



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



**Tecnoparque
Nodo La Granja**

INNOV AGRO

**1° FORO DE
INNOVACIÓN EN EL AGRO**

2022





SENNOVA
Sistema de Investigación
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Tecnoparque
Nodo La Granja



MEMORIAS

DE

FORO
INNOVACIÓN
EN EL
AGRO

2022



INNOVACIÓN EN EL AGRO

NÚMERO: 01

NOVIEMBRE 2022

ISSN:2981-3824

PUBLICACIÓN DE CARÁCTER CIENTÍFICO - TÉCNICO CENTRO AGROPECUARIO LA GRANJA SENA, EL ESPINAL

COMITÉ EDITORIAL

Juan Manuel Sánchez

jusanchez@sena.edu.co

Ing. Agroindustrial; MSc. Gerencia
Programas Sanitarios e Inocuidad de
Alimentos, Candidato a Doctor en
Proyectos.

**CENTRO AGROPECUARIO LA
GRANJA SENA COMITÉ EDITORIAL**

Oscar Rolando Castro

ocastrog@sena.edu.co

Subdirector (e) Centro Agropecuario La
Granja

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA REGIONAL TOLIMA

Jorge Eduardo Londoño Ulloa

jorge.londono@sena.edu.co

Director General

APOYO Y GESTIÓN

Cristian Camilo Montiel

ccardenas@sena.edu.co

Apoyo Técnico

Nancy Briceno Moreno

nbriceno@sena.edu.co

Coordinador SENNOVA

Nivelly Valentina Olaya Moreno

nvolayal@misena.edu.co

Pasante de Tecnoparque Nodo La Granja

Alvaro Ivan Barrero

abarrerob@sena.edu.co

Dirección Regional Tolima

INFORMACIÓN

Infocenter

infocenterlagranja@sena.edu.co

Tel. 2709600 - 84819

**17 Y 18
NOV**

ISSN:2981-3824

Memorias para la Identificación y divulgación del 1° Foro de Innovación en el Agro del Sena - Centro Agropecuario La Granja
Espinal - Tolima

Servicio Nacional de Aprendizaje.
Hecho por el depósito que exige la ley.
2022

EDITORIAL

El 1er Foro de Innovación en el Agro “INNOVAGRO” en el marco de actividades de I+D+i (Investigación, Desarrollo tecnológico e innovación) de Tecnoparque Nodo la Granja, permitió a la comunidad en general del departamento del Tolima, focalizar los esfuerzos y fortalecer el ecosistema de ciencia, tecnología e innovación engranando los eslabones que comprenden los sectores público-privados de la academia, el emprendimiento y el sector empresarial.

Es importante agradecer a cada uno de los participantes en este encuentro de conocimientos académicos y saberes, y resaltar que desde el Centro Agropecuario La Granja y el sector productivo se esta construyendo en el Tolima del mañana, mejores competencias para afrontar los nuevos retos de los mercados nacionales e internacionales.

Como Subdirector(e) del Centro Agropecuario la Granja quiero resaltar la gran labor que tiene Tecnoparque como estrategia en el Sena, para fortalecer los procesos y desarrollos de los emprendedores y empresarios del Departamento del Tolima donde se deja a su alcance la tecnología para la materialización de sus ideas disruptivas en ciencia, tecnología e innovación.

OSCAR ROLANDO CASTRO GUERRA

*Subdirector Centro Agropecuario La Granja
Espinal-Tolima*

ÍNDICE

ARTÍCULO	1	Uso de tecnologías avanzadas de inteligencia artificial en aplicaciones agrícolas y botánicas.	06
ARTÍCULO	2	Situación de la <i>Cyclospora cayetanensis</i> en Colombia: cadena productiva de la albahaca fresca de exportación.	11
ARTÍCULO	3	El internet de las cosas IoT: aplicaciones y perspectivas en el agro.	16
ARTÍCULO	4	Estrategias para la transformación de los residuos del plátano generando valor agregado.	21
ARTÍCULO	5	Uso de métodos de conservación de alimentos para un consumo saludable.	25
ARTÍCULO	6	Uso de la realidad virtual en el desarrollo de una agricultura sostenible.	29
ARTÍCULO	7	Beneficios de la agrónoma en la agricultura.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

1

ARTÍCULO

Uso de tecnologías avanzadas de inteligencia artificial en aplicaciones agrícolas y botánicas.

FIGURA 1. Diagrama de las distintas áreas que abarcan la IA en la Universidad de Ibagué.	07
FIGURA 2. Procesamiento para la identificación de células en meristemo de Arabidopsis thaliana, c	07
FIGURA 3. Trabajos de aprendizaje de máquinas para la detección de objetos.	08
FIGURA 4. Interfaz gráfica para el control y monitoreo del robot AgroCablebot para la automatización de procesos de siembra, riego e inspección de plántulas en cultivos a pequeña escala.	09

3

ARTÍCULO

El internet de las cosas IoT: aplicaciones y perspectivas en el agro

FIGURA 1. Frontera agrícola de Colombia (Fuente: Dayioglu 2021)	16
FIGURA 2. Cifras de valor agregado en la Agricultura (USD) (Fuente: indexmundi 2022)	17
FIGURA 3. Aplicaciones de tecnología en el Japón (Fuente: GuiaAgroIndustrial)	17
FIGURA 4. Evolución y transformación de la sociedad (Fuente: Adaptado de Krzysztof Wójcicki, 2022)	18
FIGURA 5. Evolución del IoT en la línea del tiempo (Fuente: Adaptado de Dayioglu 2021)	18
FIGURA 6. Arquitectura de la red IoT (Fuente: Autor)	18
FIGURA 7. Áreas generales de aplicación del IoT en el Agro (Fuente: Adaptado de Sinha 2022)	19
FIGURA 8. Evolución de la agricultura y tendencias de investigación (Fuente: Rodriguez, et.al., 2022)	19

5

ARTÍCULO

Uso de métodos de conservación de alimentos para un consumo saludable.

FIGURA 1. Sitio web del proyecto del proyecto de innovación salidas de campo virtuales de geología (Fuente: https://www.ucm.es/salidas-de-campo-virtuales/)	31
FIGURA 2. Interfaz de la entrada hacia el recorrido virtual del parque universitario Francisco Vivar Castro (Fuente: https://dspace.un.edu.ec/jspui/handle/123456789/14469)	31
FIGURA 3. Escenario del recorrido virtual de una planta de producción vinícola (Fuente: https://www.virtualpro.co/escenarios/recorrido-virtual-planta-de-produccion-de-vino)	31
FIGURA 4. Fotografía del recorrido virtual para la enseñanza del tema biomas con impacto antropogénico (Fuente: http://hdl.handle.net/11349/29197)	32
FIGURA 5. Sitio web del proyecto Museo Virtual de AgroCiencia del INIA (Fuente: https://museodelaagrocienza.cl/)	32
FIGURA 6. Imagen del recorrido virtual en Red Hook Farms (Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=ozebEHZ-	32

pPOA)

Uso de tecnologías avanzadas de inteligencia artificial en aplicaciones agrícolas y botánicas

Manuel G. Forero, Andrés García-Vanegas, Juan Betancourt Lozano

Semillero Lún y semillero MEC-AUTRONIC, Universidad de Ibagué, Tolima (Colombia)
manuel.forero@unibague.edu.co jorge.garcia@unibague.edu.co juan.betancourt@unibague.edu.co

RESUMEN

Este artículo presenta el uso de tecnologías avanzadas de inteligencia artificial en aplicaciones agrícolas y botánicas, desarrolladas por los semilleros de investigación Lún y MEC-AUTRONIC del grupo de investigación D+TEC de la Universidad de Ibagué. La aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura y el cuidado del medio ambiente tiene un gran campo de acción destacando el uso de técnicas como el procesamiento de imágenes, el aprendizaje de máquinas y la interacción con el entorno.

Palabras Claves:

Procesamiento de imágenes, aprendizaje de máquinas, interacción con el entorno, inteligencia artificial, agricultura.

Abstract: This article presents the use of advanced artificial intelligence technologies in agricultural and botanical applications, developed by the Lún and MEC-AUTRONIC research seedbeds of the D+TEC group of the University of Ibagué. The application of artificial intelligence in agriculture and environmental care has a large field of action highlighting the use of techniques such as image processing, machine learning and interaction with the environment. The results shown allow observing the impact of these techniques in the enhancement of agricultural production, which are oriented both to improve crop production and to protect the environment.

Keywords: Image processing, machine learning, environment interaction, artificial intelligence, agriculture.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población mundial ha hecho necesario el desarrollo de nuevas tecnologías con el fin de incrementar la producción de alimentos, haciendo un mejor aprovechamiento de los recursos, lo cual contribuye a la disminución del hambre en el mundo y al crecimiento económico de los países en desarrollo, cuya economía depende de la exportación de alimentos FAO (2009). Además, es necesario conocer y proteger la flora silvestre, la cual puede ser también una fuente económica de ingresos de los países en vías de desarrollo, como ocurre en el caso de Colombia, país exportador de flores. Por esta razón, distintos organismos e institutos de investigación han enfocado sus esfuerzos en el desarrollo y uso de nuevas tecnologías para la automatización de tareas y procesos necesarios para el desarrollo del campo. Una de las herramientas más utilizadas con este propósito en los últimos años es la inteligencia artificial (IA). Así, en la Universidad de Ibagué los semilleros de investigación en procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones Lún y diseño de sistemas mecatrónicos MEC-AUTRONIC, adscritos al grupo de investigación D+Tec desarrollan esfuerzos para el uso de estas técnicas en la agricultura y la botánica, algunos de cuyos trabajos se describen a continuación, los cuales han tenido impacto nacional e internacional.

La estructura del trabajo es la siguiente. En la Sección 2, se presentan los retos a los que se enfrenta la IA en el campo de la agricultura y la botánica. En la Sección 3, se presentan algunas de las aplicaciones desarrolladas aplicando técnicas de procesamiento de imágenes, aprendizaje de máquinas e interacción con el entorno. Finalmente, en la Sección 4, se presentan las conclusiones de este trabajo.

Retos de la IA en la Agricultura y la Botánica

Existen diferentes definiciones de la Inteligencia Artificial. Rouhiainen (2018) define el concepto como "la habilidad de los computadores para hacer actividades que normalmente requieren inteligencia humana" (p.17). De acuerdo a la definición de Alan Turing, se entiende por inteligencia artificial un mecanismo que es capaz de interactuar con un ser humano, sin que "este se de cuenta de que está haciéndolo con una máquina (Hardy, 2001). De acuerdo a este concepto, podría decirse que la IA consta de varias áreas, como se ilustra en la Figura 1, donde se observan aquellas desarrolladas actualmente en la Universidad de Ibagué. En cada una de estas áreas en forma combinada o separada hemos afrontado diferentes problemas relacionados con la agricultura de precisión y la botánica.

Técnicas de visión por computador, en particular de procesamiento de imágenes han sido utilizadas para identificar células en tejidos vegetales, desarrollo de protocolos mediante la evaluación de condiciones de luz y enfoque de los equipos de adquisición utilizados con el fin de adquirir tomas de plantas o partes de ellas que permitan identificar variedades o sus características. Estos problemas plantean diferentes retos para encontrar una combinación de técnicas que se ajuste a condiciones adversas, permitiendo desarrollar métodos robustos y que permitan obtener buenos resultados.

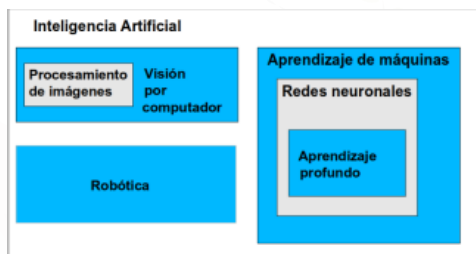


Figura 1: Diagrama de las distintas áreas que abarcan la IA en la Universidad de Ibagué.

Si se hace una revisión de las técnicas desarrolladas en el área de aprendizaje de máquinas, se tienen diferentes problemas que tienen como común denominador la contaminación de las muestras con ruido durante la toma de datos. Este es un tema recurrente en este tipo de investigaciones debido a la dificultad que se tiene para filtrar las muestras sin eliminar información relevante. Otro problema común es la selección del modelo que mejor se ajuste a los datos. En la actualidad es común el uso de técnicas de aprendizaje profundo en las cuales lo importante es el resultado, y a veces se subestima el análisis de la técnica propiamente dicha para entender cómo funciona el método desarrollado, lo cual podría en algunos casos permitir resultados aún mejores, o en algunos casos, en particular cuando la cantidad de datos es pequeña a utilizar otras técnicas de aprendizaje clásico que pueden ayudar a resolver el problema en forma más rápida y eficiente.

En cuestión al robot que llevara a cabo todas estas tareas, se pueden apreciar diferentes adversidades sobre todo a las condiciones climáticas necesarias. Diferentes autómatas son diseñados para una misma tarea, pero el diseño que tenga en cuenta la mayor cantidad de variables de error, es el que mejor se podría desempeñar en el reto. Variables como el terreno, humedad, visibilidad, manejo de elementos, motricidad y control son las primeras temáticas que se evalúan a la hora del diseño.

APLICACIONES

Son innumerables las aplicaciones de la IA en la agricultura, entre las cuales se destaca el procesamiento de imágenes, el aprendizaje de máquinas y los sistemas robotizados.

3.1. Procesamiento de imágenes

Entre los métodos desarrollados se encuentra un método para la segmentación del meristemo apical en imágenes de microscopía confocal (Rojas et al., 2020). El meristemo es el tejido vegetal encargado del crecimiento de la planta, en particular el apical da origen a tallos, hojas y flores. Las células del meristemo tienen una forma irregular y aparecen en las imágenes confocales como zonas oscuras rodeadas de otras brillantes, tal como se observa en la Figura 2. En este trabajo se utilizó una técnica llamada Parametric Segmentation Tuning, desarrollada también por el mismo equipo para la optimización de los parámetros de segmentación en imágenes de diatomeas (Rojas Camacho et al., 2017). La segmentación se basó en el uso de técnicas de morfología matemática y los parámetros óptimos del algoritmo se encuentran mediante un proceso iterativo que compara las imágenes segmentadas obtenidas por variaciones sucesivas de los parámetros. A continuación, se utiliza una función de optimización para determinar qué par de imágenes sucesivas permite la mejor segmentación. La técnica fue validada comparando sus resultados con los obtenidos por un algoritmo de conjuntos de niveles y una técnica de segmentación por globos. Los resultados mostraron que nuestra metodología ofrece mejores resultados que dos alternativas del estado del arte disponibles de forma gratuita, siendo superior en todos los casos estudiados.

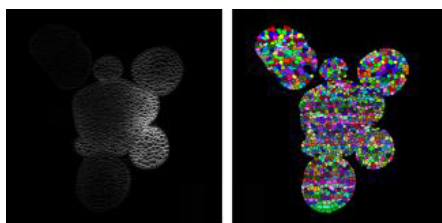


Figura 2: Procesamiento para la identificación de células en meristemo de *Arabidopsis thaliana*.

dentro de la compleja red de la vida en los trópicos. La clasificación manual lleva mucho tiempo, es costosa y requiere de expertos que, a menudo, tienen una disponibilidad limitada. Para abordar estos problemas, se utilizaron tres métodos de clasificación de imágenes: SVM, KNN con distancias euclidianas y de intersección.

La base de datos utilizada para el entrenamiento, prueba y validación de los métodos comprende imágenes RGB tomadas en el hábitat natural de las Zingiberales, desde su germinación hasta su momento óptimo de corte. Las imágenes fueron pre procesadas, realizando un ajuste de balance de blancos, contraste y temperatura de color. Para separar los Zingiberales del fondo, se utilizó una técnica de segmentación gráfica mediante GrabCut. Los descriptores se obtuvieron mediante la técnica conocida como en inglés Bag of Words, encontrando que el número de palabras visuales más adecuado para la clasificación estaba entre 20 y 40. Se comprobó que se obtenía un mejor resultado de clasificación separando las flores de una especie en dos subclases, debido a su diferente coloración. Los mejores resultados se obtuvieron con el método KNN, utilizando los tres vecinos más cercanos, obteniendo una precisión del 97 % (Forero et al., 2021a).

Cirsium arvense es una planta invasora que suele encontrarse en climas fríos y que afecta los cultivos de cereales. Por lo tanto, su detección es importante para mejorar la producción de los cultivos. En el Semillero Lún se introdujo una técnica de procesamiento de imágenes que genera resultados aún mejores que los encontrados con algoritmos de aprendizaje automático; lo cual se refleja en aspectos como la precisión y la velocidad de la detección de esta maleza en los cultivos de cereales. El método propuesto se basa en la detección del color verde extremo característico de esta planta con respecto a los cultivos. Para evaluar la técnica, se comparó con seis métodos populares de aprendizaje automático utilizando imágenes tomadas desde dos alturas diferentes: 10 y 50 m.

La precisión obtenida con las técnicas de aprendizaje automático fue del 97,07 % en el mejor de los casos con tiempos de ejecución de más de 2 minutos con imágenes de 200 x 200 píxeles, mientras que la precisión del método de procesamiento de imágenes propuesto fue del 98,23 % y su tiempo de ejecución fue inferior a 3 segundos (Forero et al., 2019b).

