

INNOV AGRO

2° FORO

20 23

2º

FORO INNOVACIÓN EN EL AGRO

MEMORIAS

20 23



**Tecnoparque
Tolima**



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

2° FORO

INNOVACIÓN EN EL AGRO

NÚMERO: 02

OCTUBRE 2023

ISSN: 2981 - 3824

PUBLICACIÓN DE CARÁCTER CIENTÍFICO – TÉCNICO, SENA CENTRO AGROPECUARIO LA GRANJA, ESPINAL TOLIMA

COMITÉ EDITORIAL

Juan Manuel Sánchez Soto

jusanchez@sena.edu.co

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

SENA CENTRO AGROPECUARIO LA GRANJA

Juan Camilo Soto Díaz

jsotod@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 Nacional

Martha Ayala Jara

mayalaj@sena.edu.co

Directora Regional Tolima

APOYO Y GESTIÓN

Cristian Camilo C. Montiel

cccardenas@sena.edu.co

Apoyo Técnico

INFORMACIÓN

Infocenter

infocenterlagranja@sena.edu.co

Tel. 2709600 - 84819

5 OCTUBRE 2023

ISSN: 2981 - 3824

Memorias para la Identificación
y divulgación del
2° 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.
2023

EDITORIAL

El Segundo Foro de Innovación en el Agro, fue un evento de relevancia para la región porque permitió evidenciar tres cosas sobresalientes y complementarias, primero, que el Tolima es una indiscutible potencia agrícola para el país, segundo, que tiene muchos retos productivos a corto, mediano y largo plazo para poder lograr aterrizar un proceso industrial interesante, y tercero, que en la calidad de las ponencias, el interés institucional y los jóvenes investigadores presentes, se encuentra un fermento base o plataforma para lograr superar las brechas existentes.

Es por lo anterior, que estos espacios que llegaron para quedarse, porque esperamos sacar adelante el tercer foro bajo la dinámica propuesta de ser itinerante por el departamento, para que logre congregarse cada vez más instituciones, y personas inquietas que le apuesten al uso de herramientas y estrategias que nos permitan fortalecer la región, permitiéndole enfrentar a nuestros agricultores con solidez y visión los desafíos que presentan los mercados actuales y futuros, tanto a nivel nacional como internacional, así como, no menos importante los efectos posibles del cambio climático.

Por último, deseo extender una gran invitación a todas y todos, para que nos visiten y se familiaricen con nuestra estrategia Tecnoparque, ubicado en el SENA - Centro Agropecuario La Granja. La invitación es a sumergirse y explorar las oportunidades que brinda nuestra institución en cuanto a tecnología e innovación. En este contexto, las actividades de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) de Tecnoparque Tolima les permitirá tener un papel crucial para impulsar el enfoque y fortalecimiento del ecosistema de Ciencia, Tecnología e Innovación en la comunidad del departamento del Tolima.

Juan Camilo Soto Díaz

Subdirector(e)

Centro Agropecuario La Granja

Espinal - Tolima



ÍNDICE

ARTÍCULOS



ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO COMPETITIVO DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO EN COLOMBIA

Ph.D(c). M.Sc. Ing. Liliana Marcela Moreno Turriago _____ 08



DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA TECNOLÓGICA EN AMBIENTE WEB DENOMINADA IBANASCA, COMO APOYO PARA LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DEL ALGODÓN Y MAÍZ

Ing. Luis Alberto Nuñez Leal _____ 17



IMPLEMENTACIÓN DE UN GALPÓN DIGITAL

Esp. Ing. Sandra Liliana Castellanos Franco

Aprendiz Keira Nicoll Galvis Neira

Aprendiz Briyith Stefany Galvis Neira _____ 22



AVANCE EN LA UTILIZACIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE CACAO: PROTOTIPO DE SOLUCIONES ECOLÓGICAS DE EMPAQUE PARA LA INDUSTRIA DEL CHOCOLATE

M.Sc. Ing. Angie Natalee Naveros Celis _____ 28



ROVER AGROTECH

Ing. César Augusto Campos Rodríguez

Aprendiz Andres Felipe Boada Garzón _____ 34

ARTÍCULOS



BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL, IMPORTANCIA Y AVANCES EN LA AGRICULTURA

M.Sc. Piedad Cecilia Lopera Yepes

M.Sc. Esp. Lic. José Rafael Rodríguez Núñez _____ 41



TRANSFORMANDO RESIDUOS DE AGUACATE EN SOLUCIONES SOSTENIBLES PARA EL TOLIMA

Ing. Diana Palacios Arrieta

M.Sc. Ing. Maggy Estefany Gonzáles Vanegas

Ing. Edna Piedad Ticora Lozano _____ 50



SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO PARA CULTIVOS CÍTRICOS BAJO EL CONCEPTO IOT

Ing. Willy Alejandro Cortes Lozano _____ 54



PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y APRENDIZAJE DE MAQUINA APLICADO EN DIAGNÓSTICOS DE PATOLOGÍAS

Ing. Darwin Stiven Herrán Ríos

Ing. Santiago Rodríguez Cuellar _____ 67



DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE TERRITORIOS INTELIGENTES PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

