



Journal of BioProcess and  
Chemical Technology

ISSN:2683-3271

# Journal of Bioprocess and Chemical Technology

## CONTENT



### Estudio preliminar de la respuesta eléctrica de una cactácea

Guerra-Sánchez, C., Sandoval-García, E., Sifuentes-Gallardo, C., De la Rosa, I., Sánchez-Calderón, L., Alaniz-Lumbreras, D., Ortiz-Esquivel, D., Felix-Esquivel, R.



### Optimización en la producción de alimentos mediante el sistema ISO 9001:2015

Silva Aguilera, R., Garay Díaz, J., Figueroa Ibarra, G., Guirette-Barbosa, O., Cruz-Domínguez, O., Ortiz-Sánchez, L., Vera-Ponce, S.



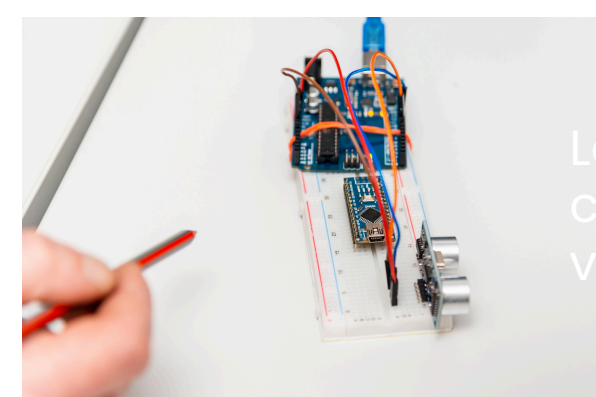
### Detección y Estimación del Peso de Granos Llenos de una Muestra de Arroz Cáscara, Empleando Procesamiento Digital de Imágenes con ImageJ®

Cleva M., Liska D., Rodríguez-Hernández, B.



### Implementación de un flujómetro para la optimización de sistemas de riego

Mendoza-Salazar, D., Rodarte-López, M., Carrillo-Castillo, J., Rodríguez-Abdala, V., Vazquez-Reyes, S., Castañeda-Burciaga, S.



### El uso de una herramienta didáctica para el cuidado del medio ambiente: Un enfoque desde la electrofisiología

Hernández-Belmontes, N., Cruz-Domínguez, O., Ortega-Sigala, J., Cardoso-Pérez, M., Badillo de Loera J., González-Ramírez, E.

Vol. 16, No. 32  
Enero-Junio 2024

**YOU ARE INVITED TO SHARE  
YOUR ARTICLES**



**JBCT-Journal of BioProcess and Chemical Technology, año 2024 Volumen 16, No. 32, enero-junio 2024, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25280, tels.:(844)4-14-85-82 y 4-10-02-78, jbct@uadec.edu.mx. Editor Responsable Dra. N. Paola Meléndez Rentería. Reserva de Derechos al uso exclusivo No. 04-2022-021513073100-102. ISSN:(2683-3271), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Universidad Autónoma de Coahuila, N. Paola Meléndez Rentería, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, Fecha de última modificación, enero 2024.**

## Estudio preliminar de la respuesta eléctrica de una cactácea

### Preliminary study of the electrical response of the cactus

Guerra-Sánchez, C.<sup>a\*</sup>, Sandoval-García, E.<sup>a</sup>, Sifuentes-Gallardo, C.<sup>a</sup>, De la Rosa, I.<sup>a</sup>, Sánchez-Calderón, L.<sup>a</sup>, Alaniz-Lumbreras, D.<sup>a</sup>, Ortiz-Esquivel, D.<sup>a</sup>, Felix-Esquivel, R.<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Zacatecas. Jardín Juárez #147 C.P. 98000 Zacatecas, Zacatecas, México

<sup>b</sup> Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas. Carretera Zacatecas, Cd. Cuauhtémoc Km 5 Ejido Cieneguitas C.P. 98601 Guadalupe, Zacatecas, México.

\* Corresponding Author: 39203905@uaz.edu.mx

Recibido: 10 de mayo 2023

Aceptado: 8 de noviembre 2023

#### Resumen

Las plantas constantemente interactúan con su entorno y responden a estímulos biológicos y ambientales. Este artículo se centra en el estudio de una cactácea, la cual es endémica y es conocida por sus propiedades medicinales. La planta responde a factores como la luz, la humedad y la disponibilidad de nutrientes a través de cambios en su respuesta físico eléctrica. Para maximizar la comprensión de estas interacciones, se propone un sistema de monitoreo que permite la recopilación de datos electrofisiológicos en tiempo real. Se utilizó un amplificador no inversor (LM324) con un valor de ganancia de 5V, para amplificar la señal adquirida. Se realizaron mediciones electrofisiológicas mediante sondas conectadas a la planta y al amplificador. Los datos se procesaron y visualizaron utilizando un Arduino Uno, aprovechando los puertos analógicos y la resolución de conversión analógica a digital (ADC) de 10 bits del Arduino. El artículo presenta los resultados de la exposición de la planta a tres factores ambientales: luz solar, sombra y riego. Se observaron respuestas físico eléctricas distintas en cada caso, con cambios en el voltaje de salida registrado. Este enfoque de monitoreo proporciona información valiosa sobre cómo la cactácea responde a diferentes estímulos, lo que puede ser fundamental para optimizar su crecimiento y conservación.

**Palabras clave:** Físico eléctrica, Arduino, Amplificador.

#### Abstract

Plants constantly interact with their environment and respond to biological and environmental stimuli. This article focuses on the study of cactus, an endemic cactus known for its medicinal properties. The plant responds to factors such as light, humidity, and nutrient availability through changes in its physio electric response. To enhance the understanding of these interactions, a monitoring system is proposed that allows real-time collection of electrophysiological data. An inverting amplifier (LM324) with a gain value of 5V was used to amplify the acquired signal from cactus. Electrophysiological measurements were taken using probes connected to the plant and the amplifier. The data was processed and displayed using an Arduino Uno, taking advantage of the Arduino's analog ports and its 10-bit analog-to-digital conversion (ADC) resolution. The article presents results from exposing the plant to three environmental factors: sunlight, shade, and watering. Different physio electric responses were observed in each case, with changes in the recorded output voltage. This monitoring approach provides valuable information on how cactus responds to different stimuli, which can be crucial for optimizing its growth and conservation.

**Keywords:** physio electric, Arduino, amplifier.



## INTRODUCCIÓN

Durante décadas, se ha investigado acerca de la señal eléctrica que generan las plantas. En la literatura existe una amplia información acerca del tipo de señal eléctrica en plantas, su generación y propagación (Ndung'u et al., 2021). Las señales eléctricas en plantas son generadas por un desequilibrio en las concentraciones de iones. Las plantas también pueden generar señales mecánicas o químicas, con la finalidad de transmitir información (Vetcha, 2021). En la literatura se reporta que las señales eléctricas son importantes para varias actividades fisiológicas de las plantas, como lo es la fotosíntesis. La respuesta eléctrica de las plantas a los estímulos ambientales puede medirse y relacionarse cuantitativamente con la intensidad de la fuente estimulante, como la radiación solar, el contenido de agua del suelo, las tasas de evapotranspiración, flujo de savia, etc. (Ríos-Rojas et al., 2015). Estas relaciones pueden utilizarse para evaluar la influencia de diferentes situaciones ambientales, por ejemplo, en la disponibilidad de agua para las plantas. La importancia de la señal eléctrica en plantas radica en que por medio de esta es posible analizar el estrés hídrico que se genera en plantas a razón de sequedad en el suelo.

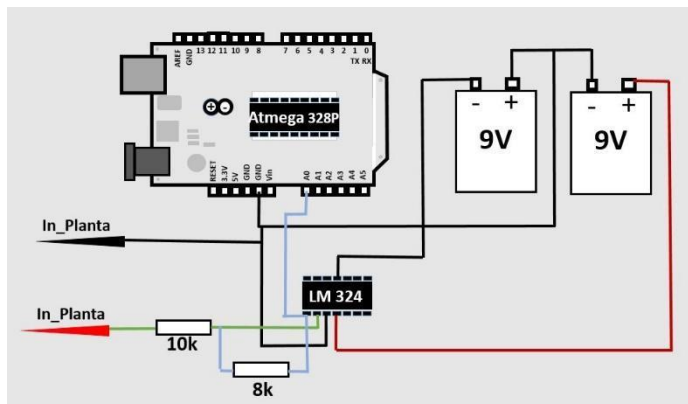
Por tanto, los cambios en variables ambientales generan modificaciones en la señal eléctrica, la cual se genera en el sitio de estimulación (Volkov, 2000; Volkov et al., 2004). Por otro lado, la señal eléctrica que genera una planta puede ser útil como sensor robusto para traducir información compleja del medio ambiente, considerando las plantas como sistemas de monitoreo (Cadosch, 2011). Debido a que las plantas constantemente recopilan información de su entorno, generando diversas respuestas biológicas. Las células, tejidos y órganos de las plantas tienen la capacidad de excitarse en respuesta a factores ambientales, lo que sincroniza sus funciones internas con su entorno. Esta sincronización se basa en estímulos externos relacionados con la excitabilidad de las células vegetales (Bruce et al., 2002; Pickaad, 1973).

La comprensión y gestión de los procesos biológicos en cualquier entorno se han vuelto esenciales, no sólo para mejorar la eficiencia de producción, sino también para contribuir a la conservación de las especies y reducir los impactos ambientales negativos. En este artículo, se explora la respuesta eléctrica de una cactácea; además de monitorear el control de la temperatura y la humedad, el seguimiento detallado de estas variables biológicas no solo mejora el rendimiento, sino que también abre nuevas oportunidades para la investigación e innovación en el campo de la agricultura. La cactácea empleada es endémica de las zonas desérticas del norte de México y sur de los Estados

Unidos. Se trata de una planta bien conocida por sus propiedades enteógenas y empleo como planta medicinal. Contiene más de 55 alcaloides aislados hasta la fecha, siendo la mezcalina el componente principal. Asimismo, algunas de las moléculas que produce esta planta tienen interés desde el punto de vista farmacológico. Como consecuencia de dicha demanda y de la excesiva recolección, esta especie está catalogada como especie en riesgo de extinción (Clavijo González, 2018). Para tener una mejor comprensión de las interacciones en las cactáceas y su entorno, es fundamental implementar un sistema de monitoreo que vaya más allá de las respuestas físicas a los cambios ambientales. Se debe comprender cómo los estímulos ambientales influyen en la respuesta fisiológica de esta variante biológica. La justificación para este enfoque radica en la importancia de comprender cómo la planta responde a una variedad de estímulos, lo que permite ajustar y optimizar las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la calidad del suelo, para lograr un óptimo crecimiento de la cactácea.

Al recopilar datos, se obtiene información valiosa para abordar los desafíos relacionados con el cuidado y la preservación de la especie. El sistema de monitoreo que se plantea usar será basado en la tarjeta de adquisición de datos Arduino, la cual es básicamente el control del sistema de monitoreo (Bajer et al., (2015). Dicha tarjeta es ampliamente utilizada (Guzmán-Fernández et al., 2012). Por ejemplo, sistemas para reconocer el llanto de bebés (Schubert et al., 2013), un sistema de reconocimiento para ADN (Kim et al., 2017), cámaras de bajo costo para el estudio del comportamiento animal (Devarakonda et al., 2016), para controlar la temperatura en invernaderos (Guzmán et al., 2019), e inclusive sistemas para aplicaciones en la física (Bueno-Hernández et al., 2017), entre otros (Wen-Hsuan et al., 2016; Carrera-Escobedo et al., 2019; Guzmán-Valdivia et al., 2021).

El objetivo de este trabajo es implementar un sistema de monitoreo que permita la recopilación de datos electrofisiológicos para analizar el comportamiento de esta variable biológica frente a diversos factores ambientales. Esto se logrará mediante el desarrollo de sensores que recopilan información electrofisiológica del ejemplar biológico en tiempo real, lo que proporciona datos que reflejan la respuesta electrofisiológica de la cactácea ante diferentes estímulos ambientales luminosos, como cambios en la humedad, la temperatura y el sustrato.

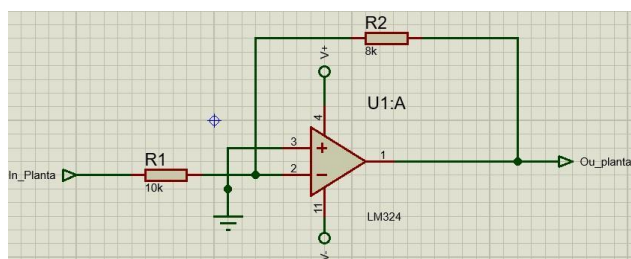


### MATERIALES Y MÉTODOS

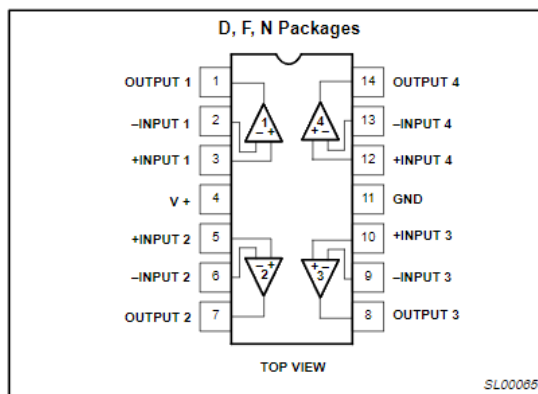
Para poder determinar la respuesta físico eléctrica de la cactácea, es importante determinar la salida de la señal de la especie, cómo el cambio de voltaje influye al ser expuesta a distintos factores ambientales como la luz solar directa, sombra y estrés hídrico. Para eso se determinó el uso de un amplificador no inversor que permite amplificar la señal adquirida por la cactácea donde con un arreglo de resistencia y un amplificador operacional Lm324 (Fig. 1; Fig. 2), que fue calculado en base a una ganancia de 5V ya que el arduino en una entrada analógica puede tomar valores de 0 a 5 volts. Por lo que la ganancia que se eligió de esa manera y tomando arbitrariamente el valor de R1 con la siguiente fórmula de ganancia (Ec. 1) despejando R2 podemos determinar su valor (Ec. 2).

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_3} \quad (\text{Ec } 1).$$

$$R_2 = \frac{(A-1)R_1}{A} \quad (\text{Ec } 2).$$



**Figura 1.** Esquema de circuito amplificador de señal.



**Figura 2.** Esquema de conexión del amplificador operacional LM324N.

Se tiene como resultado que R2 resulta de 8 Kohm, alimentando el amplificador operacional (Fig. 2) con fuente dual de +/- 9V que realizar con baterías alcalinas. Para la extracción de las señales electrofisiológicas de la especie se diseñaron dos sondas con agujas previamente esterilizadas y cable que permite la adquisición de datos donde se conectan a la planta y a la entrada de nuestro amplificador.

