo que describe esta relación y la superficie de respuesta generada se muestran en la Ecuación 2 y en la Figura 3 respectivamente.

$$DFP = 18,496 - 3,395 * PP - 9,674 * TR + 0,658 * PP^2 + 0,014 * TR^2$$

Ecuación 2. Relación entre el grado de DFP (%) y la pérdida de peso (%) y la tasa de respiración (mg CO₂/Kg.-h) para raíces de yuca enteras (variedad HMC1).

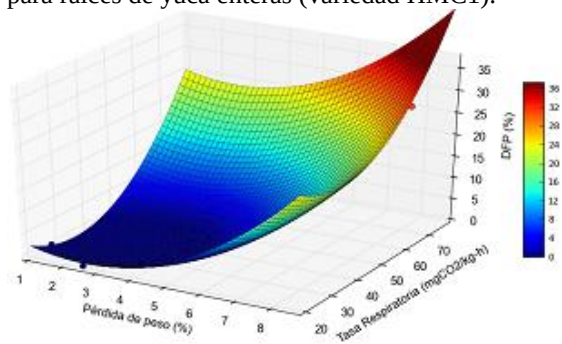


Figura 3. Relación entre el DFP, tasa respiratoria y pérdida de peso, para raíces enteras de la variedad HMC-1 evaluadas durante los primeros diez días después de la cosecha.

CONCLUSIONES

Los resultados permitieron establecer que existe una relación directa entre DFP, tasa de respiración y pérdida de peso en raíces de yuca de la variedad HMC-1. Lo anterior sería útil para comprender y evaluar de manera no destructiva los mecanismos de DFP, lo cual permitiría reducir pérdidas poscosecha de la yuca y expandir su campo de utilización.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias, a la Universidad del Valle por la financiación del proyecto en el marco del programa de Jóvenes Investigadores y al CIAT por el suministro de la materia prima.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iyer S., Mattinson D. S., and Fellman J. K., 2010. "Study of the Early Events Leading to Cassava Root Postharvest Deterioration," *Trop. Plant Biol.*, vol. 3, no. 3, pp. 151–165.
- [2] Henrique G., Teixeira D. A., Durigan J. F., and Lima M. A., 2005. "Postharvest changes and respiratory pattern of bacuri fruit (*Platonia insignis* Mart .) at different maturity stages during ambient storage," *Acta Amaz.*, vol. 35,

no. 1, pp. 17–21.

[3] Wheatley C., 1982. “Studies on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root post-harvest physiological deterioration .,” London University, UK.

[4] Ortega K. J., Vélez C. A., Gómez C. A., Velasco J., and Alonso v, 2014. “Desarrollo de un Respirómetro para productos agrícolas,” “Pendiente de publicación”-Presentado en este congreso.

[5] Medina S., García L. M., Vélez C., Alonso L., and Fernandez A., 2013. “Estudio comparativo de conservación de raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) recubiertas con cera natural y parafina,” *Inf. Técnico*, vol. 77, no. 1, pp. 17–21.

[6] Sánchez T., Dufour D., Moreno J. L., Pizarro M., Aragón I. J., Domínguez M., and Ceballos H., 2013. “Changes in extended shelf life of cassava roots during storage in ambient conditions,” *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 86, pp. 520–528.

[7] Booth R. H., 1977. “Storage of Fresh Cassava (*Manihot esculenta*). II. Simple Storage Techniques,” *Exp. Agric.*, vol. 13, no. 02, pp. 119–128.

[8] Hirose S., Data E. S., Quevedo M. A., and Uritani I., 1984. “Relation between Respiration and Post-Harvest Deterioration in Cassava Roots,” *Japanese J. Crop Sci.*, vol. 53, no. 2, pp. 187–196.

[9] Reilly K., Gómez-Vásquez v, H. Buschmann, Tohme J., and Beeching J. R., 2004. “Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration.,” *Plant Mol. Biol.*, vol. 56, no. 4, pp. 625–41.

[10] Wheatley C. C. and Schwabe W. W., 1985. “Scopoletin Involvement in Post-Harvest Physiological Deterioration of Cassava Root (*Manihot esculenta* Crantz),,” *J. Exp. Bot.*, vol. 36, no. 166, pp. 783–791.

ANEXO 2. Características de los sensores del Respirómetro



Figura 1. Sensor de CO₂ (izquierda) y sensor de O₂ (derecha)

Tabla 1. Especificaciones de los sensores de CO₂ y O₂.