Otros trabajos en desarrollo incluyen la detección y reconstrucción de estructuras en tres dimensiones, detección de xilema en raíz de cacao, detección de enfermedades en arándano y manzano, detección de deficiencias nutricionales en café, evaluación de calidad de bananos, detección de La siodiplodia theobromae en aguacate (Mejía-Cabrera et al., 2020), clasificación de aguacates (Moreno et al., 2019), limones (Tuesta-Monteza et al., 2020) y fresas de acuerdo a su maduración, método de binarización para el análisis cromosómico de plantas primitivas, como la *Zamia tolimensis* y la *Zamia huilensis* (Torres-Benítez et al., 2021), análisis comparativo de técnicas de detección de puntos de interés para el registro de fotografías aéreas infrarrojas y visibles en cultivos (Forero et al., 2019a, 2021b).

3.2. Aprendizaje de máquinas

El aprendizaje de máquinas se ha utilizado en distintas aplicaciones de la agricultura para identificar objetos de flora y fauna teniendo en cuenta variables como el tiempo y precisión. Por ejemplo, Forero et al. (2019c) realizó un estudio que se centraba en la identificación semiautomática de cocodrilos a través de imágenes las cuales pudieran estar en entornos de diferentes fondos. El trabajo utilizó aprendizaje supervisado y no supervisado para obtener buenos resultados encontrando que el método de Gaussian Mixture Models (Reynolds, 2009) era el modelo que más se ajustaba y permitía extraer el animal de los demás datos. Otro ejemplo es Betancourt-Lozano et al. (2021) donde el foco principal era segmentar la fibrosis aledaña de quistes cerebrales generados por la neurocisticercosis en cerdos. En esta investigación se trabajaron modelos de aprendizaje no supervisado utilizando automatización de límites a través de las medidas de chucadrado y matrices de covarianza. Por su contra parte, en Montoya and Gómez (2022) se aplicaron técnicas de aprendizaje para la identificación de enfermedades que se pudieran presentar en hojas de arándano y manzano. Este proceso contó con utilizar aprendizaje supervisado mejorando los datos con un filtro de MeanShift que permitía resaltar los bordes de la imagen suavizando el resto de la información. Los resultados de las 3 investigaciones superan una precisión del 90 %.

También se ha aplicado el aprendizaje de máquinas en otros proyectos que no solo utilizan información de imágenes. Por ejemplo, Murcia et al. (2022) utiliza información de nubes de puntos para reconstruir plántulas de maíz tridimensionales con las cuales poder adquirir fenotipos de los órganos a partir de aprendizaje de máquinas. Además de realizar esta tarea, liberaron una base de datos bastante extensa de los escaneos tomados, lo que permite validar los resultados y probar nuevos métodos.

En la Figura 3 se pueden apreciar los trabajos mencionados en esta sección.

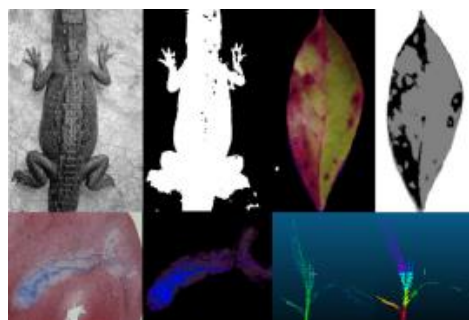


Figura 3: Trabajos de aprendizaje de máquinas para la detección de objetos. a) Cocodrilos y fondo. b) Enfermedades en hojas de arándano. c) Fibrosis quística. d) Órganos de plántula de maíz.

3.3. Interacción con el entorno

La inteligencia artificial cuenta con diversos campos de acción en la agricultura, como por ejemplo, la predicción del rendimiento de cultivos, el pronóstico de precios, la pulverización inteligente, el conocimiento de la predicción, la robótica agrícola y, el seguimiento de cultivos y suelos. La interacción con el entorno es fundamental para la aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura. Desde hace varios años se han estudiado y desarrollado diversos sistemas robotizados que permiten a través del uso de técnicas de la inteligencia artificial mejorar procesos agrícolas, obteniendo mejores productos y una mayor rentabilidad para el agricultor (Bechar and Vigneault, 2016).

El departamento del Tolima, es una región con un alto potencial agrícola, debido a la riqueza de sus suelos, con una gran variedad de productos, siendo uno de los principales productores de arroz, café, maíz, algodón, aguacate, panela y algunos frutales (ADR, 2019). Universidades, grupos de investigación y empresas han venido desarrollando estudios e investigaciones en el desarrollo de sistemas automatizados y robotizados con la implementación de técnicas de inteligencia artificial para mejorar procesos como la siembra, el riego, la inspección de plantas, la manipulación, recolección y clasificación de frutos, entre otros.

En diversas aplicaciones agrícolas es indispensable el uso de sistemas de visión por computador que permitan identificar los cultivos, las plantas y en especial los frutos, para poder identificar requerimientos en todo su proceso de cosecha y post-cosecha, como por ejemplo, el uso de sistema de calibración, seguimiento o control por visión de un robots para la automatización de cultivos a pequeña escala (García-Vanegas et al., 2019) (García-Vanegas et al., 2022). Estos sistemas permite el posicionamiento de herramientas, también llamadas efectores finales en la robótica, para la inspección de plántulas para identificar características de su fenotipo, la aspersión de agua o la aplicación de nutrientes de forma puntual, la identificación y eliminación de maleza. Estos sistemas de visión utilizando puntos de referencia y los propios cultivos para el procesamiento de imágenes y el análisis de su colorimetría para diagnosticar necesidades de los cultivos durante su proceso de crecimiento y recolección, como se ilustra en la Figura 4.



Figura 4: Interfaz gráfica para el control y monitoreo del robot AgroCablebot para la automatización de procesos de siembra, riego e inspección de plántulas en cultivos a pequeña escala.

CONCLUSIONES

Debido al aumento de la población mundial, el cambio climático y la deforestación se hace necesario el desarrollo de esfuerzos para mejorar la producción agrícola, mientras que simultáneamente se protegen las especies nativas. Con estos objetivos en mente, los semilleros en procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones Lún y diseño de sistemas mecánicos MEC-AUTRONIC de la Universidad de Ibagué desarrollan nuevos métodos para su uso en la agricultura y la botánica, algunos de los cuales fueron presentados en este artículo con el fin de darlos a conocer a la comunidad en general, ya sea para su uso o para promover el desarrollo de nuevos trabajos donde la experiencia y capacidades de estos semilleros puedan aportar nuevas soluciones en la agricultura y la protección de los recursos vegetales.

REFERENCIAS

1. ADR, Agencia de Desarrollo Rural, F. (2019). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial.
2. Bechar, A. and Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149:94-111.
3. Betancourt-Lozano, J. J., Vargas, M. G. F., and Santana, L. E. B. (2021). Detección de fibrosis aleada a quistes producidos por neurocisticercosis mediante procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones. *SPIE*, page 58.
4. FAO (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Last accessed 10 October 2022.
5. Forero, M. G., Acosta, A., Ducuara, A., Godoy, Y., and Moreno, J. G. (2019a). Comparative analysis of interest points detection techniques for the registration of infrared and visible aerial photographs in pasture crops. In Tescher, A. G. and Ebrahimi, T., editors, *Applications of Digital Image Processing XLII*, volume 11137, page 11137OG. International Society for Optics and Photonics, SPIE.
6. Forero, M. G., Beltrán, C. E., and González-Santos, C. (2021a). Automatic classification of zingi berales from rgb images. In Roman-Rangel, E., Kuri-Morales, A. F., Martínez-Trinidad, J. F., Carrasco-Ochoa, J. A., and Olvera-López, J. A., editors, *Pattern Recognition*, pages 198-206, Cham. Springer International Publishing.
7. Forero, M. G., Beltrán, C. E., Troncoso, A., and González-Santos, C. (2020). Classification of cattleya trianae and its varieties by using colorimetry. In Figueroa
8. Mora, K. M., Anzures Marín, J., Cerda, J., Carrasco-Ochoa, J. A., Martínez-Trinidad, J. F., and Olvera-López, J. A., editors, *Pattern Recognition*, pages 35-44, Cham. Springer International Publishing.

9. Forero, M. G., Herrera-Rivera, S., 'avila Navarro, J., Franco, C. A., Rasmussen, J., and Nielsen, J. (2019b). Color classification methods for perennial weed detection in cereal crops. In Vera Rodriguez, R., Fierrez, J., and Morales, A., editors, *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications*, pages 117-123, Cham. Springer International Publishing.
10. Forero, M. G., Lozano, J. J., and Balaguera-Reina, S. A. (2019c). Individual identification au tomaton in crocodylians through imagery processing: American crocodile as a study case. In *Applications of Digital Image Processing XLII*, volume 11137, pages 586-595. SPIE.
11. Forero, M. G., Mambuscay, C. L., Monroy, M. F., Miranda, S. L., Méndez, D., Valencia, M. O., and Gómez Selvaraj, M. (2021b). Comparative analysis of detectors and feature descriptors for multispectral image matching in rice crops. *Plants*, 10(9):1791.
12. García-Vanegas, A., Leiton-Murcia, C., Forero, M. G., Gonzalez-Rodriguez, A., and Castillo García, F. (2022). Cable-driven parallel robot controlled by servo-vision system. In Vergara Villegas, O. O., Cruz-Sánchez, V. G., Sossa-Azuela, J. H., Carrasco-Ochoa, J. A., Martínez Trinidad, J. F., and Olvera-López, J. A., editors, *Pattern Recognition*, pages 291-302, Cham. Springer International Publishing.
13. García-Vanegas, A., Liberato-Tafur, B., Forero, M. G., Gonzalez-Rodriguez, A., and Castillo García, F. (2019). Automatic vision based calibration system for planar cable-driven parallel robots. In Morales, A., Fierrez, J., Sánchez, J. S., and Ribeiro, B., editors, *Pattern Recognition and Image Analysis*, pages 600-609, Cham. Springer International Publishing.
14. Hardy, T. (2001). Ia (inteligencia artificial). *Polis: Revista Latinoamericana*, 1(2):18. 6
15. Mejia-Cabrera, H. I., Flores, J. N., Sigueñas, J., Tuesta-Monteza, V., and Forero, M. G. (2020). Identification of Lasiodiplodia Theobromae in avocado trees through image processing and machine learning. In Tescher, A. G. and Ebrahimi, T., editors, *Applications of Digital Image Processing XLIII*, volume 11510, page 115102F. International Society for Optics and Photonics, SPIE.
16. Montoya, X. and Gómez, D. (2022). Estudio comparativo de técnicas de agrupamiento para la segmentación de imágenes cromáticas.
17. Moreno, G. A., Forero, M. G., Gómez, F., and Ramírez, M. (2019). Hass avocado classification by color and volume using a Kinect sensor. In Tescher, A. G. and Ebrahimi, T., editors, *Applications of Digital Image Processing XLII*, volume 11137, page 111371P. International Society for Optics and Photonics, SPIE.
18. Murcia, H. F., Forero, M. G., Méndez, D., and Betancourt-Lozano, J. (2022). Lidar platform for acquisition of 3d plant phenotyping database. *Plants*, 11(17):2199.
19. Reynolds, D. A. (2009). Gaussian mixture models. *Encyclopedia of biometrics*, 741(659-663).
20. Rojas, O., Forero, M. G., Menéndez, J. M., Jones, A., Dewitte, W., and Murray, J. A. H. (2020). Segmentation of meristem cells by an automated optimization algorithm. *Applied Sciences*, 10(23):8523.
21. Rojas Camacho, O., Forero, M. G., and Menéndez, J. (2017). A tuning method for diatom segmentation techniques. *Applied Sciences*, 7(8):762.
22. Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial*. Madrid: Alienta Editorial.
23. Torres-Benítez, A., Aldana, M., and Forero, M. G. (2021). Binarization method for chromosomal analysis of primitive plants: the case of Zamia tolimensis and Zamia huilensis (Cycadales, Zamiaceae). In Tescher, A. G. and Ebrahimi, T., editors, *Applications of Digital Image Processing XLIV*, volume 11842, page 118421X. International Society for Optics and Photonics, SPIE.
24. Tuesta-Monteza, V., Alcarazo, F., Mejia-Cabrera, H. I., and Forero, M. G. (2020). Automatic classification of citrus aurantifolia based on digital image processing and pattern recognition. In Tescher, A. G. and Ebrahimi, T., editors, *Applications of Digital Image Processing XLIII*, volume 11510, page 115100K. International Society for Optics and Photonics, SPIE.

Situación de la *Cyclospora cayetanensis* en Colombia: cadena productiva de la albahaca fresca de exportación

Piedad Lopera

Bióloga, Msc. Laboratorio de microbiología para el agro, Basil Farm SAS, Espinal, Tolima, Colombia
piceloye@gmail.com.

RESUMEN

La exportación de plantas aromáticas y medicinales está creciendo en el mundo. La albahaca fresca se vislumbra con gran potencial para la producción y comercialización en Colombia, debido a sus múltiples propiedades y gran demanda. Sin embargo, la cadena de custodia de los alimentos frescos es rigurosa ya que debe garantizar la inocuidad del producto, los microorganismos más buscados son los de la materia fecal como bacterias, levaduras y protozoos, dentro de estos últimos está *C. cayetanensis*, un enemigo latente por tener varios reportes ante la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA). Debido a lo anterior, los controles aduaneros se han agudizado, con el agravante que no hay un solo laboratorio en Colombia que tenga una técnica validada por la FDA para su análisis. De igual manera, de las 29 albaqueras que hay, 23 están en el Tolima, departamento que no cuenta con entidades que puedan ofrecer el servicio por el método tradicional, lo que obliga a todos los productores a enviar sus muestras a Antioquia o Quindío. No obstante lo anterior, a través de Agrosavia y la empresa privada Basil Farm SAS se están implementando estrategias y soluciones a través de proyectos con Minciencias para tener métodos eficientes y homologables con el ente regulador, que permitan saber la presencia y riesgo de contaminación por el parásito a partir de las matrices suelo, agua y planta.

Palabras Claves:

albahaca, *Cyclospora cayetanensis*, cadena de custodia

ABSTRACT

The export of culinary and medicinal herbs is growing across the globe. Raw fresh basil is visualized as a high-quality product with great distribution and production potential in Colombia, owing to its multiple traits and constant demand. Albeit, the chain of custody of fresh food is rigorous, since food hygiene must always be met. The most common microorganisms to keep an eye out for are the ones found in feces like bacteria, as well as the ones found in yeast and finally the protozoa. Within this last category we have *C. Cayetanensis*, a concealed enemy for the country for having several alarming reports before the FDA. Due to these concerning reports, custom duties controls are being more strict, with the aggravation that there is no single lab in Colombia that has a certified and validated technique approved by the FDA for the analysis of *C. cayetanensis*. Likewise, out of the 29 Basil crops production companies existing in Colombia, 23 are located in Tolima, department that doesn't institutions that can to offer the service for the conventional detection technique, what forces our raw basil farmers to send their samples to Antioquia or Quindío. Notwithstanding the foregoing, through Agrosavia and the private company Basil Farm SAS, strategys and solutions are being implemented through projects with Minciencias with the goal to have efficient and standardized mtehods with the regulatory entity, wich allow knowing the presence and risk of cantamination by the parasite from soil, water and plant matrices.

Keywords: Fresh basil, *Cyclospora cayetanensis*, chain of custody

INTRODUCCIÓN

***C. cayetanensis*, ciclosporiasis y métodos de diagnóstico**

La *C. cayetanensis* es un parásito intracelular obligado del grupo de los coccidios, patógeno de humanos cuyo único hospedero es el hombre. Su ciclo de vida comienza con la ingesta del microorganismo en forma de ooquistes esporulados (esporocitos), una vez llegan al intestino delgado se desenguistan y liberan los esporozoítos, que invaden las células epiteliales de este órgano (Ortega et al, 1998; Chacín-Bonilla y Barrios, 2011). En la siguiente fase los esporozoítos rodeados de

una membrana parasitofora se ubican en el citoplasma cerca al núcleo y se convierten en trofozoítos, estos últimos sufren una serie de divisiones asexuales para dar origen a unas estructuras llamadas meromontes quienes inician el proceso de división sexual. En esta última, los meromontes dan origen a los merozoítos quienes a su vez dan origen a células diferenciadas en estados masculinos y femeninos, llamadas microgametocitos y macrogametocitos, respectivamente. El primero forma numerosos microgametos flagelados, el segundo se transforma en cigoto, el cual desarrolla una pared

gruesa y resistente, y se convierte en un ooquiste inmaduro no esporulado, seguidamente, ambos salen con las heces al exterior. El parásito necesita condiciones ambientales específicas para esporular y volverse perjudicial, bajo condiciones experimentales se requirió una combinación de un tiempo entre 7 y 15 días y una temperatura de 23° a 25°C para que *C. cayetanensis* fuera infeccioso (Ortega y Sánchez, 2010).

La forma en que se contagia el parásito es por la vía oral al beber agua o comer alimentos contaminados con los esporos que están en la materia fecal. La enfermedad que produce se llama cyclosporiasis, los síntomas pueden ser de leves a severos e incluye diarreas acuosas y algunas veces explosivas, náuseas, anorexia, calambres abdominales, flatulencia, hinchazón, dolor de cabeza, fiebre y puede tener complicaciones severas en pacientes inmunodeprimidos o niños menores a dos años (Ortega et al, 1998; FDA, 21 CFR 112; Bastidas P.G et al, 2018). Los síntomas pueden desaparecer y luego regresar una o más veces, si no se trata, la enfermedad puede durar de unos días a un mes o más, mientras que algunas personas infectadas son asintomáticas. La infección se trata con antibióticos y la mayoría de las personas responden rápidamente al tratamiento (FDA, 21 CFR 112). A pesar de que la cyclosporiasis se ha reportado en la mayoría de los países conocidos, es más común en aquellos que están en vías de desarrollo, con una mayor incidencia en los meses calurosos que siguen a las épocas de lluvia (Bastidas P.G et al, 2018). Una de las razones para que haya una mayor prevalencia de la enfermedad en estas regiones es que casi todas están ubicadas en zonas tropicales, donde las condiciones climáticas favorecen la presencia del patógeno todo el año, contrario a los lugares que presentan estaciones, donde se convierte en un parásito de temporada. Adicionalmente, en los países en vías de desarrollo, las condiciones higiénicas, el hacinamiento, el presupuesto para investigar enfermedades con índices de mortalidad bajo y el desconocimiento clínico por parte del personal médico, favorecen el desarrollo de la enfermedad (Bastidas P.G et al, 2018).