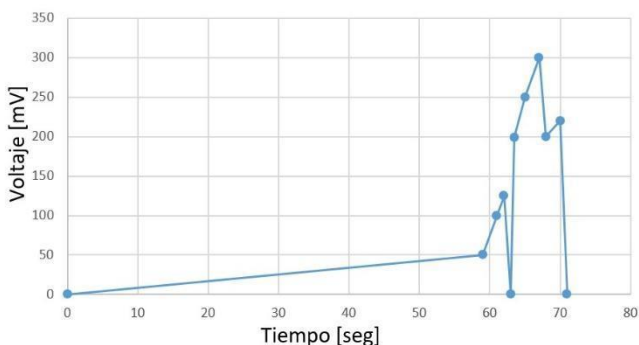
Para el procesado y visualización de los datos obtenidos se utilizó un Arduino Uno, tomando en cuenta los puertos analógicos ya que se tiene que aprovechar la tecnología de arduino al tener ADC integrado en estos puertos. Para poder interpretar la señal en un puerto analógico de arduino en términos de voltaje se debe comprender la resolución de conversión analógico a digital (ADC) del arduino.

El Arduino típico tiene un ADC de 10 bits, lo que significa que puede representar valores de voltaje en un rango de 0 a 5 voltios (la tensión de referencia predeterminada) con una resolución de 1024 pasos (2<sup>10</sup>). Para convertir el valor leído por el puerto analógico en voltaje se aplica la fórmula de voltaje (Ec 3).

$$\text{Voltaje} = \frac{\text{valor inicial}}{1023} (\text{Tensión de referencia}) \quad (\text{Ec } 3).$$

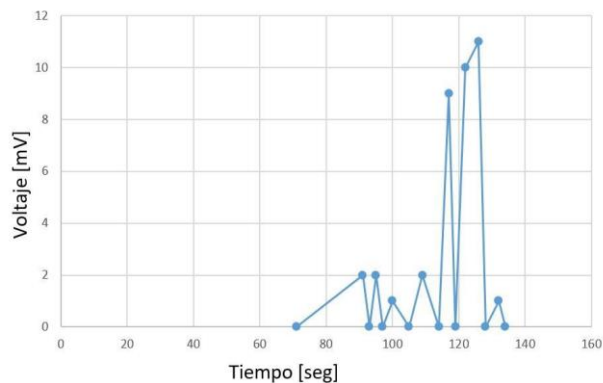
## RESULTADOS Y DISCUSION

La especie por analizar se expuso a tres factores ambientales: luz solar, sombra y exceso de agua donde podemos observar como la respuesta electrofisiológica de la especie es distinta en los tres factores a los que se expuso. En la Figura 3 se puede apreciar como la exposición a la luz solar, al ser expuesta en los primeros 10 segundos de contacto con la luz directa del sol, a una temperatura ambiente de 23°C, adquiriendo datos de hasta 300 que convirtiendo a voltaje tenemos una tensión de 1.46mV.



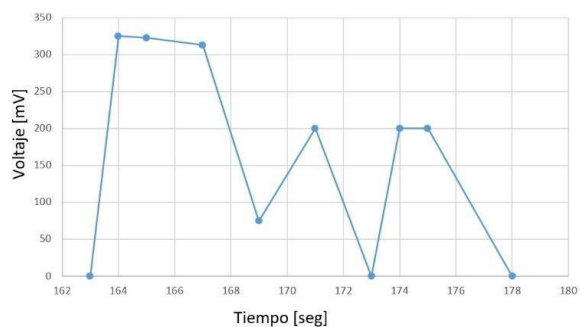
**Figura 3.** Cactácea expuesta a luz.

Al colocar la cactácea en sombra con temperatura de 19 °C los resultados que se pueden ver en la figura 5, se vieron alterados comparando con la lectura anterior (Fig. 4) lo que permite concluir que los factores ambientales a los que la estamos exponiendo son motivo para que esta arroje un cambio significativo en su respuesta eléctrica, dando como valor pico de 0.058mV en un periodo de 24 segundos. El tiempo que transcurrió para ver una lectura al cambiarlo de sol a sombra fue de 82 segundos de la última lectura en sol a la primera lectura en sombra como se puede ver en la Figura 4, el valor pico alcanzado fue de 0.053mV. Podemos determinar ese valor de voltaje gracias a la conversión de la ecuación 3.



**Figura 4.** Cactácea expuesta a la sombra.

Cuando se comenzó a suministrar agua a la cactácea el valor analógico se disparó a valores por encima de los 300, manteniendo como se puede ver en la Figura 5, valores altos que realizando la conversión da como resultado un valor pico de voltaje de 1.66mV; lo que hace notar que su respuesta al agua es mayor que al exponerla a la luz solar como se ve en la Figura 5.



**Figura 5.** Cactácea expuesta a exceso de agua.

## CONCLUSIONES

El estudio de la respuesta electrofisiológica de la cactácea ante estímulos ambientales como luz, sombra y riego reveló cambios significativos en su actividad eléctrica. El uso de un sistema de monitoreo basado en un amplificador no inversor y un Arduino Uno permitió registrar estos cambios con precisión. Los resultados obtenidos demostraron que la planta mostró respuestas eléctricas distintas ante diferentes condiciones ambientales. La exposición a la luz solar, la sombra y el exceso de agua generaron variaciones notables en el voltaje registrado. Por ejemplo, la luz solar produjo un pico de 1.46mV, mientras que la sombra y el riego mostraron valores menores de 0.058mV y 1.66mV respectivamente. Estos hallazgos son fundamentales para comprender cómo

factores como la luz, la humedad y otros estímulos influyen en la actividad electrofisiológica de la planta. Esta comprensión puede ser crucial para optimizar el crecimiento y la conservación de la cactácea, una especie en riesgo de extinción debido a la recolección excesiva.

## REFERENCIAS

- Bajer L, Krejcar O (2015) Design and realization of low cost control for green house environment with remote control. *IFAC-Papers On Line* 48(4):368–373. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.062>
- Bueno-Hernández D, Rupesh K, Roberto M, Marty JL (2017). Low cost optical device for detection of fluorescence from Ochratoxin A using a CMOS sensor. *Sensors Actuators B* 246:606–614. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.02.097>
- Bruce, R., Johnson, R. A., Wytenbach, R., Wayne, R., & Ronald, R. (2002). Action Potentials in a Giant Algal Cell: A Comparative Approach to Mechanisms and Evolution of Excitability. *The Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 1(1), 22-29.
- Cadosch, D., P. -T. Huang, D. D. Damian, S. Miyashita, A. Aoyama and R. Pfeifer. (2011). "Attempt on plant machine interface," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 791-796, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ICSMC.2011.6083749>
- Carrera-Escobedo Jose L., Guzman-Valdivia Cesar H., Ortiz-Rivera A., Garcia-Ruiz M. & Cruz-Dominguez O. (2019). Quantitative assesment of the improvement of the drying process by increasing the turbulence level. *Thermal Science* 2019 Volume 23, Issue 2 Part B, Pages: 953-963. <https://doi.org/10.2298/TSCII170509189C>
- Clavijo González, N. (2018). "Etnobotánica de *Lophophora williamsii*." Trabajo Fin de Grado inédito, Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Devarakonda K, Nguyen KP, Kravitz AV (2016) ROBucket: a low cost operant chamber based on the Arduino microcontroller. *Behav Res Methods* 48:503–509. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0603-2>
- Fuentes Martínez, N., Rodríguez Abdala, V., Ortiz Esquivel, D., Ortega Sigala, J., Sifuentes Gallardo, C., Cleva, M., Cruz Domínguez, O. (2023). "Determinación de la Respuesta Electrofisiológica de lenteja en pastizales utilizando Arduino." *Congreso Internacional De Manejo de Pastizales*, Tomo 2, 82-83.
- Guzmán-Fernández, M., Zambrano de la Torre, M., Ortega-Sigala, J. et al. (2021). Arduino: a Novel Solution to the Problem of High-Cost Experimental Equipment in Higher Education. *Exp Tech* 45, 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40799-021-00449-1>
- Guzmán-Valdivia, C.H.; Madrigal-López, O.; Désiga-Orenday, O.; Blanco-Ortega, A.; Berumen-Torres, J.A.; Gómez-Becerra, F.A. (2021). Design, Development and Control of a Therapeutic Robot Incorporating Aquatic Therapy for Ankle Rehabilitation. *Machines*, 9, 254. <https://doi.org/10.3390/machines9110254>
- Guzmán C, Carrera J, Berumen J, Ortiz A, Guirette O, Arroyo A, Brizuela J (2019). Implementation of virtual sensors for monitoring temperature in greenhouses using CFD and control. *Sensors* 19(1):60. <https://doi.org/10.3390/s19010060>
- Kim K-W, Lee M-S, Ryu M-H, Kim J-W (2016). Arduino-based automation of a DNA extraction system. *Technol Health Care* 24: 105–112. <https://doi.org/10.3233/THC-151048>
- Ríos-Rojas, Liliana. (2014). Electrophysiological assessment of water stress in fruit-bearing woody plants. *Journal of Plant Physiology* 171 (2014) 799–806. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2014.02.005>
- Ndung'u Ruth Wairimu, Kamweru Paul Kuria, Kirwa Abraham Tuwe. (2021). Action and variation potential electrical signals in higher plants. *African Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/10.33472/AFJBS.3.1.2021.1-18>
- Pickaard, B. G. (1973). Action potentials in higher plants. *The Botanical Review*, 39(2), Washington University, St. Louis, Missouri.
- Schubert T, D'Ausilio A, Canto R (2013). Using Arduino microcontroller boards to measure response latencies. *Behav Res Methods* 45:1332–1346. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0336-z>
- Vetcha Satya Lalitha Samhita. (2021). A Review on Plant Signal Processing. *7th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*. 978-1-6654-0521-8 ©2021 IEEE
- Volkov, A. G. (2000). Green plants: electrochemical interfaces. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 483(1-2), 150-156.
- Volkov, A. G., Dunkley, T. C., Morgan, S. A., Ruff II, D., Boyce, Y. L. and Labady, A. J. (2004). Bioelectrochemical signaling in green plants induced by photosensory systems. *Bioelectrochemistry*, 63(1-2), 91-94.
- Wen-Hsuan K, Chi-Hung T, Sufen C, Ching-Chang W (2016). Development of a computer-assisted instrumentation curriculum for physics students: using LabVIEW and Arduino Platform. *J Sci Educ Technol* 25:427. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9603-y>

## Optimización en la producción de alimentos mediante el sistema ISO 9001:2015

### Optimization in food production through the ISO 9001:2015 system

Silva Aguilera, R.<sup>1</sup>, Garay Díaz, J.<sup>1</sup>, Figueroa Ibarra, G.<sup>1</sup>, Guirette-Barbosa, O.<sup>1</sup>,  
Cruz-Domínguez, O.<sup>1</sup>, Ortiz-Sánchez, L.<sup>2</sup>, Vera-Ponce, S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Zacatecas. Plan de Pardillo Sn, Parque Industrial, 99059 Fresnillo, Zac.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Francisco García Salinas, Col. Centro. Zacatecas, Zacatecas.

\* Corresponding Author: jgaray@upz.edu.mx

Recibido: 27 de septiembre de 2023

Aceptado: 20 de diciembre 2023

#### Resumen

El sector microempresario en alimentación dentro del municipio de Fresnillo, Zacatecas, México, presenta grandes retos entre los cuales se puede encontrar una baja estandarización y control de los procesos lo cual afecta directamente la competitividad y resultados de las pequeñas empresas dedicadas a este giro. El presente proyecto busca evidenciar la importancia de la aplicación de un sistema documental para la gestión, control y producción de los procesos y procedimientos en las actividades realizadas dentro de una microempresa del sector alimentario en el municipio de Fresnillo, Zacatecas, México; con el fin de lograr un control de los flujos en cada fase o estación de la organización y establecer la implementación de la Gestión de la Calidad bajo la Norma ISO 9001:2015 lo cual ayudó a lograr una mayor calidad y estandarización en productos y servicios dentro del establecimiento.

**Palabras clave:** Alcance, implementación, flujo de procesos, documentación, calidad.

#### Abstract

The food microbusiness sector in the municipality of Fresnillo, Zacatecas, Mexico, presents great challenges among which can be found a low standardization and control of processes which directly affects the competitiveness and results of small businesses engaged in this business. This project seeks to demonstrate the importance of the application of a documentary system for the management, control and production of processes and procedures in the activities carried out within a microenterprise of the food sector in the municipality of Fresnillo, Zacatecas, Mexico; in order to achieve a control of the flows in each phase or station of the organization and establish the implementation of Quality Management under ISO 9001:2015 which helped to achieve higher quality and standardization in products and services within the establishment.

**Keywords:** Reach, implementation, process flow, documentation, quality.



## INTRODUCCIÓN

La Documentación de Gestión de Calidad tiene como objetivo describir el sistema de gestión de calidad realizado para cualquier empresa, en este caso es para apoyar a las microempresas del sector de alimentación, basado en la Norma ISO 9001:2015. Esto con el fin de asegurar la calidad en productos y servicios dentro de los establecimientos (Martínez, 2017).

Este proyecto se realizó dentro de una microempresa de la región, con una trayectoria de 50 años. Dicha microempresa ha transcurrido por generaciones. Esta microempresa ha logrado establecerse como una fuerte competencia de la misma región. Por otro lado, se conoce que el municipio es un lugar donde el consumo de este producto es importante dentro de la cultura y gastronomía local. Los principales proveedores de los insumos para la transformación del producto son comerciantes locales y es debido a esto, que la implementación del SGC tiene un impacto mayor.

### **Antecedentes de la empresa del sector de alimentación.**

Normalmente, las microempresas cuando se establecen no implementan un proyecto basado en normas, por lo que no se tiene un control de la empresa, en flujos, tiempos, documentación, ni gestión. Es por ello por lo que existe un área de oportunidad en este sector para así poder establecer beneficios en aspectos tales como en la calidad del producto realizado.

De esta manera se logra un incremento en la satisfacción al cliente en general, y procesos más ágiles y eficaces que permitan una mejora en el servicio, niveles de confianza y seguridad, así como en la preferencia del negocio por parte del consumidor (Carreño, 2020). La implementación del presente proyecto trajo consigo beneficios en la calidad del producto realizado dando satisfacción al cliente en general. Además, se tuvo una mejora en la atención al cliente, pues se logró hacer más eficiente y eficaz el servicio, generando mayor confianza, seguridad y preferencia al consumidor final.

Esta investigación toma relevancia al demostrar que es posible aplicar este tipo de herramientas en microempresas en alimentación dentro del municipio de Fresnillo, Zacatecas, México. Durante la presente investigación se presentaron grandes retos, entre los cuales se puede encontrar una baja estandarización y control de los procesos lo cual afecta directamente la competitividad y resultados de las pequeñas empresas dedicadas a este giro (Fresnillo: Data México, 2020).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación aborda la aplicación y difusión respecto a la elaboración de flujos, documentos y procedimientos con el fin de establecer directrices generales que permitan la documentación y operación eficaz de un sistema de gestión de calidad (SGC) de acuerdo con los lineamientos de la norma internacional ISO 9001:2015, con el fin de asegurar, mantener y controlar la calidad que ofrecen los establecimientos en cuanto al servicio del cliente.