Ing. Cristian Caleño

Ing. Oscar Javier Briñez

Ing. David Andrés Yepes

Ing. Sindy Johana Vergara _____ 73



ÍNDICE DE FIGURAS

Artículo:

ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO COMPETITIVO DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO EN COLOMBIA

Figura 1. Número de trabajos publicados sobre cacao, biomasa residual, compuestos bioactivos y extracciones verdes de subproductos publicados desde 1970 hasta 2020. Base de datos SCOPUS 10

Artículo:

IMPLEMENTACIÓN DE UN GALPÓN DIGITAL

Figura 1. Sistemas automáticos a ser implementados 24

Figura 2. Diseño surtidores de agua 25

Figura 3. Diseños del sistemas mecánico para dispensación de alimento 25

Figura 4. Sistema mecánico ensamblado al surtidor de alimento 25

Figura 5. Diseño de la Aplicación en Blynk 26

Artículo:

AVANCE EN LA UTILIZACIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE CACAO: PROTOTIPO DE SOLUCIONES ECOLÓGICAS DE EMPAQUE PARA LA INDUSTRIA DEL CHOCOLATE

Figura 1. Vaina de cacao seca. Método de secado solar 31

Figura 2. Vaina de cacao seca. Método de secado Convección forzada 31

Figura 3. Curva de Secado de vainas de cacao a tres temperaturas 40°C, 50°C y 60°C a velocidad del aire 1 m/s 31

Figura 4. Evaluación de tres métodos de fijación de color. De izquierda a derecha, ácido cítrico, flameado, escaldado 31

Figura 5. Prueba de recubrimientos en las caras posterior e interior de las vainas de cacao secas 32

Artículo:

ROVER AGROTECH

Figura 1. Andres Boada ponente en InnovAgro 35

Figura 2. Robot Kubota X Electric Tractor 36

Figura 3. Aprendices del Colegio SINTRAFEC realizando control del robot 37

Figura 4. Proceso de soldadura en el modulo FONA800 para instalación en robot 38

Figura 5. Prototipo Rover Agrotech y app móvil de monitoreo Agrot 38

Tabla 1. Registro de voltaje por recorrido realizado 37

Artículo:

TRANSFORMANDO RESIDUOS DE AGUACATE EN SOLUCIONES SOSTENIBLES PARA EL TOLIMA

Tabla 1. Área sembrada y producción de aguacate en el Tolima (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020) 51

Artículo:

SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO PARA CULTIVOS CÍTRICOS BAJO EL CONCEPTO IOT

Figura 1. Riego por gravedad con surcos	56
Figura 2. Riego por aspersión	57
Figura 3. Esquema de un sistema de riego por goteo	57
Figura 4. Sistema de riego automatizado	58
Figura 5. Controlador y sus partes en ESP32-WROOM-32U	58
Figura 6. Sensor de temperatura de contacto DS18B20 tipo sonda	59
Figura 7. Sensor de temperatura sin contacto de muy alta sensibilidad	59
Figura 8. Sensor capacitivo de humedad	60
Figura 9. Sensor resistador de humedad	60
Figura 10. Sensor de detección UV	60
Figura 11. Estructura del motor eléctrico	61
Figura 12. Estructura de un solenoide	61
Figura 13. Croquis del terreno del cultivo	62
Figura 14. Distribución del terreno y sensores	62
Figura 15. Asignación de actuadores en el terreno	63
Figura 16. Solución técnica del hardware	63
Figura 17. Diagrama de bloques del sistema de riego automatizado	63
Figura 18. Solución técnica del software	63
Figura 19. Distribución de etapas que conforman al sistema de riego automático	64
Figura 20. Cara superficial principal del sistema	64
Figura 21. Cara inferior del sistema	64
Figura 22. Cara lateral izquierda del sistema	64
Figura 23. Cara lateral derecha del sistema	65
Tabla 1. Ficha técnica del sistema de riego automatizado	61

Artículo:

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y APRENDIZAJE DE MAQUINA APLICADO EN DIAGNÓSTICOS DE PATOLOGÍAS

Figura 1. Fibrosis producida por neurocisticercosis en porcinos	68
Figura 2. Inteligencia artificial, aprendizaje de maquinas y aprendizaje profundo	69
Figura 3. Segmentación de imagenes usando un enfoque de Ventana deslizante con el clasificador Random forest	70
Figura 4. Segmentación de imagenes usando un enfoque de Ventana deslizante con el clasificador XGboost	70
Figura 5. Imagen original e imagen binarizada para el entrenamiento	71
Figura 6. Imagen de prueba e imagen segmentada por la U-net	71
Tabla 1. Comparación de las métricas de exactitud por cada uno de los métodos implementados	70