A pesar de que el patógeno fue catalogado como parásito intracelular obligado en 1977 y como agente de infección en el año 1979, aún hay muchos aspectos del microorganismo que dificultan su estudio. Uno de ellos son las múltiples formas en que se encuentra en el ambiente y en su único hospedador, el hombre. Adicionalmente, es parecido a otros organismos del mismo género y se sugiere por diversidad en sus esporozoitos que está emparentado con el género isospora (Bastidas P.G et al, 2018). Las técnicas que se han usado para su detección son microbiológicas y moleculares. Las primeras pueden utilizar métodos de tinción a partir de colorantes como la safranina el cual tiñe los ooquistes de forma regular en un 98% cuando las muestras son calentadas en microondas.

También se utilizan tinciones ácido-resistentes de Ziehl Neelsen, la cual tiñe los ooquistes de formas variables, que van desde el rojo claro, el rosa pálido o no toman la coloración (Ortega y Sánchez, 2010). Sin embargo, estas técnicas no son específicas para el parásito en cuestión y pueden ser utilizadas para teñir otro tipo de células, además no permiten confirmar la detección de esporoquistes y otras estructuras del patógeno (Bastidas P.G et al, 2018). Otra técnica que se ha usado es la microscopía óptica, mediante el microscopio de campo claro o el de contraste de fases para determinar la presencia de ooquistes, los cuales miden de 8 a 10 µm y tienen microgametos flagelados. Si la muestra se almacena entre 23 y 30°C, durante 7 a 15 días los ooquistes se convertirán en ooquistes esporulados y podrán ser confirmados al microscopio porque presentan dos esporoquistes (Ortega y Sánchez, 2010). El microscopio de fluorescencia también ha sido usado en la detección de otros coccidios y se sugiere como una buena opción para el procesamiento de varias muestras de *C. cayetanensis* en caso de un brote, cabe la pena resaltar que la técnica de detección no es específica para el patógeno (Ortega y Sánchez, 2010). Recientemente se han utilizado métodos más sensibles para la identificación del parásito como la PCR anidada dirigida al fragmento 18s del gen ARN ribosomal (posiciones 685 a 798), sin embargo, esta técnica no puede diferenciar a *Cyclospora* del género *Eimeria*. No obstante, la digestión de los productos amplificados utilizando la enzima de restricción MnlI, seguida de visualización en gel de electroforesis (PCR-RFLP), da como resultado patrones, que pueden distinguir estos dos géneros. Vale la pena resaltar, que diferentes investigadores han hecho en los mismos pacientes y con las mismas muestras, ensayos de detección por varias técnicas, los resultados varían según la muestra utilizada y en todos los casos siempre se reportan más casos positivos para *C. cayetanensis* cuando se utilizan métodos moleculares (Ortega y Sánchez, 2010).

Exportaciones de plantas aromáticas y medicinales en el país: panorama de la albahaca

Colombia registró en el 2020 un ingreso per cápita en las exportaciones de US\$610, donde el 7.6% de su composición sectorial industrial fueron la agricultura, la ganadería y la pesca (DANE - DIAN, 2021). En cuanto al panorama de plantas aromáticas y medicinales, el ministerio de agricultura para el año 2017 registró una cantidad de hectáreas sembradas de 3.478 Ha y un peso total de 17.051 Toneladas, siendo los departamentos que más exportan, en su orden, Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca (Minagricultura, 2018).

Aunque el mercado específico de la albahaca apenas si hace eco en los listados oficiales, con un total para el país de 95 Ha cultivadas y un

producido de 273 Tn, el 3 de agosto de 2021, se reunió en la cámara de comercio del espinal - Tolima los principales productores de albahaca. El motivo del encuentro fue formalizar el gremio y conformar la asociación de albaqueros de Colombia (Albacol). Allí estuvieron presentes además de los productores, Crispin Cartagena, miembro de la junta directiva de la cámara de comercio y experto en el tema de agremiaciones y el Dr. Luis Cossio del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Se reportó una cantidad aproximada de área sembrada de 150 Ha en 29 predios, ubicados en los departamentos de Cundinamarca, Atlántico, Magdalena, Bolívar, Antioquia y Tolima. Si bien este último, no aparece en los listados de los principales exportadores, es el principal productor y exportador con 23 predios, vale la pena resaltar, que la razón para que esto suceda, es porque la mayoría del producto se vende por comercializadoras de Cundinamarca y Bogotá, lo que infla las cifras para esos departamentos y saca a Tolima del primer puesto (Exposición magistral Dr. Luis Cossio, 2021).

Con respecto a las plantas aromáticas y medicinales el ministerio de agricultura dice -Este cultivo se ha convertido en un importante componente del ingreso de la población rural, especialmente de pequeños y medianos productores y grupos de mujeres, por lo tanto, la cadena productiva sirve como escenario para diseñar estrategias encaminadas a proteger éste subsector productivo naciente y lo preparen para insertarse en los nuevos escenarios de comercialización, los cuales se están generando bajo las expectativas de una potencial de exportación a países de economías desarrolladas- (Minagricultura, 2021).

Considerando lo anterior, se sabe que es un momento de crecimiento y auge para la exportación y el fortalecimiento de economías locales que contribuyan al desarrollo de la región y el país. De igual manera, considerando las tendencias de la alimentación saludable, sabemos que las plantas aromáticas frescas que tengan además usos culinarios van a ser cada vez más demandadas, siendo la albahaca una de las más apetecidas por su exquisito sabor y poder aromatizante (Reyes P, 2011).

Presencia de *C. cayetanensis* en alimentos frescos de exportación y medidas de la FDA

El organismo que regula y controla la presencia de *C. cayetanensis* en productos de exportación para Estados Unidos es la FDA (por sus siglas U.S. Food and Drug Administration). La norma que rige la inocuidad en los productos frescos agrícolas es la 21 CFR 112, en la cual hay una hoja de asistencia técnica exclusiva para el microorganismo en cuestión. Esta ficha habla de las cuestiones más relevantes del parásito, la enfermedad que produce, las posibles fuentes de contaminación y los métodos de prevención que pueden usar los agricultores, para evitar la contaminación de los productos (FDA, 21 CFR 112). Sin embargo, en el encuentro de la cámara y comercio del espinal (Tolima, 2021), el Dr. Luis Cossio dirigió una conferencia en la cual mostró

un video de la FDA que contenía la información acerca de los exámenes diagnósticos que son válidos para el ente regulador y de las medidas impuestas en caso de la presencia del parásito. Dice el video de forma textual y reiterativa -Lo grave para la FDA en el hallazgo de *C. cayetanensis* es que esto es un indicador de que hay un problema mayor dentro de la finca e indica, además, que, si el parásito logró estar presente en el producto, es porque la concentración del patógeno es muy alta en el predio productor. Las medidas que puede tomar la FDA solamente pueden tener dos direcciones, castigar la comercializadora responsable de la venta o castigar la exportación para el país. La FDA no puede tomar medidas directas sobre los productores ya que no existe con ellos un convenio legal- El Dr. Cossio recalca que es un deber de los productores tener una cadena de custodia que garantice la exportación de productos confiables y que el único método de diagnóstico válido para la detección temprana del patógeno son los análisis moleculares por PCR o PCR-RFLP. En esta misma charla se expone, además, que en Colombia el primer reporte del parásito se hizo hace 15 años sobre Frambuesa y desde entonces se viene detectando en cilantro y albahaca. La alerta roja que hay en el gremio de albaqueros es porque en los últimos tres años se han reportado para el Tolima dos predios con la presencia del parásito y para Cundinamarca uno. Esto deja una advertencia, que debe ser atendida con urgencia para que los mercados de exportación emergentes sigan creciendo, más aún con el potencial de Colombia para la producción de plantas aromáticas y medicinales y de la región para la producción de albahaca (Exposición magistral Dr. Luis Cossio, 2021).

El departamento y su compromiso con la cadena de custodia

Debido a la inminente preocupación del gremio y a la necesidad de buscar soluciones que mitiguen los reportes del parásito, se han venido adelantando acciones, peticiones y proyectos dentro de los organismos estatales y privados. Las soluciones inmediatas son el monitoreo regular (por lo menos 4 veces al año) de las aguas de riego, de fumigación, de lavado de manos y al producto listo para la exportación. Las entidades que prestan el servicio son la Universidad del Quindío, por técnica de PCR y el laboratorio de Jose Barguil en Medellín y el de la UdeA, por métodos microbiológicos tradicionales. Debido a los costos de la primera técnica, normalmente los análisis se hacen por la segunda como control de rutina y una vez al año, o cuando sea requerido, por un laboratorio en Estados Unidos que cuente con la metodología válida para la FDA.

De igual manera, La Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Agrosavia, el año pasado se ganó un proyecto dentro de la convocatoria de regalías de minciencias, Titulado: 'Implementación de alternativas de manejo agronómico, postcosecha y de inocuidad en el

sistema productivo de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) para el cierre de brechas en los municipios de Honda, Mariquita y Espinal en el departamento del Tolima. Uno de los objetivos específicos contempla el desarrollo de una metodología homologable por la FDA para el diagnóstico de *C. cayetanensis*, y la generación de un documento que nos permita saber la presencia y riesgo de contaminación por el parásito a partir de las matrices suelo, agua y planta (Ángela María Vargas, socialización del proyecto, Agrosavia, 2022).

En esta misma dirección, la empresa Basil Farm SAS (Mayacert), ubicada en el municipio de Flandes con 16 Ha cultivadas, ha sido pionera en encontrar estrategias que permitan mejorar la calidad del producto. Una de las más destacadas es la implementación de un laboratorio de microbiología para el Agro, el cual está destinado en un corto plazo a ofrecer servicios y productos a la compañía y en un mediano a largo plazo al público en general. Es así, como la empresa teniendo claro el panorama de inocuidad del producto, decidió a través del laboratorio aplicar, a la convocatoria 2021 de miniciencias en el marco de crédito fiscal y fue ganadora de un proyecto que se titula: "Laboratorio de microbiología en BASIL FARM S.A.S, para el diagnóstico temprano de microorganismos de importancia clínica en alimentos frescos de exportación". Lo anterior, involucra como parte del objetivo general, la implementación de una metodología tradicional, que permita indicar de manera temprana, al menos, si hay presencia de ooquistes en las muestras que se analizan de rutina. Lo anterior, abre una real posibilidad de tener una cadena de custodia en el día a día y un potencial enorme para prestar servicios a muchas empresas que lo requieren. La idea es hacer alianzas estratégicas que permitan tener acceso a los servicios de forma confiable, oportuna y económica.

Para terminar, es importante decir que otra acción en la que se deben dirigir los esfuerzos, es en buscar proyectos que permitan generar la potabilización del agua que tiene contacto con el producto terminado o con el personal que lo manipula. Pues aún no existe para el gremio de albaqueros de la región, plantas potabilizadoras de agua y aún hay muchos vacíos frente a la cantidad y variedad de microorganismos patógenos que se pueden encontrar en todo el ciclo del cultivo. Los reservorios de los productores para el riego salen casi en su totalidad de aguas subterráneas que son concentradas en aljibes, lo que aumenta la posibilidad de contaminación de las fuentes por escorrentías. El tratamiento de las aguas de riego se hace por métodos físico-químicos que no garantizan todavía la sanidad.

CONCLUSIONES

La *C. cayetanensis*, ha generado inquietud en el gremio de productores de albahaca debido a los hallazgos Recientemente reportados por la FDA para los predios productores de la región, a las

sanciones impuestas por el organismo regulador y al aviso de un posible cierre en las exportaciones.

Si bien en el país no tenemos la metodología que valida la FDA, se recomienda utilizar las herramientas de diagnóstico que tenemos de forma regular, para al menos detectar estructuras como ooquistes que puedan dar una alerta de forma inmediata.

La principal región productora y exportadora de albahaca en Colombia, es el Tolima con 23 de los 29 predios existentes. En esta región se vienen adelantando dos proyectos a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología para la detección temprana del parásito. Uno a través de Agrosavia, el cual tendría un método homologado por la FDA y otro a través de una empresa del sector privado, el cual permitiría al gremio tener un análisis de rutina sin tener que enviar las muestras a otros departamentos.

REFERENCIAS

1. Bastidas, P. G. et al. (2018). "Una mirada actual sobre *Cyclospora* spp. y ciclosporiasis". Biosalud, Volumen 17 No. 2. págs. 91 - 101
2. Chancin-Bonilla, L. y Barrios, F. (2011). "*Cyclospora cayetanensis*: biología, distribución ambiental y transferencia", Biomédica vol.31 no.1 Bogotá Jan./Mar.
3. Cossio, L. (2021). "La *Cyclospora cayetanensis* en los productos de exportación", Conferencia magistral en la Cámara de Comercio del espinal Tolima. ICA, Ibagué, Tolima - Colombia.
4. DANE - DIAN, (2021). "Perfiles económicos departamentales, Perfil económico: Departamento del Tolima", Ministerio de comercio colombiano. URL: <https://www.mincit.gov.co/getattachment/ed a93571-34c2-48d8-956e-6cffb358d488/Tolima>
5. Ortega, et al. (1998). "*Cyclospora cayetanensis*", Advances in Parasitology, Volumen 40, páginas 399-418.
6. Ortega, Y. y Sánchez, R. (2010). "Update on *Cyclospora cayetanensis*, a Food-Borne and Waterborne Parasite", Clinical Microbiology Reviews. Jan; 23(1):218-234.
7. U.S. Food and Drug Administration. (2021). "HOJA DE ASISTENCIA TÉCNICA DE LA FDA. Norma de la Inocuidad para los Productos Agrícolas Frescos (21 CFR 112). Cyclosporiasis y los Productos Agrícolas Frescos". URL: <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/cyclospora>
8. Ortega, et al. (1998). "Detection of *Cyclospora cayetanensis* in wastewater", Appl. Environ. Microbiol.64:2284-2286.
9. Reyes Pinilla, G. M. (2011). "Identificación de los requisitos indispensables para la exportación de albahaca (*Ocimum Basilicum*) al mercado de los Estados Unidos". Retrieved from

https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_agronegocios/72

10. Vargas, A. (2022). "Implementación de alternativas de manejo agronómico, postcosecha y de inocuidad en el sistema productivo de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) para el cierre de brechas en los municipios de Honda, Mariquita y Espinal en el departamento del Tolima". Socialización del proyecto, Agrosavia, Nataima, Espinal, Tolima - Colombia.

El internet de las cosas IoT: aplicaciones y perspectivas en el agro

Jairo Andrés Hernández Naranjo

Ingeniero electrónico, Centro Agropecuario La Granja, SENA, Experto línea de Electrónica y Telecomunicaciones. SENAGROTIC, Espinal, Colombia.
jahernandez@sena.edu.co

RESUMEN

Colombia es un país dedicado mayormente a la agricultura, que a pesar de contar con más de 40 millones de hectáreas cultivables de terreno, solo se siembran aproximadamente 7 millones. Aunque el país cuenta con una posición privilegiada en el planeta, extensiones de tierra y otras ventajas frente a países como Japón, aún no se considera como potencia en agricultura. En este artículo se presenta el estado del arte actual del agro en Colombia, con el objetivo particular de dar respuesta a ciertas inquietudes tales como: ¿Tecnificar los cultivos favorece la producción? ¿Genera beneficios económicos? ¿Qué es el Internet de las cosas IoT? ¿Cómo se aplica en la Agricultura? De manera que en este texto el lector podrá conocer cuánto ha evolucionado la agricultura en Colombia, desde la perspectiva de aplicación de la tecnología y en particular del Internet de las Cosas IoT, las principales dificultades para su implementación y algunas perspectivas futuras.

Palabras Claves:

Internet de las cosas IoT, Agro en Colombia, Agricultura de Precisión, Sensores para el agro.

ABSTRACT

Colombia is a country mainly dedicated to agriculture, which despite of having more than 40 million of cultivable hectares of land, only approximately 7 million are planted. Although the country has a privileged position on the planet, land extensions and other advantages over countries such as Japan, it is still not considered a power in agriculture. This article presents the current state of the art of agriculture in Colombia, with the particular objective of answering certain questions such as: Does crops technological development favors production? Does it generate economic benefits? What is the Internet of Things IoT? How is it applied in agriculture? In this text the reader could know how much has evolved agriculture in Colombia from the perspective of application of technology and in particular the Internet of Things IoT, the main difficulties for its implementation and some future perspectives.

Keywords: Internet of Things IoT, Agro in Colombia, Precision Agriculture, Sensors for agriculture

INTRODUCCIÓN

La población del mundo continúa creciendo tan rápidamente, que para 2050 se estima la cifra sea de entre 9,4 y 10,1 mil millones de personas, aumentando la necesidad de zonas especializadas de producción de alimentos, especialmente para la cosecha y la ganadería (Dayioglu, 2021). Para lograr una producción agrícola sustentable es necesario aumentar la productividad de la tierra, de forma eco-amigable, y que además permita la trazabilidad necesaria para determinar la calidad y pureza con la que dichos alimentos han sido producidos. Esto en una sociedad que demanda cada vez más la producción de alimentos orgánicos, libres de pesticidas y fertilizantes artificiales.