**La norma ISO 9001:2015.** Un Sistema de Gestión de la Calidad basado en la norma ISO 9001 puede y tiene que ser medible. Para llevar a cabo dicha medición se pueden emplear distintos instrumentos. Un ejemplo de ello se puede encontrar de la manera siguiente: “se trata de un instrumento que posibilita la medición de una serie de exigencias que debe tener una entidad que desea certificarse bajo los requisitos de la norma ISO 9001:2015”.

Dicho instrumento presenta una escala valorativa con la que es posible esclarecer el nivel de cumplimiento de la entidad frente a las exigencias de la norma ISO 9001. Generando así un mecanismo que permitirá la realización del diagnóstico de la organización.

## RESULTADOS

### **Contexto de la organización para las microempresas del sector de alimentación**

**Análisis FODA.** Como primer paso, se identificó la realidad organizacional de la microempresa considerada para el presente estudio, se realizó un análisis FODA en el establecimiento lo cual ayudó a identificar las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas del negocio. Los resultados de dicho análisis se presentan en la Figura 1.



**Figura 1.** Resultados del análisis FODA aplicado a la empresa. Fuente: elaboración propia.

**Liderazgo y compromiso.** Se adopta una postura rígida de Liderazgo y Compromiso para así poder crear, mantener y comunicar a cada una de las personas que forman parte de la organización la importancia de satisfacer los requisitos propios del cliente. Así como los requisitos legales y reglamentarios que se establecen. Es por eso, que se ha implantado la Ley Orgánica de Protección de Datos y las medidas necesarias para la seguridad y protección de los datos que son de carácter personal. Así como de todos los consumidores con las empresas que establece o pueda establecer futuras relaciones negociables o laborales en función del legítimo ejercicio de su actividad y sobre las cuales se recaban, registran y tratan de manera automatizada datos de carácter personal. Corrales Ojeado (2016).

**Política de la Calidad.** Para toda empresa estar consciente de la importancia que tiene consolidar una cultura de la calidad en el ámbito de la elaboración de alimentos es fundamental independientemente de su tamaño, por lo que considera que “La calidad es el principal motor, tanto en sus productos como en sus servicios, por lo que todos sus procesos están basados en el principio de la “Mejora Continua” desde que el cliente, hace su pedido, la creación del producto, las pruebas, la entrega y hasta el servicio post venta” Siempre buscando la plena satisfacción del cliente (Bravi et al., 2019).

La política de calidad debe ser coherente con la misión y el contexto de la organización y constituye el marco de referencia para el establecimiento y revisión de los objetivos de la calidad. La política de la calidad se revisa por el equipo directivo en sus respectivas reuniones de revisión del Sistema de Gestión de Calidad (SGC).

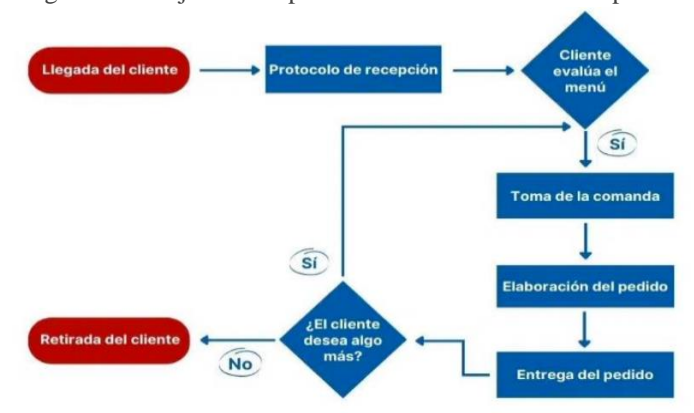
**Planificación.** La empresa debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), incluyendo los procesos necesarios y sus interacciones de acuerdo con los requisitos de la norma que busca implementar, en este caso ISO 9001:2015.

**Apoyo.** Se distingue por el proceso donde el equipo directivo designa y proporciona los recursos necesarios para el establecimiento, la implementación, el mantenimiento y la mejora continua del SGC, considerando: las capacidades actuales y limitaciones de los recursos internos existentes, así como las necesidades que serán cubiertas mediante proveedores externos.

**Operación.** La salida de esta planificación es del todo adecuada para las operaciones de la empresa, pues controla todos los cambios planificados y revisa las consecuencias de los cambios previstos y no previstos. Lo anterior es tomando acciones para mitigar cualquier efecto adverso, según sea necesario. Toda la información, que sobre dicha planificación se realiza, se describe y controla, debe ir de acuerdo con lo indicado en el procedimiento “PG03 Control de las salidas no conformes”.

Se identifica de acuerdo con el análisis realizado, que dos de los procesos más importantes dentro de la operación del negocio tienen que ver con el flujo del cliente y de la orden en la cocina. Los diagramas correspondientes a estos procesos se muestran a continuación en la Figura 2 y Figura 3 respectivamente.

**Diagramas de flujo de la Empresa.** La figura 2 muestra el diagrama de flujo de las operaciones realizadas en la empresa.



**Figura 2.** Diagrama de flujo del cliente. Fuente: Elaboración propia

La figura 3 esquematiza las actividades a cumplir para la realización de los pedidos de alimentos.



**Figura 3.** Diagrama de flujo del pedido. Fuente: Elaboración propia.

**Evaluación del Desempeño.** Dentro de este paso, se llevó a cabo la planificación y la implementación de las actividades de seguimiento, medición, análisis y evaluación para poder lograr lo siguiente:

- Demostrar la conformidad con los requisitos del producto.
- Asegurar la conformidad del sistema de gestión de la calidad.
- Mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

**Mejora.** En este punto se determinaron y seleccionaron las oportunidades de mejora así también se dio a conocer el análisis a la empresa para que pudiera implementar cualquier acción necesaria para cumplir con los requisitos que se tenga del cliente aumentando así la satisfacción de este. Las oportunidades incluyen:

- La mejora de los productos y servicios para cumplir los requisitos, así como considerar las necesidades y expectativas.
- La corrección, prevención o reducción de los efectos no deseados.
- La mejora del desempeño y la eficacia del Sistema de Gestión de Calidad y del Sistema de Garantía Interna de Calidad.

**Propuestas Generales a la Microempresa de alimentación al aplicar la documentación del Sistema de Gestión de Calidad.** Al finalizar el desarrollo del proyecto se propone a la empresa que para lograr la correcta elaboración e implementación de un sistema de gestión de calidad basado en la familia de las Normas ISO 9000 se recomienda iniciar con el estudio y el diagnóstico de la estructura de toda empresa, el entorno externo e interno de la empresa y la misión, visión y los objetivos de la misma con el fin de que la organización

desarrolle competitividad, evolución constante y efectividad en los procesos para lo cual es necesario realizar la actualización de la documentación de forma que ésta siempre se encuentre vigente con los cambios respectivos (González Enríquez, 2022).

## CONCLUSIONES

El proyecto permitió identificar el diagnóstico de la realidad organizacional a través de la aplicación de la herramienta FODA, esto sirvió de base para el desarrollo del sistema de gestión de calidad basándonos en la norma ISO 9001:2015. Se observa también que a partir de la realización del proyecto que la mayoría de las empresas carecen tanto del análisis como de la aplicación de este tipo de sistemas de gestión de calidad, lo cual es de suma importancia, el hecho de tener un sistema de calidad vigente y a base de una norma en este caso la 9001:2015 además de darle mayor prestigio y credibilidad a la empresa refleja un incremento en el control de sus procesos, reducción de costos, ampliación de mercado y en este caso, una estandarización de los productos alimenticios. El aplicarlo en una microempresa convirtió a esta organización en una pionera en el municipio en aplicar este tipo de sistemas en sus procesos y por lo tanto les dio una ventaja competitiva con respecto a las otras empresas del sector.

## REFERENCIAS

- Arango, M. (2020). Propuesta para el logro de la competitividad de las empresas del sector de alimentos en Colombia a partir de la implementación de la Norma ISO 9001:2015.
- Bravi, L., Murmura, F., & Santos, G. (2019). The ISO 9001:2015 Quality Management System Standard: Companies' Drivers, benefits and Barriers to its implementation. *Quality, Innovation, Prosperity*, 23(2), 64.
- Camisón, C., Cruz S. *Gestión de la Calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Editorial Pearson.
- Cárdenas, N. (2019). Propuesta de aplicación de herramientas de manufactura esbelta a la gestión de la cadena de suministros en industrias alimentarias de consumo masivo en el Perú. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8300>
- Carreño, A. *Alimentaria*, G. D. L. C. E. L. I. (s/f). *Gestión de la Calidad en la Industria Alimentaria*. Editorial Éxodo.
- Coca, N. Cañas, C. (2020). Análisis de la Importancia de la implementación del sistema HACCP en la Industria Alimentaria para la Gestión de la Calidad ISO9001:2015.

- Recuperado de: <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/3994>
- Corrales Ojeado (2016) Implantación de un sistema de gestión de la calidad según la ISO 9001 Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/37074>.
- Dumar, J. Sección 3. Liderazgo y planificación del sistema de gestión: Capítulo 5 de la ISO 9001 2015. (2022). Editorial CECAR. Disponible en: <https://libros.cecar.edu.co/index.php/CECAR/catalog/view/139/193/2823-1>
- Dumar, J. Sección 4. Puesta en marcha del sistema de gestión: capítulo 7 de ISO 9001 2015. (2022). En Implementación de ISO 9001 2015 bajo la perspectiva de la enseñanza y aprendizaje. Editorial CECAR. Disponible en: <https://libros.cecar.edu.co/index.php/CECAR/catalog/view/139/193/2823-1>
- Engo, Nora; Fuxman, Amanda; Gonzalez, Claudia Beatriz; Negri, Livia; Polenta, Gustavo Alberto; et al.; Desarrollo de las exigencias sobre calidad e inocuidad de alimentos en el mundo (2025); Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva; 2015; 290
- Flores Espinoza, A. (2021). Implementación del método 5 “s” para la mejora de procesos en tres empresas alimentarias Mypes. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Fresnillo: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (2020). Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/fr/esnillo>
- Gavidia, J. (2019). Herramientas de gestión de calidad y el incremento de la producción en la industria alimentaria en Latinoamérica en los últimos 10 años: revisiones sistemáticas (Trabajo de investigación).
- González Enríquez, (2022). Implementación de un sistema de gestión de calidad e inocuidad alimentaria en una comercializadora de alimentos. <https://www.redalyc.org/journal/944/94472192002/html/>
- Hernández, A. (2015). Análisis comparativo de los problemas presentes en la implantación del sistema de gestión de calidad Iso 9001 en empresas del sector alimenticio ecuatoriano y propuesta de alternativas de solución. Recuperado de: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10640>
- Leyva, K. A. (2023). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing para incrementar la eficiencia de la línea procesadora de alimentos balanceados de la empresa San Carlos E. I. R. L. en el año 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/33731>
- López, P. Novedades ISO 9001:2015. Editorial FC, edición: 2016.
- Martínez, J. A. G. (2017). Guía para la aplicación de ISO 9001:2015.
- Montero, G. B., Rivera, J. G. & Murcia, J. M. (2022). Implementación de Sistema de Gestión En Seguridad Alimentaria bajo las Normas ISO 22000:2018 e ISO 9001:2015 bajo Lineamientos BPM y HACCP en la Empresa de Tortas Monttini S.A.S. [Diplomado de profundización para grado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/53396> Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/23288>
- Paucar, K. (2018). Sistema de gestión alimentaria y su relación con la norma ISO 9001 en la empresa Agroimper, Huaura. Recuperado de: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2750>
- Ramírez, D. (2020). Herramientas y técnicas de mejora de la calidad en la industria de alimentos latinoamericana y su aporte a la competitividad organizacional. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8507>
- Saravia, G. (2021). Estudio de casos de aplicación de herramientas de calidad durante el proceso de implementación del sistema de gestión de calidad del ISO 9001:2015 en empresas de procesamiento de alimentos. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18047>
- Tigre, F. Martínez, R. (2019). Modelo de aplicación de gestión de calidad iso 9001:2015, en las líneas de producción de confites y galletas en la empresa Galcondor Cía. Ltda. Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29896>



# Detección y Estimación del Peso de Granos Llenos de una Muestra de Arroz Cáscara, Empleando Procesamiento Digital de Imágenes con ImageJ®

## Detection and Estimation of the Weight of Filled Grains From a Paddy Rice Sample, Using Digital Image Processing with ImageJ®

Cleva M.<sup>1\*</sup>, Liska D.<sup>1</sup>, Rodríguez-Hernández, B.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigación Aplicada en Tecnología de la Información y Comunicación. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Resistencia. French 414, Resistencia, Chaco 3500, Argentina

<sup>2</sup>Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas. Jdn. Juárez #147, Centro Histórico, 98000. Zacatecas

\* Corresponding Author: [clevamario@hotmail.com](mailto:clevamario@hotmail.com)

Recibido: 13 de junio 2023

Aceptado: 20 de diciembre 2023

### Resumen

La identificación y determinación del peso de granos llenos y vanos de arroz extraídos de una panoja es una variable relacionada a características genéticas de las plantas, a las condiciones ambientales durante el llenado de grano e influyen en el rendimiento. El Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) es una herramienta objetiva, eficaz y aplicable a diferentes procesos de identificación y clasificación. Es útil para la caracterización morfológica de granos y semillas. El objetivo de este trabajo es presentar una técnica basada en PDI para la identificación de granos llenos y la estimación del peso de estos. Emplea una imagen de la muestra obtenida con un escáner de escritorio con adaptador de transparencias, una balanza y el programa ImageJ®, La detección de los granos llenos se realizó empleando el histograma del grano. El porcentaje de reconocimiento de granos fue en promedio de un 85%. Para la estimación del peso, se correlacionaron los píxeles correspondientes al área proyectada de los granos con su peso. Los valores obtenidos, tienen un error del 1.2% en promedio. El método propuesto es operacionalmente sencillo, eficiente y no requiere de un entrenamiento previo ni de equipamiento especial.

**Palabras clave:** Clasificación, Histograma, Peso por pixel, Transparencia.

### Abstract

The identification and determination of the weight of full and empty grains of rice extracted from a panicle is a variable related to genetic characteristics of the plants, to the environmental conditions during grain filling and influence yield. Digital Image Processing (DIP) is an objective, effective tool applicable to different identification and classification processes. It is useful for the morphological characterization of grains and seeds. The objective of this work is to present a technique based on PDI for the identification of full grains and the estimation of their weight. It uses an image of the sample obtained with a desktop scanner with a transparency adapter, a scale and the ImageJ® program. The detection of full grains was carried out using the grain histogram. The grain recognition percentage was on average 85%. For weight estimation, the pixels corresponding to the projected area of the grains were correlated with their weight. The values obtained have an error of 1.2% on average. The proposed method is operationally simple, efficient and does not require prior training or special equipment.