Artículo:

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE TERRITORIOS INTELIGENTES PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

Figura 1. Gateway Outdoor LoRaWan de 8 Canales UG67	75
Figura 2. Mapa de cobertura del Punto de Acceso	75
Figura 3. Dashboard de visualización de dispositivos	75
Figura 4. Nodo terminal Fabricado	76
Figura 5. Vista superior pasera automatizada	76

ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO COMPETITIVO DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO EN COLOMBIA

INNOVATION STRATEGIES FOR THE COMPETITIVE DEVELOPMENT OF THE COCOA PRODUCTION CHAIN IN COLOMBIA

Liliana Marcela Moreno Turriago

Ingeniera Agroindustrial, M.Sc. Ciencias Agroalimentarias, Ph.D(c). Ciencias Agrarias. Servicio Nacional de Aprendizaje. Experta Tecnoparque Nodo Angostura. Grupo de Investigación Agroindustrial La Angostura, Campoalegre, Colombia. lilimoreno@sena.edu.co

RESUMEN

La industria de procesamiento del cacao genera gran cantidad de subproductos infrautilizados como la cáscara de la mazorca, el mucilago y la cascarilla de la semilla, los cuales representan aproximadamente el 80% del total del fruto. La mayoría de los agricultores dedicados a la cacaocultura descartan estos biorresiduos en los mismos cultivos sin darles un tratamiento adecuado, provocando graves problemas ambientales gracias a la proliferación de vectores de enfermedades; asimismo, esta práctica supone la pérdida del potencial valor comercial de compuestos de interés que se encuentran en los subproductos que se desechan. Recientes estudios han reportado el tratamiento de estos residuos para la extracción de moléculas con potenciales usos en la industria cosmética, farmacéutica, energética y alimentaria; sin embargo, su explotación es incipiente debido a la falta de innovación tecnológica para su manejo y aprovechamiento. En vista de los atributos y valiosos compuestos presentes en la biomasa residual del cacao, el presente artículo describe el estado actual de las investigaciones enfocadas a la transformación de biomasa residual del cacao y a las tecnologías empleadas para la extracción y recuperación de compuestos macroestructurales y bioactivos de alto valor agregado en un sistema de biorrefinería, donde se abordan y analizan factores como la sostenibilidad y la valorización de la cadena productiva.

Palabras Claves:

Biorrefinería, extracción, subproductos, *Theobroma cacao*, valorización.

ABSTRACT

The cocoa processing industry generates a large amount of underutilized by-products such as cocoa pod husks, mucilage and seed hulls, which represent approximately 80% of the total cocoa fruit. Most cocoa farmers discard these biowaste in the same crops without adequate treatment, causing serious environmental problems through the proliferation of disease vectors; this practice also results in the loss of the potential commercial value of compounds of interest found in the by-products that are discarded. Recent studies have reported the treatment of these wastes for the extraction of molecules with potential uses in the cosmetic, pharmaceutical, energy and food industries; however, their exploitation is incipient due to the lack of technological innovation for their management and use. In view of the attributes and valuable compounds present in cocoa waste biomass, this article describes the current state of research focused on the transformation of cocoa waste biomass and the technologies used for the extraction and recovery of macrostructural and bioactive compounds of high added value in a biorefinery system, where factors such as sustainability and valorization of the production chain are addressed and analyzed.

Keywords: biorefinery, extraction, by-products, *Theobroma cacao*, valorization.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el mayor inconveniente que enfrenta la agroindustria a nivel mundial es la generación de grandes cantidades de residuos orgánicos que representan significativas inversiones de dinero para su tratamiento y disposición (Pylypenko, 2020). La cadena productiva del cacao no es ajena a esta situación, debido a que en su procesamiento se originan residuos tanto agrícolas (cáscara y mucílago) como industriales (cascarilla del grano) que en conjunto representan alrededor del 70-80% del total de peso de la fruta (Prabhakaran, 2010). La producción de biomasa residual a gran escala es una preocupación ambiental para los países productores de cacao, debido a que los agricultores no implementan acciones adecuadas para su disposición ni tratamiento a pesar de que este material orgánico es usado para la fertilización del mismo cultivo; en consecuencia, estas prácticas promueven la proliferación de vectores de enfermedades generando un negativo impacto ambiental y social (Burgos & Jaramillo, 2013).