Colombia es un país estratégicamente ubicado en el continente americano, cuenta con dos océanos, mares, ríos, selvas, montañas, planicie, y una de las mayores diversidades de flora y fauna del planeta; sin embargo, y a pesar de su vocación

agrícola no es actualmente potencia mundial en producción de alimentos. Al observar la frontera agrícola del país, demarcadas por las zonas verdes de la figura 1a, se evidencia que un alto porcentaje del país tiene potencial agrícola con producción de aguacate, banano, cacao, café, arroz, caña de azúcar, (figura 1b) entre otros, los cuales se pueden cultivar en diferentes regiones del país y con gran potencial de exportación.

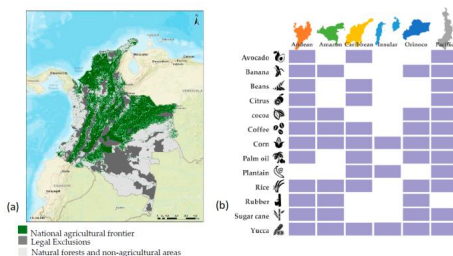


Figura 1. Frontera agrícola de Colombia
(Fuente: Dayioglu 2021)

No obstante, Colombia en los últimos años ha importado maíz de Estados Unidos, arroz de China, entre otros productos, lo cual resalta la problemática que enfrenta el país, puesto que la expectativa sería que el país exportará dichos productos. En particular al revisar las cifras de valor agregado, es decir del provecho económico neto obtenido por una actividad económica (figura 2), se observa que China y Estados Unidos lideran la lista, obteniendo importantes dividendos según cifras de indexmundi (Indexmundi, 2022). Esto parecería lógico ya que son países que cuentan con el terreno, recursos económicos y tecnología para desarrollar esta actividad a gran escala. Sin embargo, al continuar el análisis del listado de países se observa que en los primeros lugares destaca Japón, país de pocos recursos hídricos, altamente volcánico, montañoso en el 85% de su superficie, sobrepoblado y con estaciones lo que hace que los tiempos de cultivo no sean siempre favorables. Por otro lado, aparece Colombia ubicado en la posición 30, a pesar de contar con un mejor panorama para la agricultura, lo cual es importante analizar en detalle.

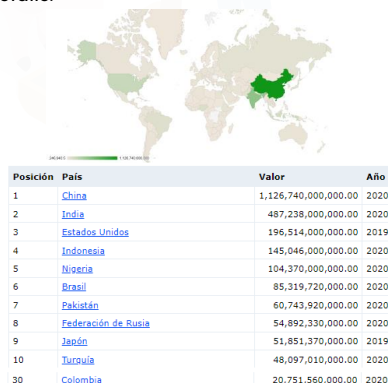


Figura 2. Cifras de valor agregado en la Agricultura (USD) (Fuente: indexmundi 2022)

Japón es reconocido como potencia en ámbitos tecnológicos, en desarrollo electrónico, robótica e industria automotriz. Sin embargo, la necesidad de proveer de alimentos a su densa población, y la falta de terreno cultivable ha hecho que innoven en campos como la agricultura hidropónica (cultivar sin tierra), a través de cultivos verticales, y con desarrollos como los del científico Yuichi Mori, quien logró cultivar frutas y verduras en cualquier entorno, su técnica consume un 90% menos de agua que la agricultura tradicional y no utiliza pesticidas ya que los poros del polímero bloquean los virus y las bacterias (Kamata Fatima, BBC, 2019).

Otros ejemplos de desarrollos realizados en Japón como se ilustra en la figura 3 incluyen el cultivo de tomates en el desierto a través de invernaderos,

en donde la luz artificial hace que las plantas crezcan rápidamente, y el manejo controlado elimina la pérdida por enfermedades. También incluyen el desarrollo del robot 'duck', quien navega el agua de los campos de arroz para ayudar a que se oxigene. O el robot tractor, el cual a través de un sistema de control y posicionamiento global permite que una persona puede operar dos tractores al mismo tiempo.



Figura 3. Aplicaciones de tecnología en el Japón (Fuente: GuiaAgroIndustrial¹)

Los anteriores ejemplos del caso Japón, son una muestra de cómo la tecnología puede mejorar los procesos productivos agrícolas, logrando un beneficio económico y para la sociedad.

INTERNET DE LAS COSAS IoT Y APLICACIÓN EN EL AGRO

La tecnología ha evolucionado de forma exponencial, esto desde la aparición de la máquina de vapor y posteriormente lo que se conoció como la era industrial a través de la producción en masa. Con la posterior aparición del internet, se creó una nueva revolución de la información, la cual conectó al mundo alcanzando el comercio global. Todos estos avances en la historia de la humanidad nos llevan a lo que se conoce en la actualidad como la industrial 4.0, en donde dispositivos electrónicos conectados a internet transmiten información y permiten ser controlados remotamente (KrzysztofWójcicki, 2022). Estas cuatro revoluciones industriales se observan en la línea del tiempo de la figura 4.

¹ <http://guia-agroindustrial.com/>

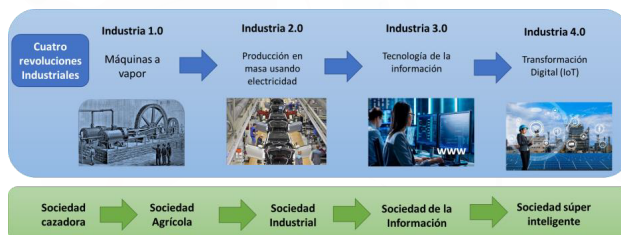


Figura 4. Evolución y transformación de la sociedad (Fuente: Adaptado de Krzysztof Wójcicki, 2022)

A la par de estos desarrollos y revoluciones tecnológicas, la agricultura ha tenido también una evolución importante, partiendo del uso de herramientas manuales usando tracción humana y animal en la agricultura 1.0, hasta el uso de tractores y maquinaria para mejorar la producción en la segunda revolución a mediados de los años 50. Posteriormente, al desarrollo en electrónica y microelectrónica dio como resultado la aparición de la automatización de la agricultura, la agricultura de precisión a través de sistemas de monitoreo y posicionamiento global GPS (Dayioglu 2021). En tiempo recientes se habla de una agricultura autónoma, ya que cuenta con una serie de actuadores y sensores inteligentes, que permiten tomar acciones para garantizar la condición del cultivo sin intervención humana, este es el desarrollo de la agricultura 4.0 (Rehman 2022), tal y como lo muestra la figura 5.

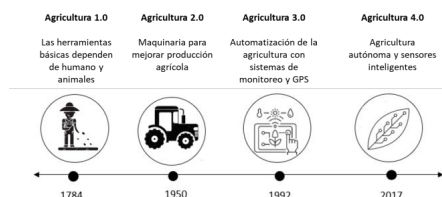


Figura 5. Evolución del IoT en la línea del tiempo (Fuente: Adaptado de Dayioglu 2021)

Al comparar algunos desarrollos de Japón según lo discutido, frente al desarrollo de varios de los cultivos tradicionales de Colombia, es claro de forma generalizada, Japón está en la agricultura 4.0 mientras que Colombia tiene un rezago tecnológico que la ubica en la agricultura 2.0; por tanto, le impide competir abiertamente en el mercado global (Hoyos 2022), contando solo con unos productos que actualmente cuentan con mayor desarrollo y trazabilidad.

Algunas de las problemáticas actuales del agro en Colombia incluyen: falta tecnificación del campo,

malas prácticas agrícolas, cultivos sensibles a los cambios climáticos, altos costos de fertilizantes e insumos, falta de infraestructura vial, terreno irregular, se exporta materia prima y no productos transformados, baja inversión en el campo (Riaño 2022, Toledo 2022). Estas circunstancias presentan una oportunidad para que a través de la innovación y el uso de tecnologías IoT entre otras, se logre una mejor participación del mercado agrícola global (LIU, 2022).

¿Qué es el Internet de las Cosas IoT?

Tal y como lo defina la Internet Society²: "El término "internet de las cosas" (IoT) denota una tendencia donde un gran número de dispositivos embebidos emplea servicios de comunicación a través de protocolos de internet". En el contexto del agro, el internet de las cosas permite tener una medición continua de las variables más importantes del cultivo, permitiendo así optimizar los recursos y maximizando la producción (Kuang, 2022). La arquitectura de dicha red se ilustra en la figura 6, con cuatro capas principales, sensores, comunicaciones, servicio y aplicación.

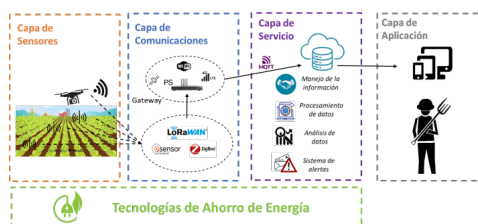


Figura 6. Arquitectura de la red IoT (Fuente: Autor)

La capa de sensores incluye todos los elementos que permiten transformar variables físicas como la temperatura, humedad, etc en una señal eléctrica que pueda ser transmitida y procesada. Esta señal pre-procesada viaja a través de un canal de comunicación (WiFi, bluetooth, LoRa, ZigBEE, etc.) hacia una capa de servicio, encargada de procesar la información para tener

² www.internetsociety.org

conocimiento útil y un sistema de alertas que permita al usuario en capa de aplicación tomar decisiones (figura 6).

Cada una de estas capas trae consigo una serie de desafíos tecnológicos, no solo para los ingenieros desarrolladores, sino también para todo el equipo multidisciplinar participante, dado que la participación es ahora mayor, incluyendo los agrónomos, agricultores, proveedores, etc., ya que la información estará accesible para todos (Kong 2022). Adicionalmente, se resalta en la figura 6, el hecho que las energías verdes son un eje transversal para lograr un desarrollo sostenible.

En términos de aplicación del IoT en el agro se pueden observar diversos campos (Sinha 2022), tal y como se ilustra en la figura 7.



Figura 7. Áreas generales de aplicación del IoT en el Agro (Fuente: Adaptado de Sinha 2022)

Sin embargo, para el caso Colombia los resultados del presente estudio indican que se requieren de forma prioritaria soluciones IoT que permitan: Asegurar cultivos regulares y a tiempo a pesar de cambios climáticos, degradación del suelo, Uso eficiente de los recursos, Monitoreo y administración en tiempo real, Monitoreo animal, Control de riego, Fácil recolección y almacenamiento de los alimentos, Conectividad en zonas alejadas, Fuentes de energía constantes y sustentables (Rodríguez, et.al, 2022).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Al realizar la presente revisión del estado del arte del IoT en el agro, se plantea no solo el estado actual de la tecnología, las aplicaciones encontradas en países desarrollados, y las problemáticas de Colombia, sino que adicionalmente se desea proyectar las perspectivas futuras. Es así como a través de bases de datos como WebOfScience, Scopus, entre otras es posible buscar dentro de la literatura palabras claves relacionadas con la agricultura (Rodríguez, et.al, 2022). Esto permite generar un diagrama de tendencias en el tiempo como el presentado en la figura 8.

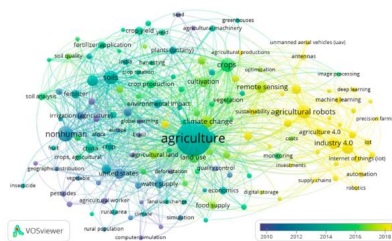


Figura 8. Evolución de la agricultura y tendencias de investigación (Fuente: Rodríguez, et.al, 2022)

De allí se resalta que entre 2010 y 2012 las palabras tendencia de la época incluían: aplicación de fertilizante, pesticidas, insecticidas, simulación por computador, uso de tierra, posteriormente entre 2014 y 2016, se estudiaba sobre maquinaria agrícola, control de calidad, economía, semilla, invernadero. Más recientemente entre 2016 y 2018 se estudia en relación con la agricultura sobre sensores remotos, UAV, internet de las cosas IoT, automatización, robótica, agricultura de precisión, aprendizaje de máquina, aprendizaje profundo y redes neuronales, procesamiento de imágenes, entre otras.

CONCLUSIONES

En este punto y con base en la información recolectada en el presente estudio y revisión de la literatura científica, se puede concluir que estamos en la transición a una nueva revolución, la industria 5.0, en la cual la Inteligencia Artificial toma un papel crucial en el análisis de toda la información recolectada a través de IoT, en donde la capa de aplicación donde el usuario (agricultor) tomaba decisiones, se verá asesorado en algunas decisiones por una máquina, para garantizar con mayor eficiencia las condiciones óptimas del cultivo en cuestión. Para Colombia existe aún una brecha tecnológica por resolver antes de lograr el desarrollo de otros países, sin embargo, todos estos desafíos se presentan como oportunidades para los desarrolladores e investigadores del país.

REFERENCIAS

1. (Dayioglu, 2021) Dayioglu, A.M.; Turker, U. Digital Transformation for Sustainable Future-Agriculture 4.0: A review. J. Agric. Sci. 2021, 27, 373-399.
2. (index mundo 2022) <https://www.indexmundi.com/es/datos/indicador/es/NV.AGR.TOTL.CD/rankings>
3. (Kamata Fatima, BBC, 2019) Kamata Fatima, Cómo Japón está revolucionando la agricultura sin tierra ni trabajadores, BBC Brasil, Consulta realizada el 6 de noviembre de 2022, disponible en:

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-49784511#:text=La%20topograf%C3%ADa%20limita%20en%20gran,se%20dedica%20a%20cultivar%20arroz>

4. (Krzysztof Wójcicki 2022), Wójcicki, Krzysztof & Biegańska, Marta & Paliwoda, Beata & Górna, Justyna. (2022). Internet of Things in Industry: Research Profiling, Application, Challenges and Opportunities—A Review. *Energies*. 15. 10.3390/en15051806.
5. (Rehman 2022) Amjad Rehman, Tanzila Saba, Muhammad Kashif, Suliman Mohamed Fati, Saeed Ali Bahaj and Huma Chaudhry; A Revisit of Internet of Things Technologies for Monitoring and Control Strategies in Smart Agriculture; *Agronomy* 2022
6. (Hoyos, Sensors 2022) Arrubla-Hoyos, W.; Ojeda-Beltrán, A.; Solano-Barliza, A.; Rambauth-Ibarra, G.; Barrios-Ulloa, A.; Cama-Pinto, D.; Arabal-Campos, F.M.; Martínez-Lao, J.A.; Cama-Pinto, A.; Manzano-Agugliaro, F. Precision Agriculture and Sensor Systems Applications in Colombia through 5G Networks. *Sensors* 2022, 22, 7295. <https://doi.org/10.3390/s22197295>
7. (Riaño 2022) Efrén Romero-Riaño, Claudia Galeano-Barrera, Cesar D. Guerrero, Mauricio Martínez-Toro, Dewar Rico-Bautista, IoT applied to irrigation systems in agriculture: A usability analysis, *Revista Colombiana de Computación* Vol. 23, No. 1. January - June 2022, pp. 44-52. e-ISSN: 2539-2115, <https://doi.org/10.29375/25392115.4483>
8. (Toledo 2022) Toledo, Carlos & Villegas, Angela & Muñoz, Luz. (2022). Model based on the principles of smart agriculture to mitigate the effects of frost and improve agricultural production in the Cundiboyacense plateau. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*. 15. 20220006. 10.2478/ijsis-2022-0006.
9. (LIU, 2022) Lei LIU, Arunodaya Raj; Mishra, "Enabling technologies challenges of green internet of things (iot) towards sustainable development in the era of industry 4.0", *Technological and Economic Development of Economy*, ISSN: 2029-4913 / eISSN: 2029-4921
10. (Kuang, 2022) Yen-Kuang Chen, Challenges and Opportunities of Internet of Things, 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference, 2022
11. (Kong 2022) Linghe kong, Jinlin Tan, "Edge-Computing-Driven Internet of Things: A Survey" Association for Computing Machinery. 0360-0300/2022/8-ART \$15.00 <https://doi.org/10.1145/3555308>
12. (Sinha 2022) Bam Bahadur Sinha Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey, *Future Generation Computer Systems* 126 (2022) 169–184
13. (Rodriguez, et.al., 2022) José Ignacio Rodríguez Molano, Yeimy Andrea Montoya Alvarez, Leonardo Emiro Contreras Bravo, Colombian agriculture: approaching agriculture 4.0, *Revista Ingenieria Solidaria*, vol. 18, no. 2, 2022. doi: <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2022.02.04>

Estrategias para la transformación de los residuos del plátano generando valor agregado

Danilo Bonilla Trujillo⁽¹⁾ Carlos Guillermo Mesa Mejía ⁽²⁾ Paola Andrea Tenorio Sánchez⁽³⁾ Francisco José Montealegre Torres ⁽⁴⁾ Yeimy Marcela Avilés Bedoya⁽⁵⁾ Eliana Paola Rubio Portela⁽⁶⁾

1. Médico Veterinario Zootecnista, Universidad Nacional Abierta y A Distancia. Docente Investigador. Grupo de investigación INYUMACIZO, Ibagué, Colombia.
danilo.bonilla@unad.edu.co
2. Ingeniero Sanitario y Ambiental, Universidad Nacional Abierta y A Distancia. Docente Investigador. Grupo de investigación INYUMACIZO, Ibagué, Colombia.
carlos.mesa@unad.edu.co
3. Ingeniera ambiental, Universidad Nacional Abierta y A Distancia. Docente Investigador. Grupo de investigación INYUMACIZO, Ibagué, Colombia.
paola.tenorio@unad.edu.co
4. Ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Abierta y A Distancia. Docente Investigador. Grupo de investigación INYUMACIZO, Ibagué, Colombia.
francisco.montealegre@unad.edu.co
5. Agrónoma, Universidad Nacional Abierta y A Distancia. Contratista. Grupo de investigación INYUMACIZO, Ibagué, Colombia.
yeimiavilezb@hotmail.com
6. Ingeniera Ambiental, Universidad Nacional Abierta y A Distancia. Contratista. Grupo de investigación INYUMACIZO, Ibagué, Colombia.
eli_rubio94@hotmail.com

RESUMEN

En la actualidad el desarrollo de la sociedad y el consumo generado por la misma ha llevado a un incremento en la utilización de plásticos de un solo uso. En respuesta a ello, se están generando estrategias y alternativas que buscan mitigar éste efecto contaminante y adicionalmente dar valor agregado a subproductos de cosecha de muchos cultivos. En el caso del Departamento del Tolima, existen algunos municipios con una importante producción de Plátano (*Musa paradisiaca*) que en su gran mayoría es aprovechado solo en un 20-25% del volumen total de la planta - representado en el racimo y las hojas - y generando residuos orgánicos que tienen un impacto ambiental. Se espera llenar un vacío del conocimiento acerca de las oportunidades de generación de valor agregado a partir del procesamiento agroindustrial de los residuos de plátano logrando que las comunidades y productores logren transformar estos residuos en contenedores de alimentos.