Especificaciones	Sensor O ₂	Sensor CO ₂
Fabricante	Fígaro	Cozir – CO ₂ meter
Modelo	Sensor KE- GS serie KE-25	COZIR–Ultra baja potencia G0016 (0-100%)

Definición	El Sensor de Oxígeno GS serie KE es un único sensor de oxígeno de tipo celda galvánica que proporciona una señal de voltaje de salida lineal relativo al porcentaje de oxígeno presente en una atmósfera particular.	El Sensor de Dióxido de Carbono está basado en la tecnología Detector y GSS IR LED y diseños ópticos innovadore. La Cozir ofrece el sensor de tecnología infrarrojo no dispersivo (NDIR) de más baja potencia disponible. Sensores opcionales de temperatura, humedad y luz están disponibles. COZIR es un producto de tercera generación de GSS –líderes IR LED en detección de CO2. Su rápida medición hace uso viable para aplicaciones biológicas.
Tiempo de respuesta	14±2 seg	4seg
Precisión	± 1% escala completo	± 3% de la lectura
Condiciones de operación	*Presión atmosférica: 811hPa-1216hPa. *Temperatura: 5-40°C *Humedad relativa: 1-90% (no condensación)	*Temperatura: 0-50°C *Humedad relativa: 0-95% (no condensación)
Características	* Larga vida (KE-25 - 5 años) *Prácticamente no hay influencia de CO2, CO, H2S, NOx, H2. * Bajo coste *Funciona en temperaturas ambiente normales * Señal de salida estable * No requiere alimentación externa para el funcionamiento del sensor * No se requiere tiempo de calentamiento	*Calentamiento en menos de 10 segundos. *Rápido y preciso. *Requisitos de ultra baja potencia 3.5 mW. *Detección en tiempo real. *Óptica bañados en oro patentado. *Fuente y detector de estado sólido patentado *Método de medición por difusión *Lecturas actualizadas dos veces por segundo.

Tabla 2. Especificaciones de los sensores de temperatura y humedad relativa.

Especificaciones	Sensor temperatura	Sensor humedad relativa
Fabricante	Texas Instrument	Honeywell
Modelo	Serie LM35	Serie HIH-4010
Definición	Son sensores de temperatura de precisión en circuito integrado con una salida de voltaje lineal proporcional a la temperatura en grados centígrados, por lo cual no es necesario escalamiento. No requiere calibración externa para obtener su precisión.	Son sensores de humedad diseñados especialmente para usuarios con equipos de alto volumen. La entrada directa a un controlador u otro dispositivo se hace posible gracias a la salida de voltaje del sensor casi lineal. La intercambiabilidad del sensor hermética reduce o elimina los costos de calibración en el equipo en el cual sea empleado. El sensor consiste en un láser ajustado, con elemento de medición capacitivo de polímeros termoestables con un chip de acondicionamiento de señales integrado.
Tiempo de respuesta	40μseg	5seg
Precisión	±0,25°C a 25°C y ±0,75°C a otras temperaturas entre -55 y 150°C.	±3,5%
Condiciones de operación	Temperaturas: -55°C y 150°C Voltaje: entre 4 a 30V Consumo: <60μA	Humedad: 0-100% Temperatura: -50 a 150°C
Características	*Bajas temperaturas de calentamiento: 0,08°C en aire *Bajo costo *Factor en escala lineal ±10mV/°C	*Carcasa de plástico termoestable moldeado *Salida de voltaje lineal cercano a la humedad relativa *Diseño de baja potencia *Precisión mejorada *Rápido tiempo de respuesta *Químicamente resistente

ANEXO 3. Diseño de dispositivo de calibración de sensores y procedimiento de calibración



Figura 1. Dispositivo de vidrio en el cual se llevaron a cabo la calibración del sensor de CO₂ con Nitrógeno puro en el laboratorio de ingeniería Química de la Universidad del Valle.

Procedimiento de Calibración de Sensor de CO₂ a cero.

El dispositivo Calibrador cuenta con dos válvulas de entrada y salida de aire, un orificio por el cual se inserta el sensor y por el cual sale el cable de transmisión de datos hacia el ordenador. La calibración sería realizada con Nitrógeno puro, por lo tanto para asegurar la hermeticidad del dispositivo se sella la parte por donde sale el cable de transmisión de datos desde el sensor con cinta de parafina (Parafilm).