En este contexto, numerosos estudios de investigación se han enfocado en valorizar biomásas residuales de tipo agroindustrial procedentes del fruto del cacao caracterizados por ser económicos, renovable y abundantes, con el fin de extraer y recuperar compuestos de interés para fines cosméticos, farmacéutico, energético y alimentario (Vásquez et al., 2019) que representan un potencial económico para todos los eslabones de la cadena productiva; por otra parte, se busca impulsar la transición hacia una economía circular que se centre en el reciclaje y la reutilización exhaustiva de la biomasa (Herrero et al., 2013). Estas investigaciones se enmarcan en el concepto de biorrefinería, cuyo esquema se basa en el uso eficiente de la biomasa orgánica como materia prima para la producción integrada de combustibles, energía, productos químicos y biológicos de elevado interés comercial (Cortés et al., 2014) que contribuye a remediar problemáticas como el cambio climático, calentamiento global y la escasez de recursos debido al rápido incremento de la población. La implementación del concepto de biorrefinería permite la obtención de diversos constituyentes macromoleculares especialmente carbohidratos y polisacáridos, además de ingredientes bioactivos como antioxidantes y pigmentos (Wong et al., 2015).

El cacao es la única especie del género *Theobroma* explotada comercialmente cuyas semillas son la materia prima de importancia económica del fruto, ya que las reacciones bioquímicas que ocurren al interior del cotiledón durante el proceso de fermentación dan como resultado aromas y sabores apetecidos por los consumidores (Fajardo et al., 2018). Las semillas representan el 20% de la fruta del cacao; por lo tanto, el 80% restante corresponde a residuos (Trognitz et al., 2012). Solo en Colombia se registró una producción de cerca de 492.000 toneladas de residuos en el año cacaotero 2018/2019, de los cuales el 0,1% fueron exportados a países como México, Estados Unidos y Malasia (Fedecacao, 2020).

Diversas investigaciones sugieren que la cáscara o cacota de cacao puede ser útil para la extracción de compuestos estructurales como pectina y nanofibras para uso farmacéutico y alimenticio (Barišić et al., 2019; Sarmiento, 2019; Gómez et al., 2020), además de compuestos funcionales como polifenoles, fibra dietaria, proteínas y metilxantinas (Villamizar & López, 2017; Panak et al., 2018); por otro lado, este biorresiduo es utilizado en la producción de biocombustible (Mancini et al., 2016) y como adsorbente de bajo costo en el tratamiento de aguas residuales (Ribas et al., 2014). El mucílago y la placenta presenta gran contenido de fibra, cenizas, minerales, flavonoides, taninos, macroelementos (K, Mg, P) y microelementos minerales (Fe, Zn) (Goude, Adingra & Gbotognon, 2019). En vista de lo anterior, el aprovechamiento eficiente de los subproductos del cacao puede incentivar estrategias de valorización basadas en tecnologías sostenibles encaminadas al concepto de biorrefinería y que en un futuro cercano puede significar un considerable aumento en la valorización de la cadena productiva del cacao en los principales países productores.

Recientemente Mariatti et al. (2021) publicaron un artículo de revisión acerca de la problemática de la excesiva generación de residuos de cacao, donde se describen métodos emergentes y procedimientos ecológicos que permiten la valorización de la cascarilla y cacota de cacao, así como su idoneidad para el desarrollo de un enfoque de biorrefinería coherente con el paradigma de economía circular y un diseño de industria 4.0 que impulse el desarrollo de nuevos productos y negocios; sin embargo, y en

conformidad con los autores, no se logró encontrar evidencia alguna que indique que este enfoque ya haya sido implementado en la industria cacaotera en alguna parte del mundo.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este artículo se centró en explorar la aplicación del concepto de biorrefinería a través de la implementación de tecnologías verdes y métodos alternativos en la valorización de biomasa residual de cacao. Se incluye una recopilación del uso de la cáscara y mucílago del fruto como materias primas óptimas para la recuperación de compuestos bioactivos y nutraceuticos de importancia industrial, así como métodos no convencionales de extracción. Finalmente, se discute la proyección de la biorrefinería en Colombia desde el punto de vista de sostenibilidad y agregación de valor en la cadena productiva del cacao.

ESTADO DEL ARTE.

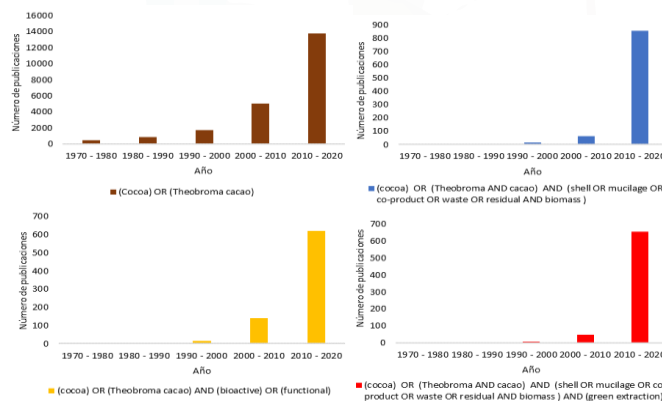
Biomasa residual de cacao con potencial para aplicar el enfoque de biorrefinería.