Palabras Claves:

Biodegradable, contenedor, plátano, residuos, transformación.

ABSTRACT

Currently, the development of society and the consumption generated by it, has led to an increase in the use of single-use plastics, in response to this, many strategies and alternatives are being generated that seek to mitigate this polluting effect and additionally give added value to harvest by-products of many crops. In the case of the Department of Tolima, there are some municipalities with an important production of Plantain (*Musa paradisiaca*) that in its great majority is used only 20-25% of the total weight of the plant - represented in the fruit bunch and the leaves) and generating organic residues that can have an environmental impact. It is expected to fill a gap in knowledge about the opportunities for generating added value from the agroindustrial processing of plantain residues so that communities and producers can transform these residues into food containers.

Keywords: Banana, waste, processing, container, biodegradable.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación ambiental por el aumento en la generación de residuos plásticos derivados del petróleo ha dado lugar a que muchos países tengan una preocupación y logren explorar

nuevas alternativas. Existen pocos desarrollos tecnológicos donde se permita generar un valor agregado a partir del aprovechamiento de los residuos de cosechas y la problemática del plástico de un solo uso ha venido creciendo, generando

impactos ambientales importantes en el ecosistema.

A nivel mundial se ha elevado una alerta después de conocer todos los efectos negativos provocados por los residuos de plásticos. Los actores que hacemos parte de la sociedad civil estamos empeñados en buscar estrategias para minimizar el uso de plásticos y evitar la disposición inadecuada de los mismos, especialmente en lo que se relaciona con las fuentes hídricas (quebradas, ríos, lagos, playas, desiertos, las áreas protegidas y los océanos). Los gobiernos no son ajenos a esta alerta. En el año 2021, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible lanza el "Plan de Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de un solo uso" con el objetivo de "Implementar la gestión sostenible del plástico, a partir de instrumentos y acciones en prevención, reducción, reutilización, aprovechamiento, consumo responsable, generación de nuevas oportunidades de negocio, encadenamientos, empleos y desarrollos tecnológicos, con el fin de proteger los recursos naturales y fomentar la competitividad".

Las nuevas generaciones, con mentalidades emprendedoras, sostenibles y amigables con el medio ambiente, se han encargado de dar pasos lentos pero agigantados en la propuesta de impulsar la creación de nuevas ideas que contemplan como objetivo principal reducir al máximo el uso de plástico. ¿Pero cómo lo están haciendo? Mediante la investigación han encontrado en los residuos de cosechas - inicialmente - una problemática ambiental al no tener planes de manejo ambiental que direccionen la disposición final de estos residuos y encuentra que estos residuos - paso seguido - son fuentes de materias primas para elaboración de productos diversos.

Sumando los aspectos mencionados con anterioridad y haciendo énfasis en la dimensión del problema de la utilización de plásticos de un solo uso, se identifica la oportunidad de utilizar residuos de la cosecha del plátano para producir contenedores de alimentos. Así mismo, se evidenció que en el cultivo de plátano solamente se utiliza entre el 20 y 25% del volumen de la planta, quedando entre el 75 y 80% de la planta como residuo de cosecha. Detallando la composición de los residuos, se encuentra que estos residuos son fuentes potenciales de celulosa y almidón y que pueden ser aprovechados como materia prima para la producción de materiales biodegradables.

Es así como nace la idea de proponer y elaborar un proyecto para la transformación de los residuos del plátano generando valor agregado de contenedores de alimentos, con cuya ejecutoria se logra dar un manejo de residuos de cosecha, elaborar una evaluación del impacto ambiental que permita identificar elementos significativos y diseñar un plan de manejo ambiental que busque

contemplar acciones de prevención, mitigación, corrección y compensación de los impactos ambientales. Igualmente reconocer el trabajo social al presentar una alternativa de empleabilidad y ocupación al grupo de mujeres pertenecientes a la cooperativa. Donde se tiene visionado lanzar al mercado un producto terminado, con calidad y amigable con el medio ambiente.

ESTADO DEL ARTE

Una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial se da por la acumulación progresiva de residuos plásticos procedentes del petróleo, éstos, ocasionan afectaciones al entorno representadas en impactos ambientales significativos a los recursos naturales en especial fauna y flora. En relación con este hecho, Rupérez (2019), señala:

Que, de la totalidad de plástico producido hasta hoy desde el inicio de producción masiva, aproximadamente 9.000 millones de toneladas, solo se ha reciclado un 9 %; pero lo que ha hecho saltar todas las alarmas, quizás porque es la parte más visible de este iceberg, es que por distintos caminos cada año llegan a los mares más de 8 millones de toneladas de piezas de plástico que canalizadas por las corrientes marinas han formado concentraciones o islas de plástico de dimensiones enormes.

Con este tipo de antecedentes algunos países industrializados vienen en la búsqueda continua de nuevas alternativas que originen nuevos materiales plásticos alejados de los combustibles fósiles, son ellos procedentes de fuentes renovables con menor impacto para la salud de las personas y el medio ambiente, del mismo modo éste tipo de materiales renovables pueden ser aprovechados desde los sectores agrícolas con residuos de carácter orgánicos al igual que la reducción en el consumo de plásticos de un solo uso.

Ante esta problemática y en la búsqueda de nuevas tecnologías, se hace necesario realizar investigaciones asociadas a permitir que desde el sector agrícola se pueda generar productos con un valor agregado que permita el aprovechamiento de diversas cosechas a nivel nacional. La presente investigación se realiza en torno al manejo adecuado de los residuos del plátano en el departamento del Tolima y pese a que existen algunas investigaciones se considera una oportunidad de mejora a fin de generar un valor agregado a partir del procesamiento agroindustrial de los residuos de plátano y en ese orden de ideas producir diversos materiales reemplazantes del plástico.

El plátano es una fruta tropical que posee diversas propiedades y con beneficios para la salud. En Colombia se cultiva en gran medida y hace parte de la economía familiar y la seguridad alimentaria de los colombianos.

Periódicos como El campesino.co señala en su página web que el cultivo de plátano en Colombia representa cerca del 50% del área sembrada en el país con cerca de 500 mil hectáreas cultivadas, y aunque es un fruto que se da en todo el territorio colombiano, su producción es principalmente para el consumo interno. Según datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para 2017 el principal productor fue el departamento de Antioquia con un total de 61.000 hectáreas sembradas, seguido por Arauca, Quindío, Córdoba y Valle del Cauca.

En Colombia, el plátano se cultiva en gran parte de su territorio, su mayor producción se da en zonas con temperatura media de 26 - 27°C y de 1.000 a 2.000 metros de altitud, preferiblemente llanuras húmedas próximas al mar y resguardadas de los vientos (Gobernación del Tolima, 2017); Ahora bien, el uso intensivo de fertilizantes, agroquímicos, la red densa de drenajes, sistemas de riego, eutroficación y la acumulación de desechos son algunas de las causas por las cuales la calidad de las propiedades del plátano se ha visto deteriorada. Este tipo de limitaciones que se dan en la poscosecha de los cultivos del plátano impiden una adecuada infraestructura tecnológica para la transformación y generación de un valor agregado del plátano.

Haro (2017), en la tesis: "Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos de plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables", indica que se pueden aprovechar los residuos vegetales como raquis, pseudotallo y cáscara para la producción de plástico a través de la obtención de celulosa y almidón propias de la planta

De acuerdo con lo anterior, en Colombia, a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se lanzó el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso. "El plan se incorpora a los retos que tenemos en la reducción en un 51% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero al 2030 y ser un país carbono neutral a 2050; además, refuerza nuestra estrategia de economía circular con acciones que van a mostrar esas buenas prácticas. Estamos dando pasos importantes para enfrentar los efectos del cambio climático" (Minambiente, 2021a).

Se han hecho diversas investigaciones para el uso de residuos orgánicos generados por los cultivos de plátano (vástago y plátano descartado) como co-sustrato para la co-digestión anaerobia con excremento porcino para la producción de biogás (Quijano y Ramírez, 2020); para la fabricación de papel en mezcla con otros residuos vegetales (Moreno et al., 2016) o en la elaboración de papel artesanal con otros aditivos químicos (Amu, 2012) y el procesamiento y venta de harina de vástago de plátano, por sus propiedades nutricionales (Ortiz et al., 2014).

En los municipios de Casabianca y Herveo en el departamento del Tolima, la producción de plátano durante el año 2020 fue de 14.400 y 3.703 toneladas respectivamente (Agronet, 2020), sin embargo, la biomasa que no es aprovechada en el proceso corresponde al 80% (Padam, et al 2014) como se citó en Sánchez, et al (2020), por tanto, se estima que cerca de 14.500 toneladas de residuos agroindustriales derivados de la producción agrícola del plátano presentan baja transformación como valor agregado en estos dos municipios

En este contexto, el proyecto pretende generar un valor agregado a los residuos de la producción del plátano a través de procesos de transformación agroindustrial que permita a los productores de los municipios de Casabianca y Herveo Tolima generar un impacto ambiental y socioeconómico positivo en su entorno, en especial a las mujeres cabeza de familia y jóvenes.

CONCLUSIONES

Este proyecto logrará analizar el potencial de aprovechamiento en los residuos generados por el cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*), a través de la implementación de estrategias que busquen la transformación y fabricación de productos.

Evaluar los impactos ambientales asociados al cultivo de plátano es una acción que requiere un análisis profundo donde se comprenda el operar de los productores y se busque reducir los impactos ambientales significativos durante el proceso.

El fortalecimiento comunitario hace parte de las experiencias exitosas del proyecto, logrando avanzar en tejido social en alianza con actores que buscan proteger las culturas, su diversidad y promoviendo acciones positivas para sus territorios.

REFERENCIAS

1. Amu, M. P. (2012). Elaboración de papel artesanal a partir de fibras de vástago de Plátano. I+ T+ C-Investigación, Tecnología y Ciencia, 1(6), 37-40.
2. El campesino. (5 de junio de 2019). Este es el panorama del cultivo del plátano en Colombia. elcampesino.co Sitio web: <https://elcampesino.co/este-es-el-panorama-del-cultivo-de-platano-en-colombia/>
3. Gobernación del Tolima. (2017). Plan departamental de Extensión Agropecuario PDEA. Tolima Competitiva, productora e innovadora. <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/PDEA%27s%20Aprobados/PDEA%20Tolima.pdf>

1. Haro, A., Borja, A., y Triviño, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del banano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. Dominio de las Ciencias, 506-525. (En línea). Formato PDF: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325873>
2. Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2021. Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de Un Solo Uso. En <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/plan-nacional-para-la-gestion-sostenible-de-plasticos-un-solo-uso-minambiente.pdf>
3. Moreno, F. A., Quintana, M. R., Rodríguez, L. F., & Oyola, M. V. (2016). Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel. INVENTUM, 11(20), 71-82. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.11.20.2016.71-82>
4. Ortiz, I. P., Florez, S. Y., & Castellanos, V. J. (2014). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a producir y comercializar harina del raquis o vástago del plátano hartón dominico en el departamento del Quindío. <https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/2571>
5. Padam, B. S., Tin, H. S., Chye, F. Y., & Abdullah, M. I. (2014). Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. Journal of Food Science and Technology. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0861-2>
6. Quijano Sanchez, D. M., & Ramirez Serrano, L. A. (2020). Determinación de la factibilidad de los residuos orgánicos producidos por los cultivos de plátano en el uso como co-sustrato con excretas porcinas para la generación de biogás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/27908>
7. Rupérez, J. (2019). El futuro del plástico. Observatorio Salud y Medio Ambiente. <https://ecodes.org/hacemos/cultura-para-la-sostenibilidad/salud-y-medioambiente/observatorio-de-salud-y-medioambiente/contaminacion-por-plasticos-uno-de-los-mayores-desafios-ambientales-del-siglo-xxi>

Uso de métodos de conservación de alimentos para un consumo saludable

Yefri Jhoan Machado Pinzon ⁽¹⁾

Ingeniero Agroindustrial, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Experto Tecnoparque. SENAGROTIC, Espinal, Colombia.

yjmachado@misena.edu.co

RESUMEN

El consumo excesivo de alimentos ultra procesados se asocia al aumento de afectaciones a la salud del consumidor, el deseo de garantizar la seguridad alimentaria y proveer anaqueles con productos libres de amenazas microbiológicas y con una vida útil prolongada, hace que sean tratados con conservantes químicos, los cuales se han catalogado como precursores de cáncer y enfermedades degenerativas. Actualmente se busca alternativas saludables a través de tratamientos no invasivos y conservantes naturales que permitan sustituir agentes químicos, garantizando la oferta de productos seguros y saludables, para tener un futuro con bajos índices de afectación en salud pública. Por tanto, se describe un panorama actual y un prominente desarrollo de productos que permitan ofrecer alimentos inocuos para la sociedad.

Palabras Claves:

Alimentos, cáncer, conservación, conservantes, nitritos, saludable.

ABSTRACT

Excessive consumption of ultra-processed foods is associated with increased health problems for consumers, the desire to ensure food safety and provide shelves with products free from microbiological threats and with a long shelf life, causes them to be treated with chemical preservatives, which have been found to be precursors to cancer and degenerative diseases. Currently, healthy alternatives are being sought through non-invasive treatments and natural preservatives to replace chemical agents, guaranteeing the supply of safe and healthy products, in order to have a future with low rates of public health effects. Therefore, it describes a current panorama and a prominent development of products that allow to offer safe food for society.

Keywords: Food, cáncer, conservation, preservatives, nitrites, healthy.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos son el resultado de las producciones agrícolas y pecuarias principalmente, en donde, el región primario de las economías tiene como pilar fundamental producir estos bienes de consumo para salvaguardar la seguridad alimentaria del ser humano, siendo fuente nutricional y aporte de energía para las actividades funcionales y operativas del hombre.

La población desde la antigüedad ha procurado tener disponibilidad de los alimentos conseguidos, esto se ha realizado a través de la conservación, los métodos han venido cambiando según la disponibilidad tecnológica a disposición durante el tiempo. Las técnicas continúan siendo similares, pero a su vez, tan modernas para ser enmarcadas en lo que se conoce como biotecnología, realizando acciones como la manipulación

genética de animales y vegetales hasta el uso de microorganismos para la mejoría en la producción alimentaria (Callejón, 2022).

Uno de los métodos de conservación más empleados se basa en la aplicación de aditivos químicos, los cuales son garantía de estabilidad microbiológica y organoléptica en los alimentos. Las medidas se encaminan a prolongar la vida útil y seguridad microbiológica que permita evitar brotes que afecten a la población (Ortega et al, 2013).

El uso de conservantes químicos se ha vuelto tan necesario que actualmente está opacando la problemática toxicológica que estos generan en el ser humano al ser ingeridos (Jakszyn, 2009), por lo tanto, a continuación se hace una referencia de

los métodos de conservación que se emplean actualmente, las consecuencias del empleo de químicos en alimentos y los métodos naturales que se pueden usar para garantizar la inocuidad en un alimento.

ESTADO DEL ARTE

Conservación de alimentos

Las técnicas de conservación de alimentos ha crecido a partir del conocimiento que se ha forjado a través de las necesidades del hombre desde la antigüedad, en donde no estaba previsto los adelantos tecnológicos que habitualmente empleamos, haciendo uso de equipos que controlan condiciones ambientales y manipulan la vida útil de los productos alimentarios, logrando la disponibilidad a largo plazo o de manera inmediata, debido al control ejercido sobre los factores que mantienen estable o cambiante determinado alimento. Los cambios se han generado según la demanda alimentaria, inicialmente la necesidad recaía de manera individual, posteriormente aumentó al núcleo familiar y actualmente se habla de seguridad alimentaria a nivel mundial, en donde, se debe mantener la producción y disponibilidad de alimentos para los millones de habitantes que se necesita satisfacer esta necesidad, la cual se ha agravado por la reciente pandemia, y que ha provocado un desbandado consumismo con el ánimo de aprovisionarse para enfrentar una posible escasez.

Los procesos de conservación se encuentran divididos en dos grupos, los cuales se distinguen por los tratamientos empleados y la alteración que generan en el alimento, los cuales, generan cambios en la condición física o química del alimento, por tanto, son distinguidos de esta manera para identificar algunas de las técnicas empleadas para dicho objetivo.