**Keywords:** Classification, Histogram, Weight per pixel, Transparency.

## INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*) es un cultivo de particular interés en todo el mundo. Tanto a nivel mundial como regional, mucha de la investigación realizada sobre el cultivo apunta al incremento de los rindes, en modelos de producción sostenible. De acuerdo con los que menciona el Centro Internacional de Agricultura Tropical (1986), implica la necesidad de conocer la naturaleza del rendimiento para poder manejar los diferentes factores inherentes al cultivo y al ambiente (componentes bióticos y abióticos) con miras a optimizar la producción. En este contexto, la meta que cuenta es el rendimiento en grano, que depende de la cantidad de panojas/área; el número de granos/panoja; el porcentaje de granos llenos y el peso de los 1000 granos.

En ensayos/parcelas experimentales es habitual la determinación de cada componente del rendimiento por lo cual la búsqueda de métodos que faciliten tales tareas es constante. Para ello se emplean métodos manuales de determinación que requieren de personal entrenado para hacerlo. Las limitaciones en cuanto a la aplicación de recursos de carácter tecnológico están dadas por los costos que implica su empleo. Por otra parte, ayudan a mejorar y acelerar las tareas mencionadas evitando la subjetividad propia de los métodos manuales. También optimizan el empleo de los recursos humanos calificados. La aplicación del Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) a la industria y a la producción agrícola se vio favorecida por el abaratamiento en los sistemas de adquisición de imágenes (escáneres, cámaras digitales, etc.).

Son numerosos los desarrollos hechos en los últimos años en relación con el procesamiento de imágenes aplicados a granos y semillas. Zhou y col (2023) proponen un sistema de imágenes duales termo infrarrojas y de luz visible para detectar rápidamente la tasa de fijación de semillas en arroz. La fusión de métodos logra una precisión del 97.66%, destacando por su eficiencia y potencial en la detección de la tasa. Wang y col (2022) presentan un sistema que permite estimar la calidad del arroz de manera precisa para la seguridad alimentaria y el impacto socioeconómico. Se presenta un sistema automático de estimación visual que clasifica granos según defectos, utilizando un innovador flujo de trabajo multietapa y una métrica para evaluar la calidad con precisión. Los contenidos de humedad son analizados por Makky y col (2019), quienes hicieron el estudio sobre variedades de arroz en Sumatra occidental, mediante un método no destructivo utilizando espectroscopía infrarroja de onda corta. Los modelos de calibración mostraron alta correlación y precisión, demostrando que la humedad de los granos de arroz puede identificarse con precisión mediante este enfoque no destructivo.

Por otra parte, un parámetro importante es la tasa de establecimiento de semillas de arroz para calcular los rendimientos y analizar la genética de este. Guo y col (2022) proponen un método basado en segmentación de imágenes y aprendizaje profundo para identificar automáticamente los granos y calcular este parámetro. Utilizando un algoritmo de optimización, se logra una precisión del 99.43%. Este enfoque no invasivo y efectivo es aplicable a cultivos como soja, trigo y otros con características similares. Cleva y col (2013) proponen un método basado en PDI para la determinación del volumen de un grano de arroz, con un error del 3% en promedio. Samrendra y col (2020) usan técnicas de aprendizaje supervisado para determinar tamaño y peso de diferentes variedades de arroz descascarado y pulido. En la mayoría de estos trabajos, el análisis se realiza sobre en una etapa posterior al descascarado y pulido y previa al consumo humano.

Existen así mismos desarrollos significativos para etapas previas a la cosecha. Para al reconocimiento de granos llenos y vanos, Liu y col (2016) desarrollaron un método de análisis de imágenes caracterizados por su rapidez y eficiencia. Utilizaron cuatro fuentes de luz para generar sombras desde diferentes direcciones y emplearon una cinta transportadora con velocidad controlada. La técnica de máquina de vectores de soporte demostró alta precisión, indicando su potencial para mejorar la evaluación de características en la investigación agrícola. Wang y col (2022) proponen un método de detección y conteo de panojas de arroz mediante aprendizaje profundo, diseñado para imágenes de campos de arroz extensos. YOLOv5 se selecciona como el mejor detector con una precisión del 92.77%. Introducen un método mejorado para eliminar detecciones repetidas, demostrando robustez y precisión en diversas condiciones.

El empleo de software de libre distribución o gratuito, permite emplear algoritmos para extraer información de las imágenes adquiridas. Existen diversos programas para el PDI como ImageJ® (Versión 1.53s; National Institutes of Health, Bethesda, MD, EE. UU). Este es un software de dominio público programado en Java y desarrollado en el National Institutes of Health. ImageJ fue diseñado con una arquitectura abierta que proporciona extensibilidad vía plugins Java y permite programar macros, que posibilitan la realización de secuencias de cálculo reiterativas. También desde el mismo programa se puede hacer la captura de la imagen desde el escáner con el empleo de un plugin. ImageJ es un software de amplia difusión en el ambiente académico científico. Santos y col (2019) proponen reemplazar las antiguas mediciones manuales de dimensiones en granos de arroz por tecnologías de imagen, permitiendo una evaluación

más rápida de la calidad del arroz basada en características físicas. Zhao y col (2023) propone un modelo de aprendizaje profundo, para medir automáticamente el número y tamaño de semillas de arroz. Comparado con ImageJ, este modelo mostró resultados prometedores con un error medio cuadrático no superior a 0.11 para 900 semillas. Lee y col (2019) proponen utilizar imágenes RGB y técnicas de procesamiento con ImageJ para cuantificar de manera precisa la progresión del tizón en tallos de arroz, mejorando la evaluación tradicional basada en la percepción visual.

El objetivo de este trabajo es presentar una técnica para la detección y estimación del peso de granos llenos de una muestra de arroz cáscara, empleando PDI con ImageJ. La metodología propuesta es fiable y factible de implementar con equipos de baja complejidad (escáner y un software de libre distribución) y puede impactar positivamente facilitando las labores tanto del sector productivo como de los grupos de investigación.

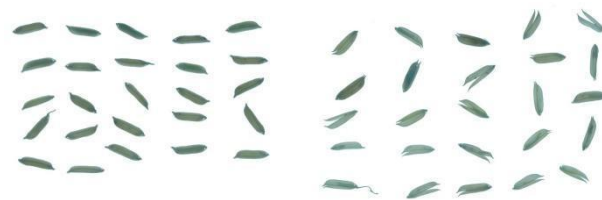
## MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento se realizó en dos etapas. Una etapa corresponde a la identificación de los granos vanos y llenos y la otra corresponde a la determinación del peso de los granos llenos. Estas etapas son independientes entre sí, Para ambas, se empleó un escáner de escritorio con adaptador de transparencias (empleada en la primera etapa), una balanza digital (empleada en la segunda etapa) y para ambas etapas el software de libre distribución ImageJ (Kuo y col 2016).

**Identificación de granos llenos y vanos.** Se seleccionaron manualmente dos conjuntos de granos: vanos y llenos. Esta clasificación resultó de la trilla manual de las panojas y la separación manual/visual de los granos obtenidos en las clases mencionadas. Con los granos preclasificados se prepararon un total de 10 muestras formadas cada una por 25 granos de arroz llenos y 25 granos de arroz vanos, de las cuales se obtuvieron sus imágenes empleando el escáner con el adaptador de transparencias. La selección de la cantidad de granos a analizar fue arbitraria, aunque estuvo limitada por la reducida región para la adquisición de transparencias disponible en el escáner. Si bien existen dispositivos para la distribución de los granos sobre la bandeja que evita que estén en contacto entre sí (Zuniga Picado y col, 2022), esta se realiza de forma manual. Esto evita demoras relacionadas con el empleo de algoritmos (Sampallo y col, 2016) para separar granos en una imagen.

Los registros se obtuvieron con una resolución de 300 dpi y en formato BMP. Este valor de resolución es elegido porque permite tener velocidades de procesamiento aceptables sin perder calidad y poseen un adecuado tamaño de almacenamiento. Los granos se colocan sobre la bandeja del

escáner susceptible a ser retroiluminada, obteniendo una imagen como la que se presenta en la Figura 1. En la misma se aprecia la diferencia de translucidez entre los granos llenos de la izquierda y vanos que se encuentran a la derecha.

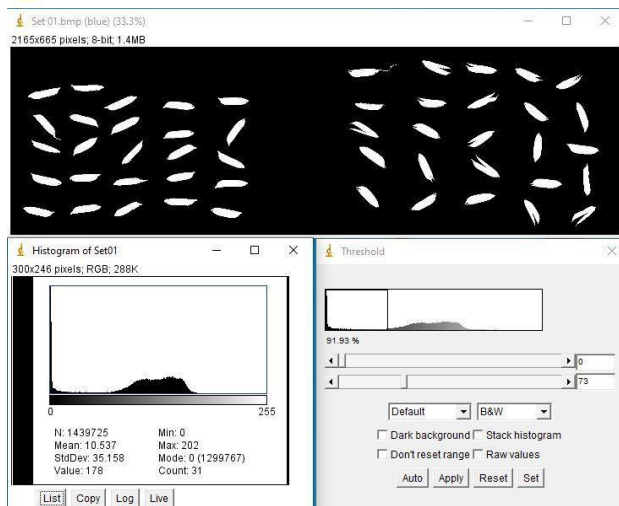


**Figura 1:** Imagen obtenida con adaptador de transparencias: Granos llenos (izquierda) y vanos (derecha)

Para mayor comodidad, se trabajó con el negativo de las imágenes obtenidas a fin de poder separar el fondo (tono oscuro) del grano (tono claro). Esta configuración se puede realizar desde el software de adquisición de imágenes del escáner o desde ImageJ. Posteriormente la imagen se separa en cada uno de sus canales para su análisis.

Una operación recurrente en el procesamiento de imágenes es la binarización de algunos de sus canales (Lurstwut y Pornpanomchai., 2017). Cada canal puede contener píxeles de un tono de 256 posibles. La binarización consiste en comparar el valor de intensidad de cada píxel contra uno denominado umbral (Tajima y Kato, 2011). Si el valor del píxel está por debajo de ese umbral, al píxel se le asigna el valor 0 y si está por encima, se le asigna el valor de 1 (o viceversa, dependiendo del problema). En este caso, el fondo oscuro se hace uniforme (valor 0) al igual que el objeto (valor 1) permitiendo la identificación de estos. La selección del umbral se realiza en función al histograma de la imagen.

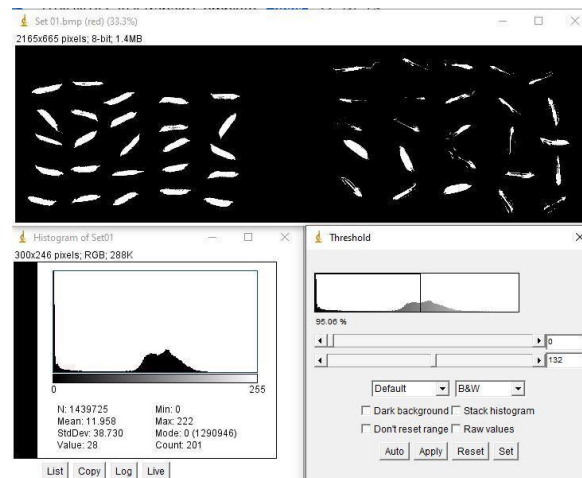
ImageJ también permite contar elementos presentes en una imagen binarizada (Muzzadiq y col, 2015), es decir todas las agrupaciones de píxeles contiguos que tengan una intensidad de 1. El conteo se puede filtrar empleando diferentes criterios para no incluir objetos que no representan granos. Uno de estos criterios es el tamaño del área, el cual permite eliminar objetos de dimensiones pequeñas que no pertenecen a las clases que se quieren identificar. Generalmente son impurezas o residuos que quedan en la bandeja del escáner durante el proceso de adquisición de la imagen. Para cualquiera de los canales se hizo una primera estimación del umbral a partir del cual se realizó la primera binarización. La Figura 2 presenta la imagen del canal azul sobre la cual se realizó esta operación.



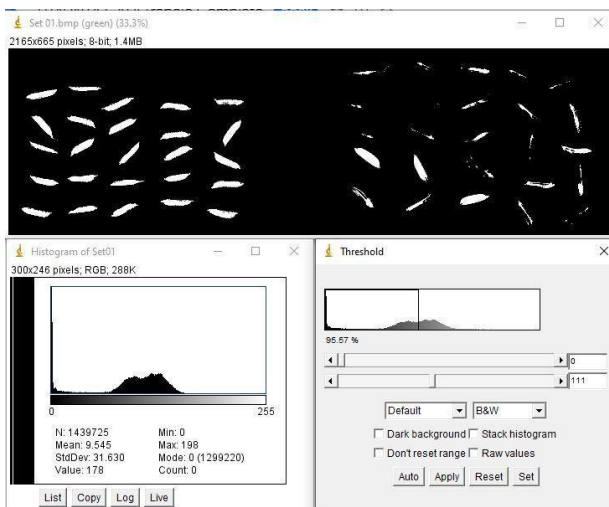
**Figura 2:** canal azul e histograma con primera binarización

Cualquier píxel con intensidad menor a 73 puede ser tomado como fondo y por encima como perteneciente al grano. A partir de esta binarización se determinó el número total de granos presentes en la imagen con la selección adecuada del área mínima (9 mm<sup>2</sup> en este caso) y que representa el valor mínimo de superficie para ser considerada como grano. En cualquiera de los canales la binarización fue igual de efectiva, ya que los granos contrastaron con el fondo sin dificultad. Se realizó luego sobre la imagen original de cada canal una segunda binarización con la intención de poder distinguir granos vanos y llenos a partir de la transparencia. El procedimiento es similar al descrito anteriormente para el conteo de granos. Para cada canal se analizó el histograma correspondiente para determinar si es visible la diferencia entre los granos vanos y llenos a partir de asumir que cada clase tiene histogramas diferentes (distribución bimodal). Como se comentó anteriormente, los granos vanos son más translúcidos que los llenos.

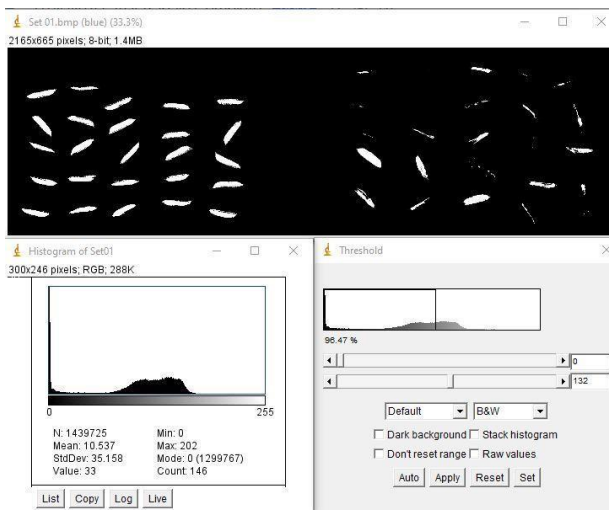
Las Figuras 3, 4 y 5 muestran las imágenes binarizadas de los canales rojo, verde y azul respectivamente. En la parte inferior de cada figura se presenta el histograma y la herramienta de binarización donde se puede visualizar el valor del umbral seleccionado. Este valor representa el punto de intersección entre los histogramas de los granos vacíos y llenos. La segunda binarización permite eliminar de la imagen parcialmente los granos vanos, por lo que el conteo de objetos en la imagen dará como resultado el total aproximado de granos llenos de la muestra.