El procedimiento paso a paso fue el siguiente:

1. Se realiza la conexión de la manguera de entrada del gas nitrógeno hacia el dispositivo con la manguera de salida del tanque de almacenamiento del gas nitrógeno.
2. Se ingresa el sensor de CO₂ y se procede a cerrar con parafina para asegurar la hermeticidad.
3. Se procede a abrir la válvula de entrada para el ingreso del nitrógeno dentro del dispositivo durante unos minutos dejando abierta la válvula de salida para arrastrar el contenido de CO₂ del aire presente en el dispositivo. Para asegurar que el CO₂ es arrastrado y no retorna, la manguera de salida del dispositivo es sumergida en un vaso precipitado con agua, con el fin de que el agua atrape todo el CO₂ que está siendo arrastrado.
4. Se procede a cerrar la válvula de salida primero y luego la de entrada. En este momento el aire interno se encuentra sólo con nitrógeno puro. Cabe aclarar que al momento del ingreso del nitrógeno las presiones deben ser reguladas.
5. Teniendo en cuenta que el sensor de CO₂ envía y recibe datos por puerto serial, se procede a conectar el sensor a un módulo USB serial, luego se ejecuta un programa hipertextual en el ordenador y se envía el comando de calibración a cero, entonces el sensor mide ese valor y lo toma como la referencia cero de CO₂.

ANEXO 4. Protocolo de Manejo del Respirómetro

1. Encender el computador.
2. La primera vez que se usa el equipo se debe iniciar una red hospedada bajo las siguientes instrucciones:
 - a. Activar Wi-fi
 - b. Ingresar a la página <http://www.virtualaccesspoint.com/>
 - c. Crear la red con el SSID: *Respirometro* y Key: *1234567890*
 - d. Dar click en Turn on soft AP y aceptar
 - e. En la ventana de comando se escribe: `netsh wlan set hostednetwork mode=allow ssid=Respirometro key=1234567890`
 - f. Dar enter y escribir: `netsh wlan start hostednetwork` y enter otra vez
 - g. El comando debe decir: La red está hospedada.
3. Si no es la primera vez que se usa el equipo se debe proceder de la siguiente manera:
 - a. Activar wi-fi
 - b. Abrir red hospedada
 - i. Dar click en inicio
 - ii. Escribir cmd, dar click derecho en ejecutar como administrador
 - iii. Escribir el siguiente comando: `netsh wlan start hostednetwork`
 - iv. Dar enter y verificar que diga que la red está hospedada.
4. Abrir la Interfaz de usuario del Respirómetro y una vez abierta la interfaz
 - a. Dar click en botón Conectar
 - b. Conectar el equipo al toma de energía (110V)
 - c. Asegurar enganche del equipo por medio del dispositivo wifi: para ello se asegura que bombillo verde del dispositivo Wi-fi deje de titilar
 - d. Configurar los parámetros de control en los campos: Encendido de la bomba y Registrar
 - e. Dar click en Nuevo, se nombra y guarda el archivo en formato Excel 97-2003, en este archivo quedarán guardados los datos.
5. Dar click en botón leer variables y dado que sea necesario dar click en Limpiar Atmósfera.
6. Colocar el producto en el interior del Respirómetro y cerrarlo.
7. Dar click en Start.
8. Una vez termine o en caso de interrupción
 - a. Click en Desconectar
 - b. Se desconecta el equipo
 - c. Se vuelve a conectar y se da click en conectar para nueva evaluación
 - d. Se siguen los pasos a partir del apartado 4.c. en adelante
9. En caso de reiniciarse el equipo se deben seguir los pasos a partir del apartado 3 en adelante.

Determinación de las tasas respiratorias

El peso del producto fue registrado antes de ser ingresado al Respirómetro. La concentración de CO₂ producido por las raíces de yuca al interior de la cámara del Respirómetro fue registrada cada 5 segundos durante 35 minutos. La tasa de producción de CO₂ (ppmCO₂/h) fue obtenida de la pendiente de la recta de ajuste de la gráfica entre la concentración de CO₂ versus el tiempo (Figura 7). La conversión de los resultados se realizó teniendo en cuenta que 1ppmCO₂ equivale a 1,8mgCO₂/m³. El volumen libre de la

cámara del Respirómetro fue estimado mediante la sustracción del volumen de las raíces ingresadas (peso x densidad) del volumen total de la cámara del Respirómetro. Finalmente la tasa de respiración se estimó a partir de la ecuación 1.