Métodos de conservación físicos

Estos métodos tienen efecto en el alimento, al momento que una condición física, externa y ambiental afecta la normalidad del producto, variando principalmente las condiciones fisiológicas de los microorganismos presentes (Gramajo, 2019) y otros factores como enzimas y envejecimiento por oxidación sin realizar cambios en la composición química del producto (Gálvez et al., 2008), para su desarrollo necesita equipos y métodos tecnológicos para su correcta aplicación.

Uno de los métodos más empleado en este grupo, es la aplicación de calor, debido a que afecta directamente la carga microbiana y enzimas presentes en el alimento, de acuerdo con su intensidad en temperatura y exposición generan mayor seguridad. Esta forma de dar seguridad al alimento se aplica principalmente durante la transformación y antes de ser incluidos en un envase. El escaldado es el método de menor intensidad, en donde se aplica calor por medio de

agua o vapor a temperaturas entre 70 y 100°C con una duración que oscila entre 30 segundos y 3 minutos. La pasteurización es un tratamiento más complejo y varía en diversos métodos, en donde se puede aplicar desde temperaturas que van entre 62 a 68 °C y una exposición de 30 minutos, llegando a la denominada HTST (High Temperature-Short Time) logrando temperatura de 138 °C por un reducido tiempo de 2 segundos (Gramajo, 2019). La esterilización es la aplicación de calor por medio de vapor húmedo enfrentado a altas presiones, en donde comúnmente se alcanza una temperatura de 121 °C a 20 PSI durante 20 minutos, siendo clave el uso de un equipo autoclave (Moreta, 2022). Los procesos de este grupo los complementan la evaporación y la deshidratación quienes cumplen un papel en la disminución de la actividad de agua, por consiguiente todos los medios citados tienen como objetivo principal destruir los microorganismos alterantes e inactivar las enzimas propias de los alimentos (Gramajo, 2019).

La implementación del frío se realiza para aumentar la vida útil de los alimentos inhibiendo microorganismos alterantes de manera parcial o total, en donde principalmente se encuentra la refrigeración, siendo la técnica dominante de manera industrial y doméstica, manteniendo los productos frescos por medio de un ambiente que brinda temperaturas entre los 2 y 8 °C. La congelación es el método empleado para tener una duración a largo plazo, debido a que somete a temperaturas de -18 °C para evitar totalmente los procesos fisiológicos de las bacterias presentes, generando total seguridad al no romper la cadena de frío (Licata, 2013).

También encontramos productos sometidos a radiación ionizante, en donde se afecta los microorganismos y células a nivel de la pared celular generando cambios físicos que permiten la conservación previniendo el desarrollo de los organismos presentes y la germinación de las semillas en los vegetales (Santamaria, 2010).

Métodos de conservación químicos

Esta clase de método de conservación es invasiva, puesto que agentes externos llamados aditivos son introducidos en el alimento haciendo parte de la constitución, para generar funciones específicas que contribuyen al sostenimiento de la calidad organoléptica y microbiológica del alimento, produciendo afectación sobre el mismo al cambiar su composición química, a través de la alteración de características, principalmente el pH y la actividad de agua AW.

La salazón, es un método que consiste en la aplicación de sal y especias que disminuye la disponibilidad de agua que permite sobrevivir a los microorganismos, inhibiendo su desarrollo al penetrar en los tejidos del alimento, fijando el agua el aditivo y a su vez aumentando el pH hacia una condición alcalina que no es posible soportar para los agentes microbiológicos

contaminantes (Gálvez et al., 2008). El azucarado se basa en el mismo principio, aumentando la concentración de azúcares que permitan subir los grados brix para ligar el agua e impedir el libre desarrollo de las bacterias, las cuales no soportan la escasez de humedad y por lisis presentan rompimiento de su membrana (Cuenca, 2003).

Los conservantes químicos son empleados actualmente en la mayoría de los productos ultra procesados, ellos han ofrecido a la industria garantía de estabilidad microbiológica y organoléptica en los alimentos, evitando enfermedades de transmisión alimentaria y salvaguardando el buen nombre de la manufactura que los suministra. Es común encontrar en la etiqueta de derivados lácteos y similares la presencia de sorbato de potasio y benzoato de sodio, además de propionato de calcio particularmente en productos panificados. Para el caso de los productos cárnicos se hace uso del nitrito de sodio. Los anteriores actúan evitando el crecimiento de los agentes patógenos presentes, mas no garantizan la eliminación de estos, en algunos casos para mejorar su efecto se realiza la combinación de elementos para ampliar el espectro de cobertura en la preservación de los alimentos en general (Blanchard, 2000).

Efectos nocivos de los conservantes

Los consumidores han aumentado el interés por la ingesta de alimentos frescos, porque en los del mercado global se hallan inmersos los conservantes químicos, aumentando la demanda de productos naturales que supriman este nocivo método de conservación (Callejón, 2022). Hoy en día, se encuentra entredicho el uso de los productos sintéticos que tienen dicha función, incluso se puede mencionar de igual manera a los antioxidantes, colorantes, saborizantes entre otros, aunque el uso de ellos se encuentra justificada por los beneficios obtenidos a corto plazo, no se puede negar que generan un cuestionamiento frente al problema toxicológico a largo plazo que produce en los alimentos consumidos por el ser humano (Jakszyn, 2009).

En la industria cárnica, la principal preocupación es la presencia del *Clostridium botulinum* agente patógeno causante del botulismo el cual segrega una toxina mas potente que el cianuro en los seres humanos, argumentando la necesidad de usar componentes como nitritos y nitratos para obtener un control estable en la conservación del alimento pero al tiempo sin medir la afectación en la salud del consumidor (Ayala et al., 2016).

La Organización Mundial de la Salud en el año 2014 declaró los embutidos cárnicos como cancerígenos, basado en los estudios realizados de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (Ayala et al., 2016), puesto que los residuos de nitritos originan compuestos llamados nitrosaminas que al acumularse en el cuerpo pueden alterar el ADN de las células, desencadenando envejecimiento y muerte celular

(Ayala et al., 2016), además de cáncer gástrico y colorrectal (Zamora, 2007).

Conservación saludable en alimentos

Se hace necesario aumentar los métodos de conservación que no alteren químicamente los alimentos, con el fin de reducir las trazas de agentes químicos sintéticos en el consumidor, entendiendo que los tratamientos físicos generan altos costos, además de la tecnología que se necesita para tal fin, sumando un alto valor en empaques, pero se justifica al no afectar la salud del ser humano. Actualmente existe gran demanda de servicios médicos especializados, por el aumento de enfermedades producidas por trazas de preservantes y agroquímicos que contaminan al cuerpo humano. Entre las alternativas se presenta el uso de ozono, el cual tiene una rápida descomposición y baja residualidad, inactivando microorganismos en el agua, vegetales, carnes frescas, huevos y productos secos (González et al., 2022). Otro método alternativo es la conservación por medio de aplicación de altas presiones, por tanto puede inactivar microorganismos patógenos, manteniendo las características organolépticas y nutricionales del alimento (Callejón, 2022).

El empleo de conservantes naturales es una salida a la presencia de tóxicos en los alimentos en la que nos encontramos sumergidos, en las plantas tenemos respuesta a muchas necesidades. El principal agente de descomposición en los productos puede ser atacado por la acción antimicrobiana de los compuestos fenólicos que tienen las hierbas a través de sus extractos y aceites esenciales (Nychas, 2003). Los antimicrobianos de origen natural van surgiendo por la demanda de alimentos que no generen efectos tóxicos a largo plazo, por tal razón, la FDA (administración de alimentos y medicamentos de estados unidos) considera a las especias aromatizantes y saborizantes como aditivos GRAS (Generalmente reconocida como segura), encontrando entre ellas ajo, albahaca, caléndula, canela, cebolla, hinojo, jengibre, mostaza, nuez moscada, orégano, pimienta (Padilla, 2003).

Las formas de aprovechamiento de los conservantes naturales se presentan en ácidos orgánicos, esteres, especias, hierbas, oleorresinas, aceites esenciales, compuestos fenólicos, extractos, polisacáridos, aldehídos, y sus mezclas (Sauceda, 2011). Los residuos agroindustriales son una fuente potencial de biocompuestos con reúso en el sector alimentario, en la transformación del mangostino se demostró que un refresco de fruta adicionado con extracto de la cascara residual, obtuvo estabilidad microbiológica, pues el aditivo natural funcionó como agente conservante (Machado Et al., 2022).

CONCLUSIONES

El cambio de mentalidad de los consumidores de productos alimenticios los ha vuelto cada vez más críticos frente a la ingesta de alimentos procesados, la conciencia y la preocupación por la salud aumenta el mercado de productos libres de agentes tóxicos. Ya se está presentando una masificación de consumo de productos frescos y una mayor lectura de rótulos informativos que genera una crítica frente a los aditivos empleados en la conservación, por lo tanto, se aproxima un mercado que pretende mejorar la vida útil de sus productos con metodologías no invasivas por químicos, esperando aumentar el uso de conservantes naturales, técnicas físicas de conservación y la combinación de ellas, teniendo como principal uso las radiaciones ionizantes, los métodos de calor y frío para tal fin. El consumo de alimentos seguros permite a futuro una reducción en el gasto de salud pública, actualmente la demanda de servicios médicos es alta, debido a las afectaciones de la población por cáncer, problemas renales, hipertensión entre otros. El mercado se encuentra dispuesto a generar alimentos cada vez mas saludables, lo cual debe desencadenar en la unión entre la producción agropecuaria orgánica y la transformación con aditivos naturales.

REFERENCIAS

1. Ayala-Armijos, H., González, C. G., Sánchez-Prado, R., Jirón-Velez, Y., & Espinoza-Ramón, W. (2016). Efecto de la adición de ácido ascórbico en la degradación de nitritos y nitritos en mortadela. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 85-92.
2. Blanchard, J. (2000). Los antimicrobianos naturales refuerzan la seguridad en los alimentos. línea Disponible en: <http://www.directoalpaladar.com/2006/10/28-los-antimicrobianos-naturales-refuerzan-la-seguridad-en-los-alimentos>
3. Cuenca, C. E. N., & Restrepo, P. (2003). Efecto del almacenamiento de uva caimarona (*Pourouma cecropiifolia*) a diferentes temperaturas sobre los sólidos solubles y la actividad de catalasa. *Revista Colombiana de Química*, 32(2), 81-92.
4. Gálvez, M. C., Lorenzo, T. D., & Martín, P. M. (2008). Métodos de conservación de alimentos. Ángel E. Caballero Torres, 249.
5. González Salas, R. Vidal del Río, M.M., & Monsalve Guamán, A.A., (2022). El ozono y su empleo en la industria para el procesamiento y conservación de alimentos. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(53), 127-135.
6. Gramajo, M. G. P. (2019). Aplicación de los métodos de conservación de alimentos. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 1(15).
7. Jakszyn, P. (2009). Nitrosaminas y riesgo de cáncer gástrico. *Universitat Pompeu Fabra*.
8. Licata, M. (2013). Alimentos congelados: ¿Cómo elegir y conservar mejor? *Zona Diet*.

<https://www.zonadiet.com/comida/alimento-congelacion.php>

9. Machado, Y. J., Murillo-Arango, W., & Hennessey-Ramos, L. (2022). Evaluation of peel extract of mangosteen as a dye natural and antioxidant and its use as an additive in a fruit beverage. *IRAQI Journal Of Agricultural Sciences*, 53(4), 857-866.
10. Martínez Callejón, A. (2022). Conservación De Alimentos Mediante Altas Presiones Hidrostáticas.
11. Moreta Tasinchano, K. J. (2022). *Diseño y simulación de un autoclave para la esterilización de alimentos enlatados* (Bachelor's thesis, Quevedo-Ecuador).
12. Nychas, G. J. E., Skandamis, P. N., & Tassou, C. C. (2003). Antimicrobials from herbs and spices. *Natural antimicrobials for the minimal processing of foods*, 176-200.
13. Ortega, G. M., Rubio, E. C., & López, J. L. G. (2013). *Biotecnología y alimentación*. Editorial UNED.
14. Padilla, L. D. C. H. (2003). Actividad inhibitoria y letal de los extractos de ajo para *E. coli* y *L. innocua*.
15. Santamaria, M. R. (2010). *Industria alimentaria. Tecnologías emergentes*. Univ. Politèc. de Catalunya.
16. Saucedo, E. N. R. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 7(1), 153-170.
17. Zamora, J. D. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista chilena de nutrición*, 34(1), 17-26.

Uso de la realidad virtual en el desarrollo de una agricultura sostenible

Erika Alejandra Beltrán Cuesta

Ingeniera de Sistemas, Servicio Nacional de Aprendizaje - Tecnoparque Nodo La Granja,
Experta Línea de Tecnologías Virtuales, SENAGROTIC, Espinal - Tolima, Colombia.

Erika.beltran@misena.edu.co

RESUMEN

El sector agrícola es uno de los más importantes en la economía de los países, dado que en algunos representa hasta el 25% de su PIB, y cerca de la tercera parte de la población global basa de allí su sustento. Por tal motivo, es importante gestionarse de forma adecuada todos sus procesos con el fin de que sea sostenible, y en este sentido, la tecnología desempeña un papel fundamental dado que su adecuada implementación y uso, permitirá hacerlo más eficiente. El presente documento tiene como objetivo recopilar los conocimientos existentes relacionados con la sinergia entre agricultura y tecnología, a partir de una revisión sistemática de literatura en bases de datos científicas. La estructura del documento abarca los conceptos de tecnología y agricultura, agricultura digital, y, posteriormente se centra en el uso de la realidad virtual en el sector, mediante proyectos de recorrido virtual desarrollados.

Palabras Claves:

Agricultura, agricultura sostenible, agricultura 4.0, realidad virtual, recorrido virtual

ABSTRACT

The agricultural sector is one of the most important in the economy of countries, since in some it represents up to 25% of their GDP, and about a third of the global population bases its livelihood on it. For this reason, it is important to properly manage all its processes in order to make it sustainable, and in this sense, technology plays a fundamental role since its proper implementation and use will make it more efficient. The purpose of this paper is to compile the existing knowledge related to the synergy between agriculture and technology, based on a systematic literature review in scientific databases. The structure of the paper covers the concepts of technology and agriculture, digital agriculture, and then focuses on the use of virtual reality in the sector, through virtual tour projects developed.

Keywords: Agriculture, sustainable agriculture, agriculture 4.0, virtual reality, virtual tour.

INTRODUCCIÓN

La tecnología es un componente fundamental dentro del desarrollo constante que la humanidad vivencia, en particular, desde el siglo XIX hacia la actualidad, permitiendo llevar a cabo la aplicación de las ciencias en todos los ámbitos con el fin de mejorar la calidad de vida, a partir de la creación y uso de instrumentos, recursos técnicos y procedimientos para la ejecución de tareas y procesos en el desempeño de cualquier actividad. Uno de los sectores que mayor impacto sufre gracias a la implementación de la tecnología es la agricultura, labor que desempeña el ser humano desde su misma aparición y la cual es vital para su supervivencia, dado que, permite la producción de los alimentos, y para tal fin, soporta la optimización de los procesos de producción a partir del control de los sembríos, mitigando los riesgos asociados (Carpio, 2018).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), aproximadamente

la tercera parte de la población global basa su sustento de forma directa a partir de la agricultura, y en países en vía de desarrollo, esta actividad alcanza índices de incluso un 25% del PIB (FAO, 2021). Dada la importancia del sector y lo que representa para la economía de los países, la integración de las tecnologías, y en particular, las de la información y comunicaciones TIC con la agricultura, se hace una labor imperiosa desde todas las perspectivas posibles, a partir del aprovechamiento de los flujos de datos y la transformación de estos para optimizar la toma de decisiones en pro de aumentar la productividad y la comercialización (Friz, 2019), y así mismo, conocer, desarrollar y articular todos los procesos asociados a la gestión de los cultivos que permitan llevar a cabo de forma eficiente, confiables, seguro e innovador los procesos agrícolas (Orozco & Llano, 2016).

En particular, disciplinas como la gestión de las tecnologías de la información, la biotecnología, la nanotecnología, entre otras, permiten solucionar

una de las mayores dificultades en el sector como es el acceso a la información, con fines de aprendizaje y generación de conocimiento relacionado con la gestión de procesos mencionados así como los relacionados con las condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución de los alimentos generados; la gestión de erradicación de seres perjudiciales para los cultivos o animales, la seguridad ambiental, y en general, el uso sostenible de los recursos naturales (Rosales-Soto & Arechavala-Vargas, 2020).

Agricultura 4.0

En esta dirección, se viene presentando una sinergia interesante entre la informática, las ciencias exactas, las ciencias naturales, la agrobiotecnología, entre otras (Tavera & Jaramillo, 2019), a través de la implementación y uso de plataformas tecnológicas para el incremento de la productividad, la transferencia de tecnologías y la generación de conocimiento en el sector agrícola (Tavera, 2019), lo que comúnmente se ha denominado agricultura digital, y hoy en día, agricultura 4.0; y también, el satisfacer necesidades de las generaciones actual y futuras en cuanto a productos o servicios, bajo un marco de cuidado del medio ambiente y el equilibrio entre lo social y económico (FAO, 2022), para convertirse en una agricultura sostenible.

Entre las tecnologías empleadas en este contexto se puede mencionar el uso de redes de sensores particularmente en la maquinaria, uso de naves no tripuladas, procesamiento de imágenes satelitales, uso de big data y cloud computing, tractores no tripulados, y una fuerte tendencia hacia la incorporación de inteligencia artificial en sus diferentes campos de acción (Melgar, 2018). Esta integración supone también diferentes retos para garantizar el éxito, entre las cuales se puede citar la unión entre los diferentes sistemas informáticos, la implementación de una infraestructura tecnológica en las zonas rurales, generación de profesionales para la gestión de la agricultura mediada por las nuevas tecnologías, y principalmente, la educación y el conocimiento de los agricultores para la adopción de estas tecnologías (Pivoto et al., 2018).