**Figura 3:** Canal rojo, histograma y segunda binarización



**Figura 4:** Canal verde, histograma y segunda binarización



**Figura 5:** Canal azul, histograma y segunda binarización



A partir de la primera y segunda binarización, se puede calcular para la muestra analizada, el porcentaje de cada tipo de granos presentes en la muestra. Es importante destacar que el solapamiento entre gaussianas que se nota en el histograma representa píxeles de granos que pertenecen a ambas clases.

**Estimación del peso de los granos enteros de la muestra.** Se propone como estimador del peso de la muestra, al valor de la suma de las áreas proyectadas de los granos que la componen. Singh y col (2020) proponen una técnica similar pero con granos pulidos mostrando la relación existente entre cantidad de pixels y peso de la muestra. En una primera etapa, que es la etapa de calibración, se tomaron imágenes color de 5 muestras compuestas por alrededor de 100, 150, 200, 250 y 300 granos llenos (Figura 6). Para esta etapa, no es necesario el adaptador de transparencia del escáner para la obtención de las imágenes.



**Figura 6:** imagen de una porción de una muestra de granos para determinar el peso.

Se realizó, para cada imagen, la binarización del canal rojo para separar los granos del fondo. Con el factor de escala de la resolución de la imagen, se pudo obtener el valor del área proyectada de cada grano y el área proyectada total de la muestra en milímetros cuadrados. Se determinó luego el valor del peso de cada muestra con la balanza digital. Con los datos del área proyectada total para cada muestra y el peso determinado de las mismas, se construyó una gráfica del peso como función del área

proyectada para analizar la relación entre las variables área proyectada contra peso y construir una ecuación que vincula a dichas variables. Con el objetivo de validar la ecuación de ajuste, se prepararon otras 5 muestras de la misma variedad, se tomaron sus imágenes y se repitió el procedimiento para obtener las áreas proyectadas totales de los granos presentes en cada muestra y determinar las masas y aplicando la ecuación de regresión para compararlos con los obtenidos con la balanza y determinar el error correspondiente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En relación a la identificación de los granos llenos, en la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en el procesamiento de las imágenes. Para el canal rojo se tomó el nivel de intensidad 140 como umbral para granos llenos y vanos, para los canales azul y verde se optó por 130 y 109 respectivamente.

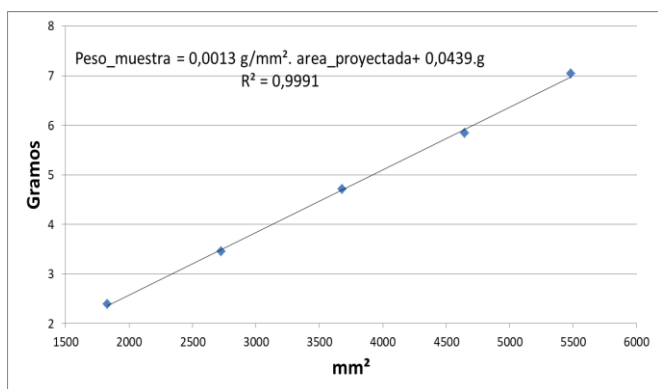
**Tabla 1:** Resultados de la identificación con sus desviaciones estándar respectivas.

Canal	Grano lleno (%)	Grano vano (%)	Ambas clases (%)
Rojo	71 ± 11	90 ± 6	10 ± 6
Azul	86 ± 7	88 ± 8	12 ± 8
Verde	98 ± 3	84 ± 9	17 ± 8

En la Tabla 1 los porcentajes presentados están en función del valor previamente conocido de la cantidad de granos de cada clase. Así, por ejemplo, en el canal rojo el 71% de granos llenos se expresa sobre los 25 granos que componen la muestra. Para el mismo canal el 90% de granos vanos reconocidos, se calcula sobre el total de esta clase en la muestra preclasificada. El 10% de la categoría “ambas clases” corresponde a los granos vanos, que fueron reconocidos como llenos. Idéntica información se presenta para los canales azul y verde. En todos los canales hay un porcentaje de granos pertenecientes a ambas clases. Los canales rojo y azul presentan los valores más bajos para esta categoría. Sin embargo, de todos los canales, el azul es el que presenta un porcentaje de aciertos mayor para la clasificación y el porcentaje de granos pertenecientes a ambas es apenas superior al que se puede visualizar en el canal rojo.

Para el caso de la determinación del peso, se construyó la gráfica de la Figura 7 de peso de la muestra en gramos en función del área proyectada total de la muestra en milímetros

cuadrados.



**Figura 7:** Peso de la muestra en función del área proyectada de los granos

En la gráfica se presenta la ecuación lineal de ajuste entre ambas variables y su coeficiente de correlación. La linealidad observada en esta curva de calibración, permite definir una cantidad a la que podemos denominar “peso por mm<sup>2</sup>” de área proyectada, que es la pendiente de la recta obtenida. Para las cinco muestras restantes, los valores de las áreas proyectadas de cada imagen fueron ingresados a la ecuación de ajuste, para obtener el peso correspondiente de cada muestra de control empleando la imagen digital. Luego se pesaron estas muestras, para determinar los errores porcentuales correspondientes. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Errores en la determinación de los pesos.

Muestras de validación	Total de granos	Área total (mm <sup>2</sup> )	Masa real (g)	Masa estimada (g)	Error (%)
1	195	3511	4.55	4.61	1.3
2	286	5203	6.71	6.81	1.5
3	301	5407	7.06	7.07	0.2
4	266	4851	6.28	6.35	1.1
5	339	6152	7.9	8.04	1.8
Promedio					1.2

## CONCLUSIONES

La técnica presentada tiene una serie de ventajas como ser el bajo requerimiento tanto de hardware como de software. También no es destructiva y permite almacenar imágenes e información de las muestras para otros fines o para revalidación

de las mismas. El procedimiento no consume tiempo, ya que las operaciones realizadas sobre las imágenes, se pueden automatizar programando macros, función disponible en ImageJ.

Actualmente se está trabajando en mejorar la capacidad de detección, sobre todo por el inconveniente que generan aquellos granos que pertenecen a ambas clases. Se deben buscar otras variables (como la longitud del perímetro del área proyectada) y procedimientos que definan la pertenencia a una u otra clase. Algunos granos vanos presentan una característica conocida como pico de loro o straighthead que puede ser usada como elemento clasificador. Los tiempos que implican los algoritmos que permitan analizar granos en contacto, es otra cuestión a analizar. Esto es debido a que la ubicación de los granos sobre la bandeja del escáner para que no estén en contacto entre sí, consume tiempo sobre todo para grandes cantidades. En cuanto a la determinación de la masa, el método tiene bajo error lo que lo hace útil para uso rutinario. Esta metodología también es factible de ser usada con otros granos, trabajo que se encuentra en ejecución.

## REFERENCIAS

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1986. Componentes del rendimiento en arroz; Guía de estudio. Contenido científico: International Rice Research Institute. Traducción y adaptación: Oscar Arregocés. Cali, Colombia. CIAT.

Cleva, M. S., Sampallo, G. M., Gonzalez Thomas, A. O., & Acosta, C. A. (2013). Método para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz mediante el procesamiento digital de imágenes. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 39(2), 185-190. Buenos Aires, Argentina.

Guo, Y., Li, S., Zhang, Z., Li, Y., Hu, Z., Xin, D., Chen, Q., Wang, J., & Zhu, R. (2021, December 14). Automatic and Accurate Calculation of Rice Seed Setting Rate Based on Image Segmentation and Deep Learning. *Frontiers in Plant Science*, 12, 770916. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.770916>.

Kuo, T.-Y., Chung, C.-L., Chen, S.-Y., Lin, H.-A., & Kuo, Y.-F. (2016). Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 716-725. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.020>.

Lee, D.-Y., Na, D.-Y., Heo, Y. S., & Wang, G.-L. (2021). Digital image quantification of rice sheath blight: Optimized segmentation and automatic classification.

- arXiv:1907.04953.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.04953>.
- Liu, T., Wu, W., Chen, W., Sun, C., Chen, C., Wang, R., Zhu, X., & Guo, W. (2016). A shadow-based method to calculate the percentage of filled rice grains. *Biosystems Engineering*, 150, 79-88.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.07.011>.
- Lurstwut, B., & Pornpanomchai, C. (2017). Image analysis based on color, shape and texture for rice seed (*Oryza sativa* L.) germination evaluation. *Agriculture and Natural Resources*, 51(5), 383-389.  
<https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.12.002>.
- Makky, M., Santosa, Putri, R. E., et al. (2019). Determination of moisture content in rice using non-destructive short-wave near infrared spectroscopy. *AIP Conference Proceedings*, 2155(September). <https://doi.org/10.1063/1.5125518>.
- Mussadiq, Z., Laszlo, B., Helyes, L., & Gyuricza, C. (2015). Evaluation and comparison of open source program solutions for automatic seed counting on digital images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117, 194-199.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.010>.
- National Institutes of Health. (2022). ImageJ (Versión 1.53s) [Software de computadora]. Bethesda, MD, EE. UU.
- Sampallo, G. M., Cleva, M., & Liska, D. (2016). Separación de granos en contacto con spline-cúbico para la aplicación en visión artificial. En VIII Congreso Argentino de AgroInformática (CAI-2016) - JAIIO 45 (págs. 172-182). Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa (SADIO). ISSN: 2525-0949. [Documento de conferencia].
- Samrendra K., Sriram K., Rakhee T. 2020. Machine learnt image processing to predict weight and size of rice kernels, *Journal of Food Engineering*, Volume 274.
- Santos, M. V., Cuevas, R. P. O., Sreenivasulu, N., & Molina, L. (2019). Measurement of Rice Grain Dimensions and Chalkiness, and Rice Grain Elongation Using Image Analysis. *Methods in Molecular Biology*, 1892, 99-108.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8914-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8914-0_6).
- Singh, S. K., Vidyarthi, S. K., & Tiwari, R. (2020). Machine learnt image processing to predict weight and size of rice kernels. *Journal of Food Engineering*, 274, 109828.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109828>.
- Tajima, R., & Kato, Y. (2011). Comparison of threshold algorithms for automatic image processing of rice roots using freeware ImageJ. *Field Crops Research*, 121(3), 460-463. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.015>.
- Wang, X., Yang, W., Lv, Q., Huang, C., Liang, X., Chen, G., Xiong, L., & Duan, L. (2022). Field rice panicle detection and counting based on deep learning. *Frontiers in Plant Science*, 13, 966495.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.966495>
- Wang, X., Wang, K., Li, X., & Lian, S. (2022). Vision-Based Defect Classification and Weight Estimation of Rice Kernels. *IEEE Access*, 10, 122243-122253.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3223137>.
- Zhou, J., Lu, X., Yang, R., Wang, Y., Chen, H., Shen, J., Chen, M., Zhou, Z., & Liu, F. (2023). Developing thermal infrared de-ghost and multi-level nested conglutinated segmentation algorithm for detection of rice seed setting rate. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207, 107725.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107725>.
- Zhao, J., Ma, Y., Yong, K., Zhu, M., Wang, Y., Wang, X., Li, W., Wei, X., & Huang, X. (2023). Rice seed size measurement using a rotational perception deep learning model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107583.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107583>.
- Zuniga Picado, L. A., Campos Boza, S., Mora Chaves, J. R., & Barboza-Barquero, L. (2022). Cuantificación del porcentaje de grano quebrado total en arroz (*Oryza sativa* L.) mediante análisis digital de imágenes. *Agron. Mesoam*, 33(spe1), 51568. <https://doi.org/10.15517/am.v33iespecial.51568>

## Implementation of a flowmeter for the optimization of irrigation systems

## Implementación de un flujómetro para la optimización de sistemas de riego

Mendoza-Salazar, D.<sup>1\*</sup>, Rodarte-López, M.<sup>1</sup>, Carrillo-Castillo, J.<sup>1</sup>, Rodríguez-Abdala, V.<sup>1</sup>, Vazquez-Reyes, S.<sup>1</sup>,  
Castañeda-Burciaga, S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas. Jdn. Juárez #147, Centro Histórico, 98000. Zac.

<sup>2</sup>Universidad Politécnica de Zacatecas. Plan de Pardillo Sn, Parque Industrial, 99059 Fresnillo, Zac.

\*Autor para correspondencia: 36173226@uaz.edu.mx

Recibido: 15 de agosto 2023

Aceptado: 20 de diciembre 2023

### Resumen

Debido a la actual escasez de agua que comienza a surgir, es importante buscar alternativas tecnológicas que logren optimizar el uso de agua en plantas. Una de estas soluciones es el uso de flujómetros. La implementación de un flujómetro con arduino tiene como objetivo crear un dispositivo que pueda medir y mostrar el flujo de un líquido a través de un medidor de caudal. Para ello, se utiliza una placa de Arduino y diversos componentes electrónicos, como sensor de flujo, una pantalla LCD y un circuito amplificador. El sensor de flujo se coloca en la línea de tubería y mide la cantidad de líquido que fluye a través de él. Los datos obtenidos por el sensor se envían a la placa de Arduino, que los procesa y se muestran en la pantalla LCD. El circuito amplificador se utiliza para amplificar la señal del sensor de flujo y asegurar una medición precisa. Además, se incluye una fuente de alimentación para garantizar que el dispositivo funcione correctamente. El flujómetro con Arduino permite medir y observar el flujo de líquidos en una variedad de aplicaciones en el área de la química. Es una solución asequible y fácil de usar para monitorear y controlar el flujo de líquidos en tiempo real.

**Palabras clave:** Flujómetro; Arduino; Sensor hall.

### Abstract

Due to the current water shortage that is beginning to emerge, it is important to look for technological alternatives that optimize water use in plants. One of these solutions is the use of flowmeters. The development of a flowmeter with an arduino aims to create a device that can measure and display the flow of a liquid through a flowmeter. For this, an Arduino board and various electronic components are used, such as a flow sensor, an LCD screen and an amplifier circuit. The flow sensor is placed in the pipeline and measures the amount of liquid flowing through it. The data obtained by the sensor is sent to the Arduino board, which processes it and displays it on the LCD screen. The amplifier circuit is used to amplify the signal from the flow sensor and ensure accurate measurement. In addition, a power supply is included to ensure that the device works properly. The flowmeter with Arduino allows you to measure and observe the flow of liquids in a variety of applications, from irrigation systems to industrial processes. It is an affordable and easy-to-use solution to monitor and control the flow of liquids in real time.

**Keywords:** Flowmeter; Arduino; Flow.



## INTRODUCCIÓN

Los flujómetros son instrumentos esenciales en muchos procesos industriales y en la investigación científica. Permiten medir la cantidad de flujo de líquidos y gases que pasan a través de una tubería o un conducto. Además, se utilizan en diversos campos, como la medicina, la química, la ingeniería y han cobrado gran relevancia en la agricultura (León Méndez et al., 2023).