La Organización Internacional del Cacao (ICCO) estimó que durante el periodo 2018/2019 la producción mundial de este fruto aumentó a 4,9 millones de toneladas de grano fermentado y seco (Toma & Săseanu, 2020), debido principalmente al aumento de la demanda en Asia que crece más rápido que la media mundial. A pesar de que el alza en la demanda del cacao constituye una ventaja competitiva en la cadena de valor, es evidente que también aumenta la generación de biomasa residual, por lo cual se han intensificado investigaciones para establecer usos alternativos de estos residuos a través de la generación de productos de interés comercial.

Con el fin de determinar el uso potencial de subproductos de cacao como materia prima para aplicar un enfoque de biorrefinería, inicialmente se realizó una búsqueda exhaustiva en la base de datos SCOPUS (www.scopus.com), donde se indagó sobre investigaciones relacionadas con valorización de subproductos de cacao, compuestos de interés comercial y métodos de extracción que hubiesen sido publicadas desde 1970 hasta 2021. En la búsqueda se consideró todo tipo de documento y se llevó a cabo utilizando cuatro conjuntos de palabras clave incluidas en el título, resumen y palabras claves de los artículos publicados.

En la Figura 1 se pueden observar los resultados obtenidos, donde se evidencia un incremento exponencial de investigaciones enfocadas en cacao durante la última década. Se encontraron cerca de 14.000 trabajos realizados durante el periodo 2010-2020, de los cuales el 48% se enfocaron en áreas temáticas de ciencias agrícolas y biológicas y solo el 6% abordaron el tema de subproductos generados por esta actividad comercial; sin embargo, es notable la fuerza que ha tomado este tópico en los últimos años si se compara con su relevancia durante el periodo 2000 – 2010.

Figura 1. Número de trabajos publicados sobre cacao, biomasa residual, compuestos bioactivos y extracciones verdes de subproductos publicados desde 1970 hasta 2020. Base de datos SCOPUS.



Los compuestos bioactivos y funcionales del fruto de cacao, así como su extracción mediante tecnologías verdes, han ganado interés entre los investigadores; no obstante, estas temáticas emergentes siguen siendo una interesante oportunidad de estudio debido al bajo número de artículos publicados. Por otro lado, cabe resaltar que en la búsqueda solo se encontraron dos investigaciones publicadas referentes a la aplicación del concepto de biorrefinería en subproductos de cacao específicamente (Ghysels et al., 2020; Desniorita, Novelina & Sayuti, 2019), lo que significa que este campo de acción en la cadena productiva del fruto está prácticamente inexplorado y se requiere de mayor cantidad de estudios para establecer la factibilidad técnica y económica de su implementación que permita el uso eficiente de subproductos integrando la generación de energía con la obtención de una amplia gama de productos de alto valor agregado. Para que los subproductos de cacao cumplan con el enfoque de biorrefinería,

se hace necesario analizar los aspectos más importantes de esta materia prima:

Actividad nutracéutica y funcional de los subproductos de cacao.

La fundación mundial del Cacao (WCF), proyectó que para el año 2019 se generarían 10 toneladas de cascarilla de cacao por cada tonelada de grano seco (Grillo et al., 2019), creando un significativo problema de eliminación. De acuerdo con Campos et al, (2018), este subproducto se caracteriza por ser rico en fibra dietaria definida como la parte comestible de las plantas que es resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, fermentándose completa o parcialmente en el intestino grueso; su ingesta se ha asociado con una gran cantidad de efectos benéficos para la salud de los consumidores (Howlett et al., 2010).

Asimismo, el contenido de proteína encontrado en la cascarilla de cacao es similar al de los granos (Panak et al., 2018); sin embargo, Greenwood (1965) descubrió que el 90% del nitrógeno alfa-amino en la cáscara se encuentra fuertemente unido a los polifenoles oxidados, que posteriormente se convierten en polifenoquinonas. Estos últimos compuestos se combinan con proteína-NH₂ formando enlaces covalentes con eliminación de agua, por lo tanto, se deduce que solo alrededor del 1% de la proteína de la cáscara del cacao existe en estado libre, haciendo improbable la extracción de un concentrado de proteínas para uso alimenticio.