Específicamente, en este último reto, se han hecho importantes trabajos para que, de una forma didáctica, se vincule tanto a la población directa e indirectamente involucrada en el contexto agrícola o rural, como para aquellos que quieren adquirir algún tipo de conocimiento específico en estas áreas: el empleo de recorridos virtuales a través de realidad virtual.

Realidad virtual y agricultura sostenible

Para entrar en este contexto, es importante precisar que es la realidad virtual, los tipos existentes y sus aplicaciones en el sector agrícola.

En términos globales, esta se define como la interacción entre los seres humanos con un Entorno virtual o imaginario diseñado por computador, a partir de la inmersión de los

primeros (Michaelis & Michaelis, 2020) sustentando en el realismo, la implicación e interactividad (Sousa, Campanari & Rodríguez, 2021) en espacios preferiblemente tridimensionales donde se estimule principalmente los sentidos. Esto ofrece una amplia gama de alternativas para entrar en la mente de las personas a través de experiencias sensoriales llamativas, especialmente visuales, (Otegui, 2017), proporcionando estímulos artificiales a uno o más de sus sentidos en respuesta a su posición y sus acciones (Altomari, 2017).

Hoy en día se habla de diferentes tipos de realidad virtual, entre los cuales se pueden destacar la tecnología en sí misma que proporciona un entorno ficticio e interactivo, la semi-inmersiva o mixta, que combina elementos interactivos reales con simulados; y la aumentada, que extiende la semi-inmersiva con la facultad de ampliar y modificar el entorno real. A partir de estos tres tipos se desprenden muchos sub-tipos, en función del propósito para el cual de integran los entornos o la cantidad de personas concurrentes que se integran en la interacción con estos. Estos conceptos han sido extendidos en la actualidad a uno propuesto desde la aparición de los comics y el cual, Mark Zuckerberg, creador de la red social Facebook, ha propuesto para su conglomerado: Metaverso, definido como un nuevo ecosistema en donde se combina lo real con lo virtual, en tres dimensiones en los cuales los usuarios pueden interactuar, realizando sus actividades cotidianas de forma descentralizada (Santander, 2022).

Dentro de estos entornos que emplean realidad virtual en cualquiera de sus tipos, uno de los que ha tenido mayor acogida por parte de los usuarios son los recorridos virtuales. Estos se caracterizan por simular un lugar virtual, el cual es tomado del mundo real, compuesto por secuencias de imágenes de muy alta calidad en donde los usuarios pueden llevar a cabo una inmersión total dentro de escenas e interactuar con los objetos (Ulldemolins, 2010) que permite visualizar, desde diferentes ángulos, sitios o espacios (Nieva, Luna & Arellano, 2021). Este tipo de entornos virtuales son una herramienta bastante interesante para el aprendizaje, en especial, cuando el acceso a los entornos reales es inaccesible (Esclapés et al., 2013), existen restricciones tipo físico, económico o de salud para su visita o puede representar algún riesgo para el público a quien va dirigido la difusión del conocimiento.

Algunos recorridos virtuales

Uno de los principales objetivos de los recorridos virtuales es impulsar procesos de enseñanza y aprendizaje, y el sector agrícola puede ser uno de los más beneficiados en este sentido, dado que, desde las instituciones de educación en cualquier nivel, pretenden a través de estas tecnologías trasladar los recorridos guiados in situ a

escenarios más llamativos desde lo didáctico, que representen menos riesgos pero que sean más explicativos e interactivos, favoreciendo procesos

de sensibilización y el desarrollo de tareas de extensión a la comunidad que conforman dichas instituciones (Fontalvo, Yadeneyro & Ramirez, 2022). Al respecto, algunos trabajos desarrollados son los siguientes:

Elaboración de salidas de campo virtuales para asignaturas de Ciencias de la Tierra.

Conjunto de recorridos virtuales que hace parte del Proyecto INNOVA decencia 2017, de la Universidad Complutense de Madrid, España. El objetivo de este desarrollo es la implementación de tecnologías emergentes para la simulación de salidas de campo virtuales georreferenciadas como componente práctico en cursos relacionados con las Ciencias de la Tierra. Este proyecto fue implementado dado que permite visitar zonas de imposible acceso para las personas o con perspectivas no alcanzables. Para su desarrollo fueron empleados drones que permitieron la captura de imágenes y ArcGis como sistema de información geográfico (Heerero et al., 2018). La siguiente imagen muestra la página principal del sitio web:



Figura 1. Sitio web del proyecto del proyecto de innovación salidas de campo virtuales de geología (Fuente: <https://www.ucm.es/salidas-de-campo-virtuales/>)

Aplicación de la metodología RV3D para desarrollar el recorrido virtual del parque universitario Francisco Vivar Castro.

Implementación de un recorrido virtual del parque universitario Francisco Vivar Castro de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador, el cual cuenta con una sala de interpretación ambiental, un museo que posee aves embalsamadas y tres senderos ecológicos. Su objetivo es fomentar el turismo a partir de la presentación del parque, sus paisajes atractivos y en general, su belleza natural; y para su desarrollo se emplearon herramientas de desarrollo y edición gráfica tales como Archicad, 3D Studio Max incluyendo el motor de renderizado vRay, Adobe Photoshop, Rational reducer, entre otros. (Palacos, Quezada & Riofrio, 2010). La siguiente imagen muestra una interfaz del recorrido:



Figura 2. Interfaz de la entrada hacia el recorrido virtual del parque universitario Francisco Vivar Castro (Fuente: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/14469>)

Recorrido virtual en planta de producción de vino.

Proyecto desarrollado por la empresa INCGO con el fin de permitir la inmersión de los usuarios en las instalaciones de una planta de producción vinícola con el objetivo de fortalecer los procesos de capacitación y entrenamiento. Desarrollado con herramientas para animación 3D en idioma español (VirtualPro, 2018). La siguiente imagen presenta el escenario del recorrido virtual:



Figura 3. Escenario del recorrido virtual de una planta de producción vinícola (Fuente: <https://www.virtualpro.co/escenarios/recorrido-virtual-planta-de-produccion-de-vino>)

Recorridos virtuales para la enseñanza del tema biomas con impacto antropogénico de Colombia.

Desarrollo de un recorrido virtual para la sensibilización y generación de conciencia ambiental en los estudiantes de colegio, específicamente en el nivel medio, respecto a los problemas que enfrentan los ecosistemas,

específicamente los biomas colombianos en cuanto a efectos de la intervención humana que por lo general allí se presenta. Para la implementación del recorrido virtual se emplearon videos y actividades interactivas a través de formularios en la plataforma Google. (Garzón, 2021). La siguiente imagen muestra una imagen del recorrido virtual:



Figura 4. Fotografía del recorrido virtual para la enseñanza del tema biomas con impacto antropogénico (Fuente: <http://hdl.handle.net/11349/29197>)

Museo Virtual de AgroCiencia del INIA y Museo Virtual del Maule.

El Museo Virtual de AgroCiencia del Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA presenta un recorrido virtual a partir de una línea de tiempo que permite apreciar la historia y desarrollo del sector agroalimentario de Chile, en particular, donde los hitos del desarrollo ganadero, frutícola, viticultura, hortícola, sanidad vegetal, sustentabilidad, durante los siglos XX y XXI. De otra parte, el museo virtual de Maule viene acompañado de muchos objetos con animaciones interactivas 3D, en donde se puede apreciar sus detalles, texturas y realizar giros en 360°. La siguiente imagen ilustra la página principal del sitio web del museo:

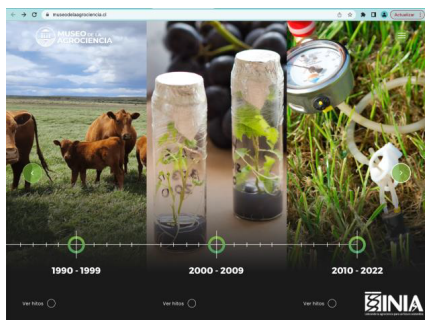


Figura 5. Sitio web del proyecto Museo Virtual de AgroCiencia del INIA (Fuente: <https://museodelaagrocienza.cl/>)

Red Hook Farms.

Se trata de un recorrido agrícola urbano de realidad virtual (VR) con fines educativos para transportar a los agricultores urbanos y rurales a Red Hook Farms de la ciudad de Nueva York desde la comodidad de cualquier lugar. Uno de sus autores, Tapan Parikh, de la universidad de Cornell, lo define como la ecologización de la ciudad virtual, esto es, a través de modelos 3D de alta resolución, se representa una granja urbana (Ramanujan, 2022). Para su desarrollo se empleó la fotogrametría a partir de las imágenes tomadas por drones, y, adicionalmente permite la inmersión en donde, además del recorrido virtual, se puede interactuar con administradores de la granja. La siguiente figura muestra una imagen del recorrido virtual:



Figura 6. Imagen del recorrido virtual en Red Hook Farms (Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=ozebEHzpPOA>)

METODOLOGÍA Y MATERIALES

Para la localización de los documentos bibliográficos se empleó diversas fuentes documentales. Se realiza búsqueda bibliográfica durante octubre y noviembre de 2022 en bases de datos de revistas científicas, libros y ponencias con revisión de pares disponibles en la página de bases de datos suscritas del SENA, a través de su enlace:

<https://biblioteca.sena.edu.co/paginas/bases.html>, tales como EBSCOhost y VirtualPro, así como en google académico, empleando como descriptores los términos: "tecnología", "agricultura", "agricultura digital", "realidad virtual", "recorridos virtuales" y "agricultura 4.0". Los registros obtenidos están dentro del rango de 90 a 245 registros de acuerdo con la ecuación de búsqueda conformada por las palabras clave.

Para la selección de documentos, se tuvo en cuenta específicamente los que trataran de manera formal las investigaciones o productos tecnológicos desarrollados relacionados con tecnología y agricultura de forma independiente inicialmente, y posterior a ello, de forma aunada.

Posteriormente, la revisión se centra en los documentos que traten acerca de la realidad virtual y su aplicación en el sector agrícola, y, finalmente, se centra en recorridos virtuales en

dicho sector con casos de éxito comprobados, con el fin de estructurar el documento de forma descendente desde lo metodológico, es decir, partiendo desde lo general para ir hacia lo particular.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

La revisión llevada a cabo permite, en primer lugar, conocer un estado del arte acerca de la integración entre tecnología y agricultura, los múltiples beneficios esta conlleva desde múltiples puntos de vista que van desde lo económico, pasando la optimización de procesos, el cuidado del medio ambiente, hasta llegar al aprendizaje y la generación de conocimiento. Esta revisión también permite mostrar que existe una constante investigación de como implementar las innovaciones tecnológicas en uno de los sectores de la economía fundamentales, y, las múltiples opciones que existen y los escenarios en donde se aplica.

Lo anterior se sustenta en la alta cantidad de publicaciones que muestran la implementación de las diferentes tecnologías en la agricultura, estableciendo incluso generaciones que van desde la 1.0 a la 4.0, la cual es la que actualmente existe e incluso ya se proyecta en el corto plazo una generación 5.0. De otra parte, se quiso resaltar el impacto de la realidad virtual, y en particular, los recorridos virtuales, sin embargo, estos se limitan hacia el entrenamiento de una forma un tanto general, sin embargo, aún falta bastante por desarrollar en este tipo de tecnologías, aunque esto irá de la mano de una evolución en las herramientas de desarrollo de software que permitan crearlos a un bajo costo tanto en lo financiero como en rendimiento computacional.

CONCLUSIONES

La realidad virtual es un tipo de tecnología que ha salido de los escenarios de la ciencia ficción para hacer parte de la cotidianidad en diversos escenarios. Hoy en día es frecuente hacer uso de ella en actividades de entretenimiento, educación, seguridad, medicina, entre otros. En el sector agrícola existen desarrollos orientados en particular al entrenamiento de personal para la ejecución de funciones o tareas propias del sector, las cuales por costos o disponibilidad, pueden representar alguna complejidad.

De otra parte, existe también desarrollos orientados a promover la cultura o el turismo a través de recorridos virtuales. Algunos de estos pretenden promover espacios para la interacción del ser humano con la naturaleza de forma directa, mientras que otros lo hacen con el fin de entretener o educar las personas al realizar inmersión en escenarios específicos, simulados a partir de la realidad o creados artificialmente.

En el caso de la agricultura sostenible, son muy pocos los desarrollos documentados de recorridos

virtuales inmersivos o semi-inmersivos, sin embargo, esto denota oportunidades para la creación de aplicaciones que permitan mostrar como se puede llevar a cabo las diferentes prácticas agrícolas o la gestión de los sistemas alimentarios en la actualidad, de una forma entretenida y didáctica, pero también generadora de conciencia respecto a como se puede transformar los sistemas alimentarios de forma eficiente, rentable, que impulse el crecimiento de la economía desde lo individual hasta lo colectivo, siendo responsables con el medioambiente y con los derechos de las personas.

En este sentido, y dada la importancia de la agricultura para la economía y en general, para la población, y hoy en día para los gobiernos dadas sus políticas públicas al respecto, se hace imperativo el uso de tecnología para optimizar los procesos que allí se adelantan y para dar a conocer como funcionan. Así entonces, tecnologías como la realidad virtual puede ser empleada para que los productores puedan dar a conocer y comercializar sus productos, mediante el empleo de técnicas de marketing digital, de una forma más sugestiva a los grupos de interés en todos los segmentos, y que esos se sientan más atraídos e involucrados. De otra parte, la realidad aumentada puede ser utilizada para el aprendizaje de nuevas herramientas, técnicas o metodologías que son susceptibles de ser implementadas en el sector agrícola por parte de quienes allí trabajan, o se encuentran implicados de alguna forma, permitiendo ampliar lo que allí existe, con el fin de ver con mayor detalle todos los elementos que son necesarios y así, comprender su estructura o funcionamiento de una mejor forma. En cuanto a las tecnologías inmersivas, estas pueden también tener una aplicabilidad en el contexto educativo como se expuso previamente con la realidad aumentada, con el fin de desplegar el funcionamiento interno de los procesos que se llevan a cabo en el sector a lo largo de un área o espacio, lo cual, también se puede extrapolar al sector turístico y mostrar el agro de una forma más atractiva y despertar mucho más el interés del público en general, el cual, desde un entorno visualmente rico en muchos elementos gráficos, permita generar un mayor gusto y conciencia alrededor del agro.

REFERENCIAS

1. Altomari, A. (2017). Realidad virtual y realidad aumentada en la educación, una instantánea nacional e internacional. *Economía creativa*, (7), 34-65.
2. Esclapés, J., Tejerina, D., Esquembre, M., & Bolufer, J. (2013). Propuesta metodológica para la generación de recorridos virtuales interactivos. *Virtual Archaeology Review*. 2013, 4(9): 212-222
3. FAO. (2021). World food and agriculture—statistical yearbook 2020. World Food and Agriculture-Statistical Yearbook.