Por mencionar algunos tipos de flujómetros que pueden encontrarse, se tienen los flujómetros médicos, los cuales son equipos de medición del flujo de oxígeno, y proporcionan al paciente con escala de litros por minutos y válvulas de graduación finas. También se tienen flujómetros térmicos, los cuales tienen como principio la medición basada en el calor que se extrae de un cuerpo caliente mientras que un flujo circula junto a él. Los flujómetros aplican los principios para la medición de caudales líquidos y gases, según sea el caso que se requiera o desee medir. También es posible encontrar flujómetros electromagnéticos, los cuales están basados en la ley de Faraday; el flujómetro ultrasónico es un dispositivo electrónico que consta de dos sondas, una genera un impulso ultrasónico por impulso de tensión, que se propagara a través del líquido a medir (Yanez, 2015). En consecuencia, el uso de los flujómetros es esencial para aplicaciones en la química. La precisión de un flujómetro puede ser utilizada junto con tecnologías de pantallas OLED (Organic Light Emitting Diode), las cuales se han vuelto populares en los últimos años, por su bajo consumo de energía, el alto contraste y la buena calidad de imagen. Dichas pantallas utilizan diodos orgánicos emisores de luz como fuente de luz. Estos diodos emiten luz cuando se aplica una corriente eléctrica a través de ellos. Una de las principales ventajas de las pantallas OLED es que no necesitan una fuente de luz externa, lo que las hace más delgadas y ligeras que otras pantallas (Soares, 2021). Cabe mencionar que la tarjeta Arduino es ampliamente utilizada, con varias aplicaciones (Guzmán-Fernández et al., 2021; Ortiz-Rivera et al., 2021; Nayyar and Puri, 2016). Por ejemplo, desde su uso para implementar un sistema que permita localizar personas extraviadas (Padilla et al., 2015), el desarrollo de alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas (Vargas-Jiménez et al., 2013), el monitoreo de un sistema hidropónico NFT (Urdiales-Ponce & Espín-Ortega, 2018), monitoreo del consumo de energía eléctrica doméstica (Holger Montes et al., 2017), entre otros. Esto se debe a la manera fácil de programar la tarjeta y de su bajo costo (Azúa-Barrón et al., 2017; Ramos Mejía & Hernández-Martínez, 2022). Adicionalmente, la tarjeta arduino

es utilizada en el ámbito de la educación (Munera et al., 2020; Guzmán & Guzmán Pérez, 2015), como una herramienta didáctica (Marcillo Parrales & Vivar García, 2019; Araque-Gallardo, 2023). Dentro de las herramientas didácticas destacables se encuentran laboratorios para la ingeniería (Mavares, 2021), para la enseñanza de las tecnologías de la información (Gutiérrez Páez, 2015), inclusive se han diseñado y desarrollado herramientas didácticas para el aprendizaje de la gestión de diabetes tipo 1 en niños (Galiana Llinares, 2017), y finalmente en aplicaciones de la psicología, por ejemplo, una herramienta didáctica para la potencialización del desarrollo de la autorregulación emocional en niños de preescolar (Vélez Zappala, 2014).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es implementar un flujómetro basado en Arduino, para medir la cantidad de fluido que pasa a través de un sistema en un momento dado. Los flujómetros pueden ser utilizados en una gran variedad de aplicaciones, incluyendo la medición del flujo en procesos químicos, el flujo de aire en sistemas de ventilación y la medición del flujo de líquidos en procesos industriales. Entre las ventajas de implementar un flujómetro se pueden obtener la capacidad de personalizar el diseño según las necesidades específicas del sistema a realizar, la posibilidad de obtener mediciones más precisas y la capacidad de monitorear el flujo en tiempo real con visualización de un display LED. Además, construir un flujómetro puede ser una actividad educativa que mejore el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que implica la aplicación de conceptos de ingeniería y física, y puede requerir la utilización de herramientas y técnicas avanzadas de medición y construcción.

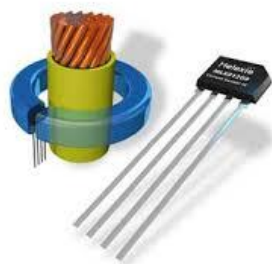
## MATERIALES Y MÉTODOS

Al aplicarse los conocimientos de electrónica digital y programación se desarrolló el flujómetro con la implementación de componentes electrónicos. Así como de la placa de Arduino Uno, la cual fue programada en el software de Arduino IDE, para la obtención de señales correspondientes. Para el desarrollo del prototipo se requirieron de los siguientes materiales: (1) 3 Carcasas (Impreso), (2) Arduino Uno, (3) Display, (4) Imán, (5) Sensor de efecto Hall, (6) Resistencia variable, (7) Amplificador operacional 49E, (8) Rotor (impreso), (9) Placa perforada, (10) Cautín, (11) Soladura, (12) Pantalla OLED, (13) Pantalla LCD,

(14) 2 Mangueras de ½.

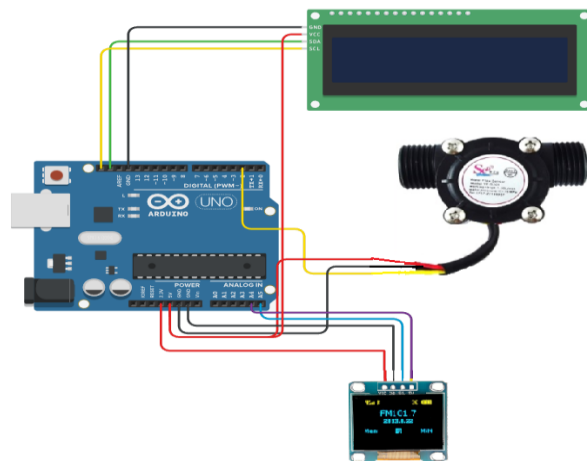
Posteriormente, se realizó la programación para el proyecto con el microcontrolador ATmega328P, donde se encuentra en la placa de Arduino Uno, el cual es una plataforma de desarrollo de hardware y software de código abierto, que se utiliza para crear proyectos electrónicos interactivos. Consiste en una placa programable con un microcontrolador, que se puede conectar a diferentes componentes electrónicos, como sensores, actuadores, pantallas, entre otros. Entre los componentes utilizados en el proyecto se encuentran dos elementos fundamentales: el sensor de efecto hall y pantalla Oled.

Un sensor de efecto Hall es un dispositivo transductor utilizado para detectar y generar tensión ante la presencia de un campo magnético. Están diseñados para inducir tensión como una salida cuando un campo magnético está presente en su salida. La tensión de salida puede variar según la magnitud del campo magnético. Pueden usarse para detectar una corriente que varía en el tiempo, ya que esta produce campos magnéticos, lo que posteriormente puede detectarse mediante el transductor de efecto Hall y producir tensión con alguna cantidad del campo magnético presente en el sensor. Los materiales que activan los sensores de efecto Hall son materiales que tienen una alta movilidad de electrones, como aquellos que permiten que los electrones se muevan libremente ante la presencia de un campo magnético. Dichos materiales son arseniuro de galio, arseniuro de indio, fosfuro de indio o grafeno, por nombrar algunos, Figura 1.



**Figura 1.** Sensor de efecto Hall

Las conexiones realizadas para la elaboración del flujómetro se muestran en la Figura 2, el esquema eléctrico de dichas conexiones es sencillo.

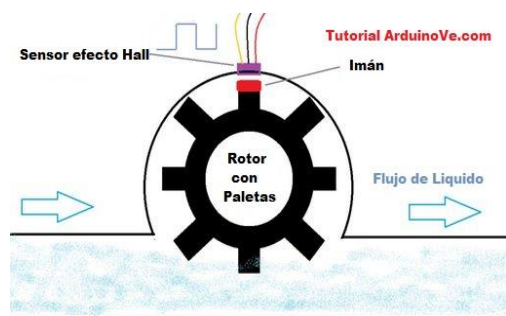


**Figura 2.** Conexión de Display Oled junto a flujómetro con arduino.

Los caudalímetros o flujómetros como el YF-S201, FS300A y el FS400A están constituidos por una carcasa plástica estanca y un rotor con paletas en su interior. Al atravesar el fluido el interior el sensor del caudal hace girar el rotor. La velocidad de giro se determina mediante un imán fijado al rotor, que es detectado mediante un sensor hall externo a la carcasa. Por tanto, ninguna parte eléctrica está en contacto con el fluido. La salida del sensor es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal atravesado. La ecuación 1 (Ec. 1) se utilizó para determinar la frecuencia.

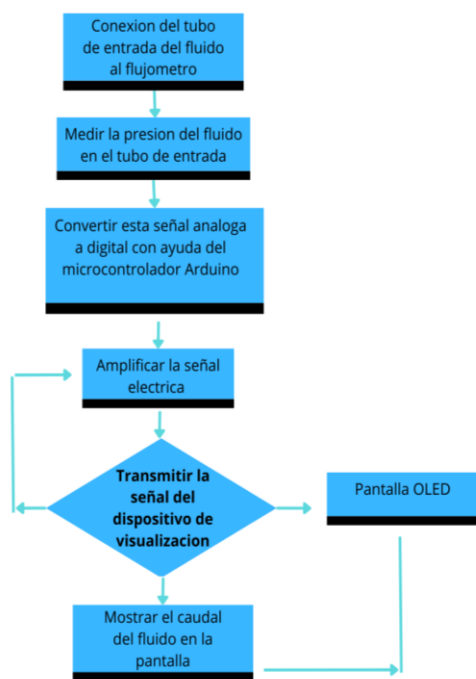
$$f(\text{Hz}) = K \cdot Q \left( \frac{\text{L}}{\text{min}} \right) \rightarrow Q \left( \frac{\text{L}}{\text{min}} \right) = f(\text{Hz})/K \quad \text{Ec. (1)}$$

El factor K de conversión entre frecuencia (Hz) y caudal (L/min) depende de los parámetros constructivos del sensor. El fabricante proporciona un valor de referencia en sus datasheets. No obstante, la constante K depende de cada caudalímetro. Con el valor de referencia se puede tener una precisión de +/-10%. El sensor internamente tiene un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las paletas y con esto el movimiento del rotor, el sensor de efecto hall envía los pulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad del flujo líquido. Los pulsos deberán ser convertidos posteriormente a flujo, pero esto ya es tarea del Arduino o controlador (Figura 3).



**Figura 3.** Representación de funcionamiento

En este trabajo se utilizó el diagrama de la Figura 4, el cual representa los pasos básicos que se siguen en un flujómetro para medir el caudal de un fluido. El tubo de entrada está conectado al dispositivo de medición, y la presión y temperatura del fluido se miden para calcular el caudal. La señal eléctrica se amplifica y acondiciona antes de ser mostrada en la pantalla de visualización.



**Figura 4.** Diagrama de flujo del flujómetro

Adicionalmente, se dispuso de una impresora 3D para la creación del prototipo ya que con la ayuda de esta se pueden crear objetos complejos y orgánicos y de una manera adaptable para las aplicaciones que se desee

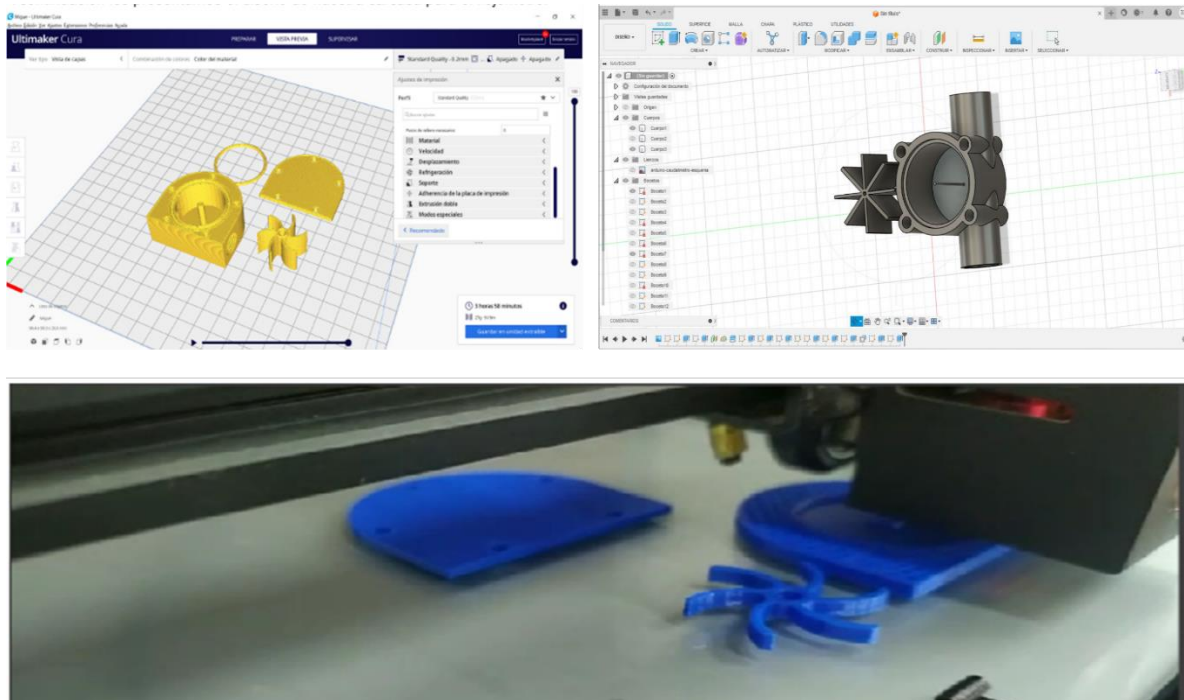
utilizar, en este caso se realizará una cáscara de un flujómetro por la cual pasará el flujo al interior de este. Para calcular el flujo, es necesario saber cómo dato el factor de conversión de frecuencia a caudal, tal dato no lo proporciona el fabricante, de lo contrario se tendría que calcular. Teniendo el factor de conversión, el programa se resume a calcular la frecuencia de los pulsos del sensor, para posteriormente con el factor de conversión escalar de frecuencia a caudal. Teniendo el caudal es posible medir el volumen de agua, puesto que el caudal es la variación del volumen con respecto al tiempo. Para tener una medición de mayor exactitud es necesario calcular el valor del factor de conversión, el cual sirve para cambiar de frecuencia de pulsos a caudal de agua. La variable que puede medirse con exactitud es la cantidad de pulsos (usando el Arduino), y con ayuda de un recipiente con graduación es posible medir la cantidad o volumen de agua. Estas dos variables es posible medirlas con exactitud, para calcular el factor de conversión con estas dos variables fue utilizada la ecuación 2 (Ec. 2).

$$K = \frac{n^\circ \text{Pulsos}}{\text{Volumen} \cdot 60} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde K es el factor de conversión, n°Pulsos son la cantidad de pulsos medidos con el sensor correspondientes al volumen que pasa por el sensor, dicho volumen debe medirse con ayuda de recipientes con graduación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

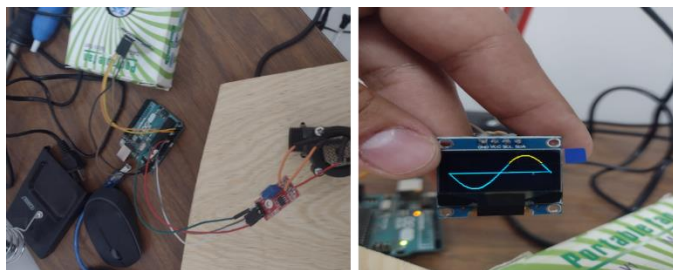
Como primer resultado de este trabajo se tiene el diseño en 3D del flujómetro, el cual fue elaborado utilizando el software Cura®, en donde se diseñaron las piezas necesarias para el prototipo del flujómetro, por lo cual se diseñó una cáscara en la cual pasará el flujo del agua, así como su tapa de sellado y su rotor el cual ensambla dentro de la cáscara y estará sellada en la imagen. El diseño del flujómetro se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Diseño en 3D del flujómetro.