El grupo de compuestos del cacao que representan mayor interés comercial son los fenólicos gracias a su actividad funcional; estos compuestos se almacenan principalmente en los cotiledones de las semillas (Laconi & Jayanegara, 2015); no obstante, Nazaruddin et al, (2006) aseguran que durante el proceso de fermentación los granos de cacao sufren una pérdida de estos compuestos ya que se difunden fuera del cotiledón impregnando finalmente la cascarilla, lo que hace de este subproducto una materia prima rica en polifenoles. Cádiz et al, (2020) identificaron mediante cromatografía líquida de alta eficacia acoplada a masas (HPLC-MS), compuestos fenólicos presentes en extractos etanólicos de cascarilla de cacao como el ácido caféico, catequina, epicatequina y epigallocatequina, todos compuestos conocidos por los múltiples beneficios a la salud humana; por otro lado, los investigadores reportaron altas concentraciones del

alcaloide teobromina al que se le asocia con el bienestar emocional (Martínez, Oñatibia & Franco, 2015).

Técnicas de extracción no convencionales “técnicas verdes”.

El proceso de extracción se considera la etapa de mayor relevancia en la producción de ingredientes naturales con actividad biológica y funcional (Mitra & Mishra, 2019), debido a que emplear las técnicas adecuadas garantiza la óptima recuperación de los compuestos de interés. Azmir et al., (2013), aseguran que la selección de un determinado método de extracción se encuentra condicionado por las propiedades de la biomasa, características fisicoquímicas de las moléculas y sus posibles usos.

En la literatura es posible encontrar técnicas convencionales de extracción de compuestos bioactivos a partir de subproductos de cacao, como la percolación (Gabbay et al., (2019), extracción Soxhlet (Arlorio et al., 2001) y prensado (Villanueva, 2020); sin embargo, estos métodos presentan desventajas importantes como la degradación de compuestos termolábiles por las altas temperaturas que se emplean, el uso de solventes tóxicos que alteran la calidad de los extractos obtenidos, bajos rendimientos de recuperación, alto consumo de energía y tiempos prolongados de proceso (Molino et al., 2020).

Aplicación del enfoque de biorrefinería en subproductos de cacao.

La biorrefinería se caracteriza por integrar procesos secuenciales no convencionales para convertir biomasa en energía y una variedad de productos valiosos como biocombustibles y productos químicos (Berntsson et al., 2012). En ese sentido, el resultado de una primera extracción genera un producto y un residuo que posteriormente es usado como materia prima en un segundo proceso; esto se hace de forma continua hasta que la biomasa y residuos se eliminan totalmente generando productos de alto valor agregado (Dahiya et al., 2018). Integrar diferentes métodos no convencionales como extracción de líquido presurizado (uso de alta presión y temperaturas por encima del punto de ebullición de los solventes (Okiyama et al., 2018)) y extracción de agua subcrítica (cuando el disolvente de extracción es agua presurizada (Jokić et al., 2018)), amplía la variedad de compuestos bioactivos recuperados, ya

que contribuye al fraccionamiento de la materia prima.

A pesar de la importancia económica del cultivo de cacao y del excesivo volumen de biomasa residual que genera cada año, son muy pocos los estudios que se enfocan en la implementación del concepto de biorrefinería. Uno de ellos es el realizado por Mazzutti et al., (2018), quienes construyeron un equipo personalizado multitarea para llevar a cabo operaciones secuenciales de extracción con CO₂ supercrítico y extracción de líquido presurizado (PLE) con etanol, con el fin de recuperar selectivamente compuestos antioxidantes de la cascarilla de cacao. Los investigadores concluyeron que los extractos procedentes de la extracción secuencial mostraron mayor concentración de fenoles totales (51 mg AGE•100 mL⁻¹) y capacidad antioxidante (177 mg ml⁻¹) en comparación con los extractos obtenidos por métodos separados (35 mg AGE•100 mL⁻¹ y 115 mg ml⁻¹ respectivamente). Considerando estos resultados y estudios similares realizados en pulpa de arándano (Tamkuté et al., 2020) y en algas (Esquivel et al., 2017), se vislumbra que la aplicación de técnicas verdes combinadas podría representar una bioindustria prometedora para recuperar selectivamente compuestos bioactivos antioxidantes de alto valor agregado que pueden ser dirigidos a la industria cosmética y alimentaria con un índice positivo del retorno sobre la inversión.

Proyección de la biorrefinería en Colombia.

Colombia tiene un enorme potencial para producir biomasa residual gracias a su diversidad biológica y geográfica e intensiva actividad agrícola y agroindustrial, siendo esto un factor determinante para el desarrollo exitoso de las biorrefinerías. Rincón et al., (2018), estimaron que el país produce anualmente cerca de 54 millones de toneladas al año de biomasa residual de tipo agrícola y más de 93 millones de toneladas generadas por el sector pecuario. El sector cacaotero produce el 1% de la biomasa residual agrícola en Colombia (Fedecacao, 2020), volumen suficiente para ser aprovechada y valorizada en dimensiones industriales lo que proporcionaría ingresos adicionales para las industrias de la cadena de procesamiento del cacao.