$$\frac{\text{Tasa de producción de } CO_2 (mgCO_2 \text{ m}^{-3}h^{-1}) \times \text{Volumen libre cámara (m}^3\text{)}}{\text{Peso (kg)}} = \text{tasa de respiración (mgCO}_2 \text{ kg}^{-1}h^{-1}) \quad (\text{Ec.1})$$

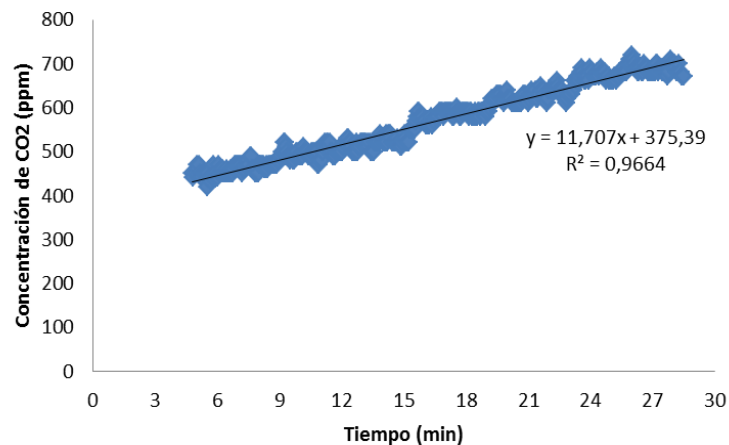


Figura 1. Incremento en la concentración de CO2 durante 30 minutos para Yuca (variedad HMC1) en el día 6 después de cosechada.

ANEXO 5.

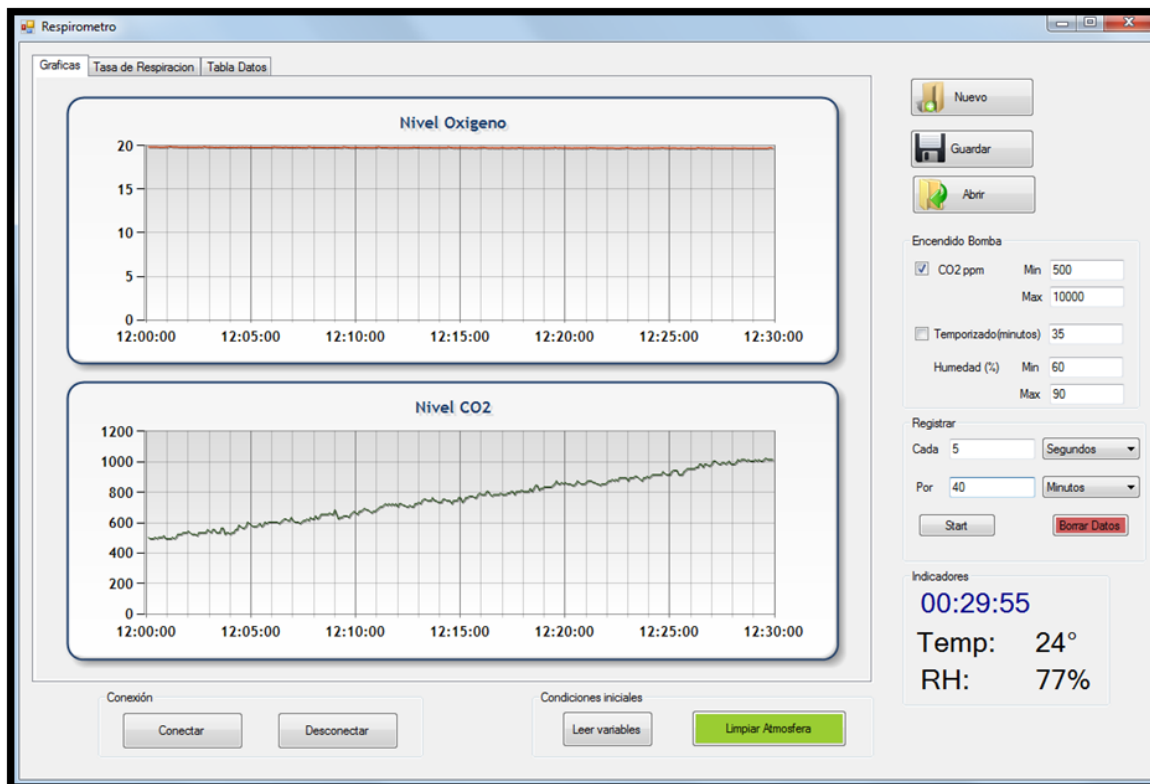


Figura 1. Diseño de la interfaz de usuario del Respirómetro.