Los resultados preliminares con el flujómetro propuesto se muestran en la Figura 6. Con dicho instrumento será posible medir el caudal lineal de masa o volumétrico de un líquido, de acuerdo con la precisión que se ejerce es el funcionamiento que tendrá el flujómetro con lo cual realizará la medición de la velocidad sobre la cantidad de fluido que circule en un proceso determinado. Para realizar la lectura del caudalímetro se debe primero calcular la frecuencia de la señal de salida que tendrá el sensor. Para ello se emplearán una interrupción la cual contará los pulsos en un determinado intervalo de tiempo, y de acuerdo

al número se dividirá el número de pulsos generados entre el intervalo dado en segundos, de esta manera se obtendrá la frecuencia requerida.



**Figura 6.** Resultados preliminares con el flujómetro basado en arduino.



## CONCLUSIONES

El flujómetro fue diseñado para efectuar un correcto funcionamiento con las piezas creadas y con los cálculos realizados, el cual arroja los resultados a la lectura correcta, con ayuda de la implementación de la tarjeta oled y el circuito diseñado, y el flujo leído por el circuito diseñado será mostrado en una pantalla para hacer lectura de la respuesta que se requiera conseguir. Se cuenta con la muestra de datos obtenidos de un corte de manguera normal, la densidad y la presentación de los datos. El flujómetro en estado óptimo resulta ser sumamente útil para el área optimización de riego en plantas.

## REFERENCIAS

- Araque-Gallardo, J. 2023. Diseño de una herramienta didáctica para la enseñanza de conceptos básicos en sistemas embebidos (se)." *Revista Ingeniare*, no. 26, June 2019, pp. 89+. Gale OneFile: Informe Académico.
- Azúa-Barrón, M., Vázquez-Peña, M., Arteaga-Ramírez, R. & Hernández-Saucedo, R. 2017. Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.67>
- Galiana Llinares, A. 2017. Diseño y desarrollo de herramienta didáctica para el aprendizaje de la gestión de diabetes tipo 1 en niños. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/89964>
- Gutiérrez Páez, N. 2015. Diseño de una herramienta didáctica Electrónica para el área de tecnología e Informática, que permita la enseñanza de Temáticas de automatización en un colegio de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55657>
- Guzmán, J. y Guzmán Pérez, J. (2015). Diseño E Implementación Un Sistema Didáctico Para El Laboratorio De Control, Que Integre Una Interfaz Gráfica Y Hardware, Para Controlar El Grado De Inclinación De Un Balancín Motor Hélice. *Institucion de Educacion Superior "itfip"*. <https://repositorio.itfip.edu.co/handle/itfip/107>
- Guzmán-Fernández, M., Zambrano de la Torre, M., Ortega-Sigala, J. et al. 2021. Arduino: a Novel Solution to the Problem of High-Cost Experimental Equipment in Higher Education. *Exp Tech* 45, 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40799-021-00449-1>
- Holger Montes, R., Pacheco Huachaca, A. & Hernan Ramos, J. 2017. Monitoreo del Consumo de Energía Eléctrica Domestica con Arduino. *Global Partnerships for Development and Engineering Education: Proceedings of the 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, July 19-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7352987>
- León Méndez, A.J., Ramírez Beltrán, J. and Stefano, E. 2023. Flujómetros proporcionales: Opciones, Alcance y Limitaciones. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. [http://scielo.sid.cu/scielo.php?script=sci\\_arttex&pid=S1680-03382022000300087&lang=es](http://scielo.sid.cu/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S1680-03382022000300087&lang=es)
- Soares, A.A. 2021. Polaridad Magnética en sensor hall: Una propuesta de experimento para fundamental del medio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Sociedade Brasileira de Física. <http://www.scielo.br/j/rbef/a/Bh6jvqdrfPN6B6hjjjhrn/?lang=pt>
- Marcello PARRALES, K. & Vivar Garcia, S. 2019. Diseño de un módulo de circuitos electrónicos programables como herramienta didáctica para la enseñanza-aprendizaje de inteligencia artificial de la carrera de ingeniería en computación y redes. *APA-UNESUM*. Facultad de Ciencias Técnicas. 119pg. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1596>
- Mavares, F. 2021. Evaluación de un radar fmcw como herramienta didáctica en las carreras de ingeniería automotriz y telecomunicaciones. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (25), 70-80. <https://doi.org/10.17163/ings.n25.2021.07>
- Munera, J., Jimenez, A., Botero, M., Rivas, K. & Lopez, J. 2020. La educación moderna al alcance de arduino. *Revista Espacios. Educación*, Vol. 41 (30). <https://www.revistaespacios.com/a20v41n30/a20v41n30p24.pdf>
- Nayyar, A. and Puri, V. 2016. A review of Arduino board's, Lilypad's & Arduino shields. 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, pp. 1485-1492. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7724514>
- Ortiz-Rivera, A., Carrera-Escobedo, J., García-Ruiz, M., Cruz-Domínguez, O., Arroyo-Álvarez, A., Valdivia-Guzmán, C., Ortíz-Hernández, A. 2021. Diseño de una nueva herramienta de corte para brocas de perforación en Minería. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. ol. 8, No. 48 Enero - Febrero 2021. [https://riiit.com.mx/apps/site/files\\_v2450/broca.\\_1.\\_riiit\\_ene-feb\\_2021.pdf](https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/broca._1._riiit_ene-feb_2021.pdf)
- Padilla, R., Quintero-Rosas, V., Díaz-Ramírez, A. 2015. Monitoreo y localización de personas extraviadas utilizando Arduino y GSM/GPS

Industrial Data, vol. 18, núm. 1, pp. 128-134 Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81642256015.pdf>

Ramos Mejía, A. & Hernández-Martínez, A. 2022. Un equipo de electroanálisis base Arduino y su uso en laboratorios de bajo costo. Educ. quím vol.33 no.4 Ciudad de México oct. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.0.82198>

Vargas Jiménez, D., Rodríguez Espinosa, E. & Otero Foliaco, J. 2013. Alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas basadas en arduino. Ing. USBMed, Vol. 4, No. 2, pp. 45-54. ISSN: 2027-5846. Julio-Diciembre, 2013.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6833252>

Vélez Zappala, M. 2014. Herramienta didáctica (Cuky) para la potencialización del desarrollo de la autorregulación emocional en niños de preescolar. Universidad CES. <https://repository.ces.edu.co/handle/10946/6343>

Urdiales-Ponce, V. & Espín-Ortega, J. 2018. Monitoreo de un sistema hidropónico NFT a escala usando arquitectura Arduino (PARTE 1). Revista Tecnología en Marcha, 31(2), 147-158. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i2.3632>

Yanez, L.E. 2015. Diseño y construcción de un flujómetro tipo obstrucción, con sensor de presión tipo FSR. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11514>

## The use of a didactic tool for environmental care: An approach from electrophysiology

### El uso de una herramienta didáctica para el cuidado del medio ambiente: Un enfoque desde la electrofisiología

Hernández-Belmontes, N.<sup>1\*</sup>, Cruz-Dominguez, O.<sup>2</sup>, Ortega-Sigala, J.<sup>1</sup>, Cardoso-Pérez, M.<sup>1</sup>,  
Badillo de Loera J.<sup>1</sup>, González-Ramírez, E.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas. Jdn. Juárez #147, Centro Histórico, 98000. Zacatecas.

<sup>2</sup>Universidad Politécnica de Zacatecas. Plan de Pardillo Sn, Parque Industrial, 99059. Zacatecas

\*Autor para correspondencia: [naramhbel@gmail.com](mailto:naramhbel@gmail.com)

Recibido: 05 de enero 2023

Aceptado: 20 de diciembre 2023

#### Resumen

La seguridad alimentaria y nutricional se mejora constantemente en beneficio de la población. Una forma de llevarlo a cabo es a través de la mejora de las prácticas agrícolas, logrando incrementar la calidad de los frutos que se recolectan, etc. Un método que ha resultado atractivo y de bajo costo es a través de la caracterización de la señal eléctrica generada por las plantas, para posteriormente asociarla con los efectos de estrés que se provocan en las plantas. Este estudio preliminar tiene el objetivo de caracterizar la señal eléctrica de una planta de fresa mediante el uso de series de Fourier y Arduino. En este trabajo se utilizó la técnica de medición extracelular para caracterizar la respuesta de una planta de fresas. Por lo que fue necesario desarrollar un sistema de medición de bajo costo basado en la tarjeta de adquisición de datos arduino. Para el sistema de amplificación de la señal eléctrica se utilizó el amplificador LM358P. Entre los principales resultados preliminares de este trabajo se encontró que la planta de fresa presenta una baja señal eléctrica y que debe ser estudiada mediante un análisis numérico. Sin embargo, tiene una respuesta definida cuando se estimula con diferentes frecuencias. Este tipo de estudio permitirá, a mediano plazo, mejorar la producción de plantas de fresa a través de la estimulación de señales eléctricas.

**Palabras clave:** Planta de fresas; Arduino; Series de Fourier.

#### Abstract

Food and nutrition security is constantly improving for the benefit of the population. One way to carry it out is through the improvement of agricultural practices, managing to increase the quality of the fruits that are collected, etc. A method that has been attractive and low cost is through the characterization of the electrical signal generated by the plants, to later associate it with the effects of stress that are caused in the plants. This preliminary study aims to characterize the electrical signal of a strawberry plant by using Fourier series and Arduino. In this work, the extracellular measurement technique was used to characterize the response of a strawberry plant. Therefore, it was necessary to develop a low-cost measurement system based on the arduino data acquisition board. For the electrical signal amplification system, the LM358P amplifier was used. Among the main preliminary results of this work, it was found that the strawberry plant has a low electrical signal and that it should be studied by numerical analysis. However, it has a definite response when stimulated with different frequencies. This type of study will allow, in the medium term, to improve the production of strawberry plants through the stimulation of electrical signals.

**Keywords:** Strawberry plant; Arduino; Fourier series.

## INTRODUCCIÓN

Durante varias décadas, se ha realizado investigación sobre las señales eléctricas en plantas (Xiaofei, 2009). La señal eléctrica (SE) es la señal física más importante en organismos, y es capaz de transmitir señales más rápidamente a largas distancias en comparación con las señales químicas (Ndung'u et al., 2021). Estudios muestran que la señal eléctrica es importante para muchas actividades fisiológicas, como la fotosíntesis. La fotosíntesis es la transformación de la energía luminosa en energía química, y es la base de la vida de las plantas. La regulación de la fotosíntesis en diferentes condiciones ambientales es una actividad fundamental para las plantas (Sukhov, 2016). La regulación de la fotosíntesis es especialmente importante en condiciones de estrés, por ejemplo, luz muy intensa, temperaturas altas y bajas y sequía (Zhang and Sharkey, 2009). Esta transformación también puede ser estimulada por agentes externos, como, por ejemplo, la temperatura, luz, presión osmótica, salinidad, hormonas, etc. Estos diferentes estímulos ambientales evocan respuestas específicas en células vivas que son capaces de transmitir una señal eléctrica a la región de respuesta (Ndung'u et al., 2021; Vetcha, 2021). Los estudios anteriores demuestran que las mediciones de respuesta eléctrica de la planta en tiempo real pueden anticipar acciones, y esto podría usarse para evitar que la planta alcance las condiciones extremas de estrés. Esto sería muy útil en la automatización de la agricultura, por ejemplo, en programar el riego (Ríos-Rojas et al., 2015; Zimmermann et al., 2013). En la Tabla 1 se identifica el efecto que generan distintos estímulos en las plantas.

También se ha encontrado que la electricidad generada por las plantas aumenta notablemente bajo la luz solar, y por tanto la fotosíntesis aumenta la actividad eléctrica en las plantas (Liu et al., 2019). Este tipo de investigaciones se han realizado en diferentes tipos de plantas. Los cuales fueron *Alstonia scholaris* (árbol de Pulai), *Musa acuminata* (árbol de plátano) y *Aloe Vera*. Además, se verificó que algunas de estas generan mayor voltaje en comparación con las anteriores, y pueden ser potencialmente útiles para encender dispositivos de ultra bajo consumo de energía. Mediante la señal eléctrica generada por plantas también es posible extraer energía eléctrica, por ejemplo, de un arce de hoja ancha (*Acer macrophyllum*) que alimentó a dos circuitos integrados nanoelectrónicos especializados. Se utilizó energía eléctrica extraída del árbol de pachira (acuática de Pachira) para alimentar un sistema inalámbrico de monitoreo de la salud de la planta. Otras investigaciones también muestran que se ha logrado obtener energía eléctrica de álamos (Ndung'u et al., 2021). Además, la señal eléctrica que generan las plantas

puede proporcionar información valiosa para monitorear las condiciones del medio ambiente, tal como contaminación atmosférica. Es decir, una planta puede ser utilizada como biosensor para monitorear la calidad del aire (Davies, 2006). Inclusive, en medios con grado de salinidad elevada, se encontró que el potencial eléctrico de árboles de cítricos tangor cambió su respuesta al estrés por salinidad y que están altamente correlacionados con el potencial hídrico del tallo (Nasratullah, 2021).

### **Métodos de medición del potencial eléctrico en plantas.**

Se utilizan dos métodos diferentes para medir el potencial eléctrico en plantas, intracelular y extracelular (Volkov and Shtessel, 2017; Vodeneev, et al 2015). En particular, las mediciones de potencial eléctrico extracelular, es decir en la superficie de plantas se han realizado con electrodos insertados con varias especies de árboles (Gurovich and Hermosilla, 2009). Insertándose un electrodo de referencia en el suelo. Cuando todos los canales están estabilizados eléctricamente, se pueden evaluar los siguientes tratamientos: secuencias de luz-oscuridad, ciclos de sequía-irrigación, heridas mecánicas, etc. La inserción de electrodos provoca inevitablemente reacciones, mientras que los registros de superficie no son invasivos. Se han utilizado varios microelectrodos para estudios electrofisiológicos en plantas. En la mayoría de las publicaciones, el potencial eléctrico se controla de forma constante utilizando microelectrodos de Ag/AgCl no polarizables (Ndung'u et al., 2021).