En Colombia no se cuenta con biorrefinerías a escala industrial; a pesar de ello, se pueden encontrar complejos industriales con características

de biorrefinerías de primera generación, es decir, que utilizan materias primas provenientes de cultivos como palma y caña de azúcar para producir alcohol carburante o biodiesel (Fedebiocombustibles, 2019). El país ha identificado la necesidad de implementar nuevos procesos de transformación amigables con el medio ambiente que genere un valor agregado a los residuos a través del concepto de biorrefinerías de tercera generación, la cual aprovecha todas las posibilidades que ofrece la biomasa apuntando al reciclaje total de los residuos y a la auto sustentabilidad energética, lo que presupone impactos mínimos sobre el ambiente (de Armas et al., 2019); sin embargo, es importante tener en cuenta que en este tipo de biorrefinerías el elevado contenido de humedad de los residuos es un cuello de botella para que esta bio-industria sea factible técnica y económicamente debido al elevado consumo energético que se requiere (Aristizábal, 2019); es por ello que es indispensable ampliar los estudios y analizar esta situación con detenimiento.

CONCLUSIONES

La presente revisión proporciona evidencia de que la implementación del concepto de biorrefinería en países con gran potencial de producir biomasa residuales es una excelente alternativa para valorizar subproductos agrícolas y agroindustriales y así dinamizar las cadenas de valor. Por otro lado, los subproductos de cacao son una materia prima atractiva como fuente de compuestos bioactivos, nutraceuticos y productos energéticos que tienen gran demanda en el mercado nacional e internacional. La implementación de biorrefinerías debe ser vista como una oportunidad importante para apalancar el desarrollo económico, mitigar el cambio climático y mejorar la calidad de vida de millones de personas.

REFERENCIAS

1. Aristizábal, C. (2019). Aplicación del concepto de biorrefinería a la pulpa de café, mediante extracción fitoquímica y procesos termoquímicos, para la obtención de productos de alto valor agregado. (Master's thesis, Instituto Tecnológico Metropolitano, Facultad de Ingeniería).

2. Arlorio, M., Coisson, J., Restani, P., Martelli, A. (2001). Characterization of pectins and some secondary compounds from *Theobroma cacao* hulls. *Journal of Food Science*, 66(5), 653-656.
3. Azmir, J., Zaidul, I., Rahman, M., Sharif, K., Mohamed, A., Sahena, F., ... Omar, A. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.
4. Barišić, V., Stokanović, M. C., Flanjak, I., Doko, K., Jozinović, A., Babić, J., . . . Ačkar, Đ. (2020). Cocoa shell as a step forward to functional chocolates-bioactive components in chocolates with different composition. *Molecules Basel, Switzerland*, 25(22).
5. Berntsson, T., Sandén, B. A., Olsson, L., & Åsblad, A. (2012). What is a biorefinery?. Disponible en http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/185710/local_185710.pdf
6. Burgos, G., & Jaramillo, L. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad Ciencias Químicas).
7. Cádiz-Gurrea, M. D. L. L., Fernández-Ochoa, Á., Leyva-Jiménez, F. J., Guerrero-Muñoz, N., Villegas-Aguilar, M. D. C., Pimentel-Moral, S., ... & Segura-Carretero, A. (2020). LC-MS and Spectrophotometric Approaches for Evaluation of Bioactive Compounds from Peru Cocoa By-Products for Commercial Applications. *Molecules*, 25(14), 3177.
8. Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 172-184.
9. Cortés, M. G., Gallo, L. C., Carvajal, Y. A., & Suárez, E. G. (2014). La integración de procesos en el esquema de una biorrefinería. *Afinidad*, 71(568).
10. Dahiya, S., Kumar, A. N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018). Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 248, 2-12.
11. de Armas-Martínez, A. C., Morales Zamora, M., Albornas Carvajal, Y., & González Suárez, E. (2019). Proyección de una industria azucarera para transformarse en una biorrefinería a partir de biocombustibles de segunda y tercera generación. *Tecnología Química*, 39(3), 489-507.
12. Desniorita, Nazir, N., Novelina, & Sayuti, K. (2019). Sustainable design of biorefinery processes on cocoa pod: Optimization of pectin extraction process with variations of pH, temperature, and time. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(6), 2104-2113.
13. Esquivel-Hernández, D. A., Ibarra-Garza, I. P., Rodríguez-Rodríguez, J., Cuéllar-Bermúdez, S. P., Rostro-Alanis, M. D. J., Alemán-Nava, G. S., ... & Parra-Saldívar, R. (2017). Green extraction technologies for high-value metabolites from algae: a review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 11(1), 215-231.
14. Fajardo, L., Viera, Y., Rosabal, U., Rodríguez, S., Guardia, Y., & Morales, G. (2018). Tamizaje fitoquímico, control de calidad y actividad antibacteriana del clon UF-650 en los extractos de *Theobroma cacao* L. (cacao). *Revista Cubana De Plantas Medicinales*, 23(1).
15. Fedebiocombustibles, "Estadísticas. Alcohol carburante (etanol) y biodiesel," 2019. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/>.
16. Fedecacao. (2020). Cadena productiva del cacao en Colombia. Disponible en https://www.fedecacao.com.co/portal/images/Cartilla_Cadena_productiva_de_cacao_analisis_Final_04_FINAL_26012020.pdf?fbclid=IwAR2LW