4. FAO (2022). Objetivos de desarrollo sostenible. Consultado de <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
5. Fontalvo, J., Yadeneyro, E., & Ramirez, A. (2022). Impulsando la educación ambiental mediante recorridos virtuales en el Huerto Agroecológico de la Universidad Veracruzana. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Fontalvo-Buelvas/publication/364106158_Impulsando_la_educacion_ambiental_mediante_recorridos_virtuales_en_el_Huerto_Agroecologico_de_la_Universidad_Veracruzana/links/6339c2e776e39959d68ff6fc/Impulsando-la-educacion-ambiental-mediante-recorridos-virtuales-en-el-Huerto-Agroecologico-de-la-Universidad-Veracruzana.pdf
6. Fritz, S. (2019). A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps. *Agricultural Systems*, 168, 258-272.
7. Garzón, A. (2021). El uso de recorridos virtuales para la enseñanza del tema biomas con impacto antropogénico de Colombia. <http://hdl.handle.net/11349/29197>
8. Herrero, M., Álvarez, M., Arribas, J., Arribas, M., Castiñeiras, P., Escavy, J., Insúa, J., Trigos, L., López, F., Urueta, S. & Uribe Larrea del Val, D. (2018). Uso de tecnologías emergentes para la elaboración de salidas de campo virtuales para asignaturas de Ciencias de la Tierra. UCM.
9. Melgar, M. (2018). Agricultura Digital o Agricultura 4.0. *Sugar Journal (USA)*, 81(5), 33-37.
10. Michaelis, C., & Michaelis H. (2020) Dicionário brasileiro da língua portuguesa. <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>
11. INIA (2022). Museo de la agrociencia. <https://museodelaagrociencia.cl/>
12. Nieva, O., Luna, P. & Arellano, J. (2021). Comparativa de características de software para la creación de recorridos virtuales 360 en Web. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 9(19), 109-117.
13. Ojeda, A. (2022). Plataformas tecnológicas en la agricultura 4.0: una mirada al desarrollo en Colombia. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 9-18.
14. Orozco, O. & Llano, G. (2016). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 103-124.
15. Otegui, J. (2017). La realidad virtual y la realidad aumentada en el proceso de marketing
16. Palacos, K., Quezada, M., Riofrio, M. (2010). Creación de una metodología para realizar recorridos virtuales en tres dimensiones. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/14469>
17. Santander (2022). Metaverso: todo lo que necesitas saber para aprovechar el nuevo mundo. <https://www.santander.com/es/stories/metaverso-todo-lo-que-necesitas-saber-para-aprovechar-el-nuevo-mundo>
18. Pivoto, D., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P. S., Dalla Corte, V. F., & de Vargas Mores, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information processing in agriculture*, 5(1), 21-32.
19. Ramanujan, K. (2022). El recorrido por la granja de realidad virtual amplía el acceso a la agricultura urbana. <https://mundoagropecuario.com/el-recorrido-por-la-granja-de-realidad-virtual-amplia-el-acceso-a-la-agricultura-urbana/>
20. Rosales-Soto, A., & Arechavala-Vargas, R. (2020). Agricultura inteligente en México: Analítica de datos como herramienta de competitividad. *VinculaTégica EFAN*, 2(6), 1415-1427.
21. Santos, L. K. C. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(14), 25-32.
22. Sousa, R., Campanari, R., & Rodrigues, A. (2021). La realidad virtual como herramienta para la educación básica y profesional. *Revista Científica General José María Córdova*, 19(33), 223-241.
23. Tavera, K. & Jaramillo, J. (2019). Agricultura 4.0. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2019. <https://doi.org/10.26507/ponencia.210>
24. Ulldemolins, A. (2010). Recorridos virtuales. UOC.
25. Universidad Complutense de Madrid (2020). Proyecto de Innovación Salidas de Campo Virtuales de Geología y Geología Aplicada. <https://www.ucm.es/salidas-de-campo-virtuales/>
26. VirtualPro (2021). Recorrido virtual planta de producción de vino. <https://www.virtualpro.co/escenarios/recorrido-virtual-planta-de-produccion-de-vino>

Beneficios de la agrónoma en la agricultura

Juan Carlos Garcia Rubio⁽¹⁾

Ingeniero electrónico, Sena-Tecnoparque Nodo la Granja. Experto de la Línea de Electrónica y Telecomunicaciones.
Ibagué, Colombia.

jucgarcir@sena.edu.co

RESUMEN

Factores como el cambio climático y el crecimiento de la población mundial ha generado un aumento en la demanda de alimentos, y esto a su vez lleva a que sea necesario implementar nuevas herramientas tecnológicas, las cuales permitan a los diferentes procesos del agro sufrir una transformación, con el fin de que estos sean más eficientes y de mejor calidad para dar respuesta a la problemática descrita, es de allí donde nace el concepto de la agronómica. Este término ha atraído mucha atención de los investigadores y diseñadores en los últimos años, ya que hay varios aspectos que se abordan en él (por que medir, como medir datos en la agricultura, tipo sensores en la agricultura, diseño electrónico). En el presente artículo se explorará los temas mencionados; además, se revisarán varias aplicaciones, proyectos y esfuerzos de estandarización que se llevan a cabo en la actualidad y así poder identificar su importancia para ser aplicado en el agro colombiano.

Palabras Claves:

Agrónoma, sensores, huertas verticales, hidroponía, diseño electrónico, mapas digitales de información, instrumentación

ABSTRACT

Factors such as climate change and world population growth have led to an increase in demand for food, turning into new technological tools, which allow the different processes of agriculture to undergo a transformation, in order to make them more efficient and of better quality to respond to the problems described, it is from there where the concept of agronomics is born. This term has attracted a lot of attention from researchers and designers in recent years, since there are several aspects that are addressed in it (why measure, how to measure data in agriculture, type of sensors in agriculture, electronic design). In this article will explore the topics mentioned; in addition, several applications will be reviewed, Projects and standardization efforts that are currently being carried out in order to identify their importance to be applied in Colombian agriculture.

Keywords: Agronomics, sensors, vertical gardens Electronic design, hydroponics, digital information maps, Instrumentation.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es la labor humana que permite combinar diferentes procedimientos y áreas del conocimiento en el tratamiento de la tierra, con el fin de producir alimentos de origen vegetal, como lo es: frutas, verduras, hortalizas, entre otros. Por lo tanto, es la actividad económica más importante para toda la humanidad ya que de ella depende la supervivencia de todos los seres vivos. Dentro del interés por optimizar las prácticas en la agricultura surgen diferentes categorías de conocimientos contempladas en: la genética, la fisiología, la reproducción, nutrición, el suelo, climatología e infraestructura para la producción, que la agricultura convencional no se pueden identificar de manera eficaz, haciendo que muchos de los procesos productivos sean poco eficientes; es de allí donde se hace necesario

implementar nuevas áreas basadas en tecnología para identificar todas estas categorías y adicional al control de estas variables, poder mitigar los efectos ambientales producidos por la práctica de la agricultura.

Una de las nuevas tecnologías que surge para abordar la optimización de la agricultura es la agrónoma. Esta consiste en aplicar las técnicas y principios de la electrónica, mecatrónica e informática con el fin de modelar, monitorear y controlar los procesos agropecuarios. Para poder tomar decisiones adecuadas y conocer el estado actual de cualquier tipo de cultivo es necesario contar con datos que permitan conocer las variables que lo afectan. Existen tres maneras de tomar datos en la agricultura: basados en mapas

digitales de información, en la adquisición de datos por sensores en tiempo real, o fusionando las dos anteriores.

La importancia de obtener información en cualquier proceso agrícola es la de permitir tener información veraz y oportuna del comportamiento de un sistema o proceso. Igualmente, predecir comportamientos futuros, ayudar al agricultor a ser competitivo en un mercado globalizado y suplir demandas, ser más racionales en la aplicación de insumos y finalmente más amigables con el medio ambiente y compensar los efectos del cambio climático.

En este artículo se realizará una revisión documental basado en el método de adquisición de datos por sensores donde se mostrarán ejemplos de equipos comerciales existente en el mercado, con el fin de generar una transformación y potencializar el agro en la región. Los sensores más utilizados en el sector de agricultura son los de temperatura, humedad y conductividad eléctrica; cada uno de ellos son contruidos de acuerdo con su utilización o uso dentro de la industria o campo de aplicación. Además, es necesario conocer otros tipos de sensores, también importantes para ser implementados cuando sea necesario en el campo agrícola.

La unión de los conceptos mencionados, se consolidan en lo se conoce como diseño electrónico, que permitir construir un dispositivo que resuelva una necesidad puntual en la agricultura o en cualquier otro campo de aplicación. En este sentido, la agrónoma toma gran importancia, dado a que estos dispositivos electrónicos buscan ser incluyentes y accesibles al aporte de las labores del día al día de los agricultores.

ESTADO DEL ARTE

"La Agrónoma ha ido ganando espacio en la agroindustria, siendo una herramienta de trabajo cada vez más necesaria, en mayor o menor medida dependiendo del sector. Por lo que existen procesos y actividades más o menos demandantes de esta tecnificación" (Montoya, 2012), que emplea técnicas y principios de las áreas de conocimiento de la electrónica, mecatrónica e informática con el objetivo de modelar, monitorear y controlar cualquier proceso agropecuario, generando que en el mercado se construyan prototipos para fortalecer esta idea.

En el mundo se han desarrollado algunos sistemas aplicando el termino agrónoma, como, por ejemplo: el Smart Firmer que "el cual determina la temperatura, humedad, materia orgánica, nivel de residuo y contacto semilla suelo. Este equipo está preparado para dar señal de control para fertilización y siembra variable" (Barreiro & Diezma, 2021), lo que genera tener una herramienta confiable a la hora de realizar siembra en cualquier tipo de cultivos por su gran

precisión en los sensores y por lo tanto generar un dispositivo para los cultivadores.

Por otra parte, se encuentra el dispositivo Farm Bot, entre sus ventajas se destaca que es un sistema:

Basado en código CNC, que ubica las semillas en lugares precisos utilizando una aplicación de interfaz gráfica de fácil predicción y comprensión que ejecuta instrucciones en tiempo real (...) Las limitantes de Farm Bot están en que no posee un sistema de interacción directo con el terreno donde se encuentra cultivada la planta; este factor podría ser decisivo en las acciones que se tomen sobre el cultivo. La configuración de ubicación y disposición del cultivo está limitada a terrenos planos y agricultura convencional, descartando las opciones de cultivos hidropónicos(Torres, 2021).

Por la situación anteriormente descrita con el dispositivo mencionado algunas organizaciones han decidido desarrollar otro tipo de sistemas que permitan solventar esta problemática ya que la mayoría de los terrenos donde se cultivan son variantes en su geografía. Es por esto que, la empresa Ironox desarrolla una serie de robots, entre los que está el Grover:

Que es un componente clave del ecosistema agrícola más amplio, un sistema de ciclo cerrado que optimiza el rendimiento de las plantas, reduce el tiempo del ciclo de crecimiento y maximiza la calidad de los cultivos. El resultado son frutas y verduras deliciosas, nutritivas y de origen local que actualmente cuestan casi lo mismo que los productos agrícolas convencionales, con un impacto ambiental sustancialmente menor (Ironox, 2021).

Otro de los equipos comerciales es el elaborado por la empresa Smart biosystem con el dispositivo de riego inteligente mesa de cultivo V1 basado en una placa de prototipado y un Arduino UNO y sensores de humedad ubicados en una mesa de cultivo desmontable de PVC (Smart Biosystem,2022).

Respeto a las investigaciones que se han desarrollado en este campo, se encuentra la tesis de grado elaborada de Briceño y Cubides (2020) en donde se implementó un prototipo que supervisa "las principales condiciones ambientales que están implícitas en el proceso de producción del producto, mientras se utiliza un sistema embebido. El sistema de monitoreo estaría vinculado a una página web donde el agricultor visualizaría la información de los sensores", esta investigación se basó en el sector de cultivos de rosas, lo que indica que la agrónoma es aplicable a todos los sectores de producción del agro.

Los dispositivos mencionados en este escrito están conformados entre otros elementos por sensores de acuerdo a la necesidad. Tovar, et al (2019) evidencian que los sensores más utilizados en la

agricultura corresponden a dispositivos de medición de temperatura y humedad.

Que incluyen tantas mediciones de condiciones del ambiente y condiciones propias de la fisiología del suelo (se distingue temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad ambiente, y humedad del suelo). En un segundo nivel de recurrencia se encuentran los sensores de identificación por radio frecuencia (RFID), luminosidad, nivel de acidez (pH), intensidad de rayos ultravioleta (rayos UV) y presión.

De otro lado, de acuerdo al parámetro a monitorear se debe seleccionar el tipo de sensores que se debe instalar en campo, un ejemplo de ello son los sensores de profundidades:

La tecnología de sensores, que son colocados a diferentes profundidades, permite monitorizar los parámetros determinantes para contar con una buena producción, es decir, el suelo, el agua, las plantas y el clima, para así determinar las necesidades de cada cultivo en tiempo real. Por lo tanto, mediante la recopilación y el análisis de datos de cada planta se logra una agricultura de precisión, que en muchos de los casos permite la reducción de costos y el aumento de los rendimientos. Así, esta tecnología se convierte en una herramienta que les facilita a los agricultores adquirir datos de las necesidades hídricas de los cultivos y la cantidad y calidad de agua en la raíz, logrando un riego exacto que permite ahorrar agua y un uso efectivo de fertilizantes (Agropinos, 2019).

Frente “al aporte excesivo de fertilizantes nitrogenados y agua que han provocado problemas de lixiviación de nitratos, generando contaminación de aguas” (Agronegocios, 2021) se muestra un ejemplo claro de un proceso del agro en el que es vital el uso de sensores, para el caso de este escenario se emplearon sensores de matriz granular, que miden el contenido volumétrico, buscando la conservación del agua. Otro ejemplo donde se evidencia la utilización de sensores para conservar los recursos hídricos se da a través de la investigación aplicada por Jiménez et al., (2021) en donde se menciona:

La factibilidad de usar tecnologías inalámbricas disponibles en la mayoría de las instalaciones (Wireless Fidelity) para implementar una red de nodos de alta densidad con una variedad de sensores heterogéneos para recopilar datos del suelo, la planta y la atmósfera. Los datos se envían y almacenan en un servidor en la nube para su visualización en tiempo real desde cualquier dispositivo móvil y su posterior análisis.

CONCLUSIONES

Optimizar la agricultura y que esta sea mas eficiente día tras días es una tarea importante para la humanidad, por ende, surge la necesidad de utilizar herramientas tecnológicas en la agricultura y unir las a la agronomía la cual es una

estrategia exitosa que se ha utilizado en los últimos años; aunque, es necesario elaborar un estado de arte robusto con el fin de poder implementar esta ciencia, que genera un instrumento a través del cual se podrá alcanzar la tecnificación del agro que tanto se requiere y tener un mayor conocimiento y control de los sistemas agrícolas.

Factores como el cambio climático y el aumento en la demanda de alimentos han llevado a que sea necesario implementar estas nuevas tecnologías, haciendo que muchos de los procesos productivos en el agro sean transformados para brindar mejores y más eficientes soluciones que modifiquen de a poco la industria. A partir de sensores que capture los datos de cualquier sistema agrícola, y la vinculación de los agricultores con las herramientas tecnológicas, con el fin de ayudar al agricultor que no cuenta con los conocimientos o recursos económicos para la implementación o uso de estos.

El campo colombiano genera una oportunidad de realizar innovación e investigación que permitan mejorar la productividad, para expandir las áreas de cultivos de los pequeños y medianos cultivadores. Campesinos de diferentes regiones del país pueden verse apoyados en la mejora de procesos de siembra, cosecha, recolección, selección, almacenamiento, transporte y procesamiento. Para alcanzar efecto satisfactorio en el sector del agro se hace necesario por un lado conocer y caracterizar las necesidades reales del sector afectado y, por otro lado, dominar las tecnologías y herramientas importantes para generar las innovaciones planteadas. Para alcanzar el primer objetivo se debe centrar en los diferentes sectores de producción y así empezar a trabajar con diferentes actores que realicen investigaciones orientadas al agro, para abordar el segundo se debe aprovechar recursos de convocatorias para conocer y adecuar diversas tecnologías a las necesidades del agro.

REFERENCIAS

1. Agronegocios. (27 de julio de 2021). *Uso de sensores para la programación de riego*. <https://www.agronegocios.es/vida-rural-solutions/articulo/uso-de-sensores-para-la-programacion-de-riego/#:~:text=El%20uso%20de%20los%20valores%20relativos%20de%20humedad,que%20estos%20sensores%20son%20sensibles%20a%20la%20salinidad>.
2. Agropinos. (19 de febrero de 2019). *Nuevas tecnologías para la optimización de sus cultivos*. <https://www.agropinos.com/blog/tecnologia-s-para-optimizar-los-cultivos>.
3. Barreiro, P., & Diezma, B. (2021). Sensores para conocer los suelos y su fertilidad y actuar en consecuencia. *TECNICA*, 50-55.

4. Briceño, M., & Cubides, W. (2020). Diseño de una solución IOT para monitoreo de las condiciones óptimas de un cultivo hidropónico de flores en invernadero [Universidad autónoma de bucaramanga]. <http://clik.dva.gov.au/rehabilitation-library/1-introductionrehabilitation%0Ahttp://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/as.2017.81005%0Ahttp://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/as.2012.34066%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2013.02.002>
5. Ironox. (1 de enero de 2021). Ciencia de las plantas, robótica y datos: un camino hacia la agricultura neta cero. <https://ironox.com/team/>.
6. Jiménez-Buendía, M., Soto-Valles, F., Blaya-Ros, P. J., Toledo-Moreo, A., Domingo-Miguel, R., & Torres-
7. Sánchez, R. (2021). High-density wi-fi based sensor network for efficient irrigation management in precision agriculture. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(4), 1-20. <https://doi.org/10.3390/app11041628>
9. Mesa de Cultivo VI. (15 de noviembre de 2022). Smart Biosystem. <https://smartbiosystem.com/>.
10. Montoya, A. P. (2012). ¿Qué es eso de agrónoma? *Boletín del museo entomológico Francisco Luis gallego*, 4(1), 7-10.
11. Torres, G. (2021). Diseño e implementación de un sistema de adquisición y registro de señales e imágenes con tecnología IoT para el seguimiento de las condiciones de cultivos hidropónicos de lechuga. Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito.
12. Tovar, Jhonatan & Santos, José & Badillo, Andrés & Rodríguez Genner. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, núm. 22, pp. 86-105, 2019

AFICHE

POLENZAS

PhD. Ing. Manuel Forero

Técnicas Avanzadas de Inteligencia Artificial para el Desarrollo del Agro y la Biología.

MSc. Ing. Jairo Andrés Hernández N.

El Internet de las Cosas
Iot: Aplicaciones y Perspectivas

MSc. Ing. Erika Alejandra Beltrán C.

Uso de la Realidad Virtual en el Desarrollo de una Agricultura Sostenible

MSc. Ing. Yefri Jhoan Machado P.

Uso de Métodos de Conservación de Alimentos para un Consumo Saludable

Ing. Mauricio Muñoz

Los Insumos Biológicos y el Marco Normativo Actual

18 NOV

MSc. Piedad Lopera

Importancia de la Microbiología para el Desarrollo de la Agricultura

Ing. Danilo Bonilla Trujillo

Estrategias para la Transformación de los Residuos del Plátano Generando Valor Agregado

MSc. Ing. Daniel Andrés Guzmán A.

Inteligencia Artificial para la Construcción de Algoritmos que Permitan Realizar Predicciones Meteorológicas

MSc Lic. José Rafael Rodríguez N.

Perspectivas de la Biotecnología en el Agro

Ing. Juan Carlos García R.

Beneficios de la Agronomía en la Agricultura

17 NOV

VISITA NUESTRO SITIO WEB

1º FORO DE INNOVACIÓN EN EL AGRO



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Tecnoparque
Nodo La Granja