## MATERIALES Y MÉTODOS

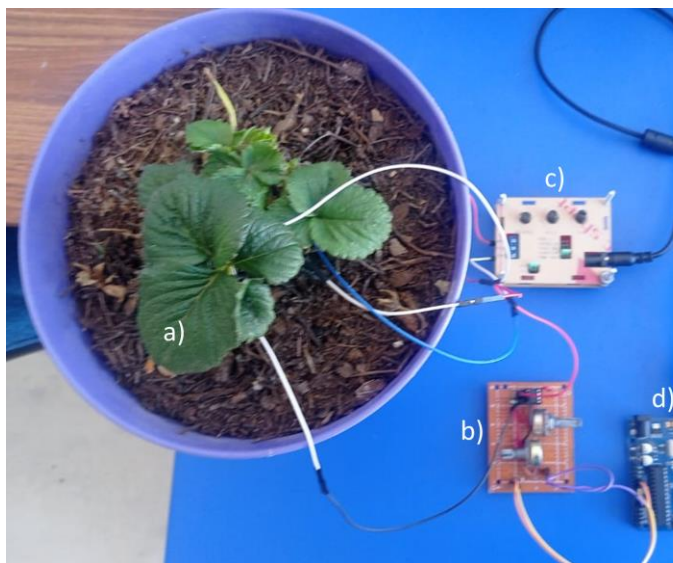
Para obtener la señal eléctrica de la planta de fresas se desarrolló un arreglo electrónico, Figura 1. Sin embargo, existe una gran cantidad de técnicas para determinar la calidad de la fresa (González-Jiménez et al., 2020; González-Araiza, 2014). Este sistema consta de una tarjeta arduino (Figura 1-d), un circuito amplificador de señal (Figura 1-b) y un generador de funciones Xr2206. El cual es conectado a la planta de fresas (Figura 1-a), para posteriormente representar su señal eléctrica en una laptop mediante la interfaz de IDE Arduino (Figura 1-e).



**Tabla 1.** Análisis de la respuesta fisiológica en distintas plantas.

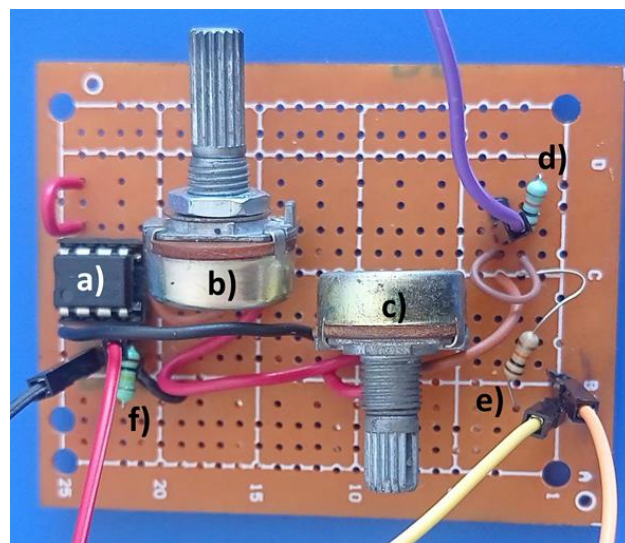
Planta	Estímulo	Respuesta fisiológica	Observaciones
Zea Mays L. (maíz)	Riego constante	Disminución de crecimiento de alargamiento del tallo	El potencial de acción generado por volver a regar las plantas en el suelo seco causa aumentos en el CO <sub>2</sub> y gas H <sub>2</sub> O (Fromm and Fei, 1998).
Lycopersicon esculentum Mill (Tomate)	Eléctrico	Inducción del pin 2 la expresión génica	Señal eléctrica propagada El estímulo eléctrico generado es eficaz para elevar el ARNm de pin2 niveles en tejidos distantes (Fromm and Lautner, 2007).
Jitomate	Electro-estimulación	Las respuestas aumentan con distancia decreciente entre electrodos de Pt en suelo.	Propagación de potenciales eléctricos entre raíces de plantas vecinas a través del suelo (Sukhov et al., 2017).

d)-e) 10k ohm y de f) 100k ohm.



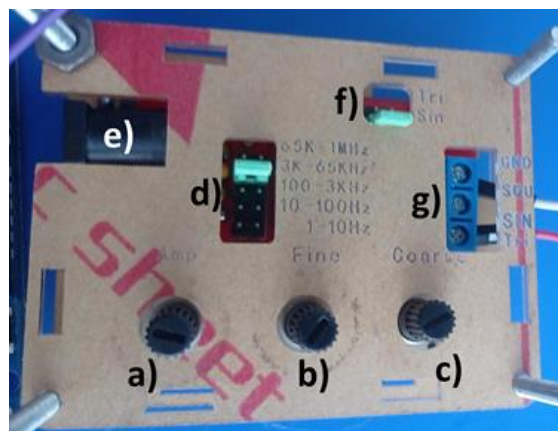
**Figura 1.** Arreglo electrónico para determinar la señal eléctrica generada por la planta de fresas. a) Planta de fresas, b) Circuito amplificador operacional lm358p, c) Generador de funciones Xr2206 y d) Arduino Uno.

El arreglo electrónico de amplificación de señal se muestra en la Figura 2, y consta de un amplificador operacional Lm358p, un potenciómetro de b) 100k ohm, c) 1M ohm y resistencias de



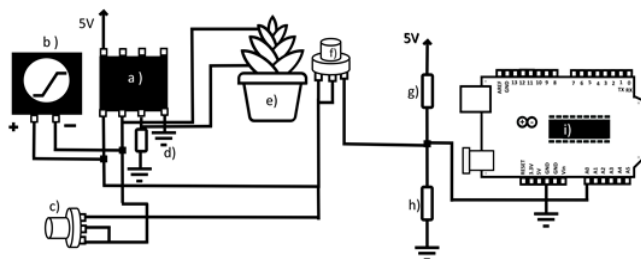
**Figura 2.** Arreglo electrónico de amplificación de señal. a) Amplificador operacional Lm358p. b) Potenciómetro de 100k ohm, c) Potenciómetro de 1M ohm, d) resistencia de 10k ohm, e) resistencia de 10k ohm, f) resistencia de 100k ohm.

Para estimular eléctricamente la planta de fresas se utilizó un generador de funciones Xr2206, Figura 3. Este consta de un potenciómetro para amplificar la señal (Figura 3-a), otro para afinar la señal (Figura 3-b) y otro para engrosar la señal (Figura 3-c). Además de contar con una clema de 3 pines (Figura 3-g).



**Figura 3.** Generador de funciones Xr2206. a) potenciómetro para amplificar la señal, b) Potenciómetro para afinar la señal, c) Potenciómetro para engrosar la señal, d) Conector Berg para ajustar la frecuencia de la onda, e) Plug de alimentación de 9v, f) Conector Berg para seleccionar el tipo de onda a utilizar, g) Clema de 3 pines para la tierra, la señal de sonido y salida de la onda senoidal.

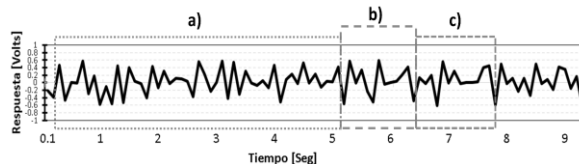
El diagrama electrónico completo del sistema de medición se representa en la Figura 4. Este comprende desde la conexión con la planta de fresas (Figura 4-e) hasta el sistema de amplificación de señal. Cabe mencionar que Arduino es ampliamente utilizado debido a los altos costos de equipo de laboratorio comercial (Guzmán-Fernández et al., 2021).



**Figura 4.** Diagrama electrónico para la determinación de la señal eléctrica generada por una planta de fresas. a) Amplificador Operacional 1m358p, b) Generador de Frecuencias, c) Potenciómetro de 100kΩ, d) Resistencia de 100kΩ e) Planta de fresas, f) Potenciómetro de 1MΩ, g) Resistencia de 10kΩ, h) Resistencia de 10kΩ, i) Arduino UNO.

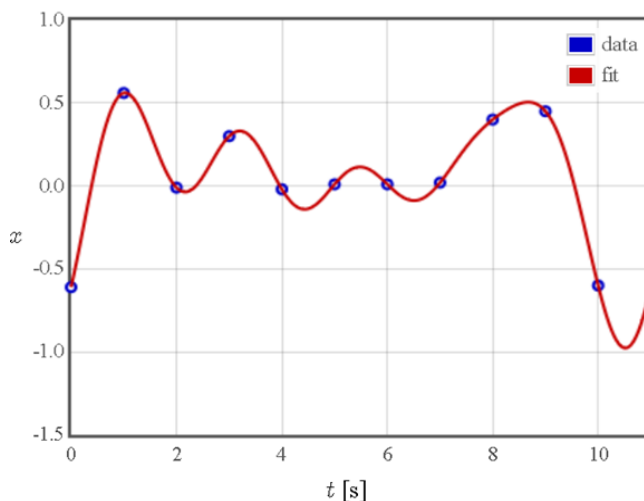
## RESULTADOS Y DISCUSION

La señal eléctrica generada por la planta se muestra en la Figura 5, y está compuesta por una parte de estabilización de señal (Figura 5-a), y la señal propia de la planta de fresas (Figura 5-b). La parte de estabilización de la señal eléctrica puede deberse a reacciones químicas que generan ruido eléctrico y que son producidas por los electrodos insertados en la planta.



**Figura 5.** Señal eléctrica de la planta de fresa. a) Ciclo para estabilizar la señal. b) Señal eléctrica de la planta de fresas.

La señal eléctrica de la planta de fresas fue analizada mediante el uso de series de Fourier (Figura 6). Mediante dicho análisis fue posible determinar sus coeficientes de ajuste numérico.



**Figura 6.** Ajuste numérico a la señal eléctrica utilizando series de Fourier.

**Tabla 2.** Coeficientes de la serie de Fourier

<i>Coeficientes de la Serie de Fourier</i>		
$n$	$a_n$	$b_n$
0	0.046363636	-4.0371746e-17
1	-0.10539596	0.014454637
2	-0.28537733	0.1409626
3	-0.13614382	0.2449322
4	-0.0089524230	0.2303007
5	-0.12049410	0.097511794

### CONCLUSIONES

En este estudio preliminar fue posible desarrollar una herramienta didáctica que permita caracterizar la señal eléctrica de una planta de fresas mediante la implementación de un arreglo experimental de bajo costo basado en arduino y su análisis numérico mediante el uso de series de Fourier. Mediante dicho arreglo experimental es posible cuidar el medio ambiente. Además, fue posible identificar que el tiempo estimado para que se logre estabilizar la señal eléctrica de la planta de fresas es de aproximadamente 5 segundos. Finalmente, mediante este estudio preliminar de este trabajo es posible sentar las bases para determinar el grado de estrés al que puede ser sometida una planta de fresas.

### REFERENCIAS

Davies E. (2006). Electrical signals in plants: facts and hypotheses. In: Volkov AG, editor. Plant electrophysiology. Berlin: Springer-Ver-lag; p. 407–22.

Fromm, J. and Fei, H. 1998. Electrical signaling and gas exchange in maize plants of drying soil. *Plant Science*, 132(2), 203-213.

Fromm, J. and Lautner, S. 2007. Electrical signals and their physiological significance in plants. *Plant, cell & environment*, 30(3), 249-257.

González-Araiza, J. 2014. impedancia bio-eléctrica como técnica no-destructiva para medir la firmeza de la fresa (*fragaria x ananassa duch*) y su relación con técnicas convencionales. Tesis doctoral presentada a la Universidad Politécnica de Valencia.

González-Jiménez, Sandra L., Castillo-González, Ana

Ma., García-Mateos, Ma. del Rosario, Valdez-Aguilar, Luis A., Ybarra-Moncada, Carmen, & Avitia-García, Edilberto. 2020. Respuesta de fresa cv. Festival a la salinidad. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(1), 53-60. Epub 28 de diciembre de 2020. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.53>

Gurovich L, Hermosilla P. (2009). Electric signaling in fruit trees in response to water applications and light–darkness conditions. *J Plant Physiol*; 166:290–300

Guzmán-Fernández, M., Zambrano de la Torre, M., Ortega-Sigala, J. 2021. Arduino: a Novel Solution to the Problem of High-Cost Experimental Equipment in Higher Education. *Exp Tech* 45, 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40799-021-00449-1>

Nasratullah Habibi. (2021). EFFECTS OF SALINITY ON GROWTH, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL RESPONSES OF TOMATO. *J. ISSAAS* Vol. 27, No. 2: 14-28.

Ndung'u Ruth W, Kamweru Paul K, Kirwa Abraham T. 2021. Action and variation potential electrical signals in higher plants. *J. Bio. Sc.* 3(1), 1-18 <https://doi.org/10.33472/AFJBS.3.1.2021.1-18>

Ríos-Rojas, L., Morales-Moraga, D., Alcalde, J.A. and Gurovich, L.A. 2015. Use of plant woody species electrical potential for irrigation scheduling. *Plant Signaling & Behavior*. 10(2).

Sukhov, V., Gaspirovich, V., Mysyagin, S. and Vodeneev, V. 2017. High-temperature tolerance of photosynthesis can be linked to local electrical responses in leaves of pea. *Frontiers in physiology*, 8, 763.

Sukhov, V. 2016. Electrical signals as mechanism of photosynthesis regulation in plants. *Photosynthesis Research*. 130(1-3), 373-387.

Liu, Y., Cheng, P., Li, T., Wang, R., Li, Y., Chang, S. Y. and Sun, B. 2019. Unraveling sunlight by transparent organic semiconductors toward photovoltaic and photosynthesis. *ACS nano*, 13(2), 1071-1077.

Vetcha Satya Lalitha Samhita. 2021. A Review on Plant Signal Processing. 7th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS). 978-1-6654-0521-8 ©2021 IEEE

Vodeneev, V., E. Akinchits, and V. Sukhov. (2015). “Variation potential in higher plants: Mechanisms of generation and propagation,” *Plant Signal. Behav.*, vol. 10, no. 9, <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1057365>

Volkov, A. and B Shtessel, Y. 2017. Electrotonic signal transduction between Aloe vera plants using underground pathways in soil: experimental and analytical study. *AIMS Biophysics*. 4(4).

Xiaofei Yan. (2009). Research progress on electrical signals in higher plants. *Progress in Natural Science* 19. 531–

541. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.08.009>

Zhang, R. and Sharkey, T. D. 2009. Photosynthetic electron transport and proton flux under moderate heat stress. *Photosynthesis Research*, 100(1), 29-43.

Zimmermann, U., Bitter, R., Marchiori, P.E.R., Rüger, S., Ehrenberger, W., Sukhorukov, V.L. and Ribeiro, R.V. 2013. A non-invasive plant-based probe for continuous monitoring of

water stress in real time: a new tool for irrigation scheduling and deeper insight into drought and salinity stress physiology. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 25(1), 2-11.