- ky_hGKZYuXwWEBSFHRyGLmfNHXocJimmy
AMC5cHThFNw_7Xv4mFwUbc
17. Gabbay, T., Silva da Costa, R., Aliakbarian, B., Casazza, A. A., Perego, P., Pinheiro Arruda, M. S., ... & Ribeiro Costa, R. M. (2019). Bioactive compounds and antioxidant potential for polyphenol-rich cocoa extract obtained by agroindustrial residue. *Natural product research*, 33(4), 589-592.
 18. Ghysels, S., Acosta, N., Estrada, A., Pala, M., De Vrieze, J., Ronsse, F., & Rabaey, K. (2020). Integrating anaerobic digestion and slow pyrolysis improves the product portfolio of a cocoa waste biorefinery. *Sustainable Energy & Fuels*, 4(7), 3712-3725.
 19. Gómez Hoyos, C., Mazo Márquez, P., Penagos Vélez, L., Serpa Guerra, A., Eceiza, A., Urbina, L., . . . Zuluaga, R. (2020). Cocoa shell: An industrial by-product for the preparation of suspensions of holocellulose nanofibers and fat. *Cellulose*, 27(18), 10873-10884.
 20. Goude, K., Adingra, K., & Gbotognon, O. (2019). Biochemical characterization, nutritional and antioxidant potentials of cocoa placenta (*Theobroma cacao* L.). *Annals. Food Science and Technology*, 20(3).
 21. Greenwood, B. (1965). Utilisation of cocoa by-products. *Food Manufacture*, 40(5), 52-56
 22. Grillo, G., Boffa, L., Binello, A., Mantegna, S., Cravotto, G., Chemat, F., ... & Telysheva, G. (2019). Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors. *Food Research International*, 115, 200-208.
 23. Herrero, M., Castro-Puyana, M., Mendiola, J. A., & Ibañez, E. (2013). Compressed fluids for the extraction of bioactive compounds. *TRAC Trends in Analytical Chemistry*, 43 (2), 67-83.
 24. Howlett, V.A. Betteridge, M. Champ, S.A.S. Craig, A. Meheust, J.M. (2010). The definition of dietary fiber – discussions at the Ninth Vahouny Fiber Symposium: Building scientific agreement. *Food & Nutrition Research*, 54 (3) (2010), pp. 112-129.
 25. Jokić, S., Gagić, T., Knez, Ž., Šubarić, D., & Škerget, M. (2018). Separation of active compounds from food by-product (cocoa shell) using subcritical water extraction. *Molecules*, 23(6), 1408.
 26. Laconi, E. B., & Jayanegara, A. (2015). Improving nutritional quality of cocoa pod (*Theobroma cacao*) through chemical and biological treatments for ruminant feeding: In vitro and in vivo evaluation. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 28(3), 343-350.
 27. Mancini, G., Papirio, S., Lens, P. N. L., & Esposito, G. (2016). Effect of N-methylmorpholine-N-oxide pretreatment on biogas production from rice straw, cocoa shell, and hazelnut skin. *Environmental Engineering Science*, 33(11), 843-850.
 28. Mariatti, F., Gunjević, V., Boffa, L., & Cravotto, G. (2021). Process intensification technologies for the recovery of valuable compounds from cocoa by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 68, 102601.
 29. Martin, M., Ramos, S., Mateos, R., Granado Serrano, A. B., Izquierdo-Pulido, M., Bravo, L., & Goya, L. (2008). Protection of human HepG2 cells against oxidative stress by cocoa phenolic extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(17), 7765-7772.
 30. Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., Figueroa, J., Pérez, J., Viuda, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) co-products. *Food Res Int.* 49(1):39-45.
 31. Martínez-Pinilla, E., Oñatibia-Astibia, A., & Franco, R. (2015). The relevance of theobromine for the beneficial effects of cocoa consumption. *Frontiers in pharmacology*, 6, 30.
 32. Mazzutti, S., Rodrigues, L. G. G., Mezzomo, N., Venturi, V., & Ferreira, S. R. S. (2018). Integrated green-based processes using supercritical CO₂ and pressurized ethanol

- applied to recover antioxidant compounds from cocoa (*Theobroma cacao*) bean hulls. *The Journal of Supercritical Fluids*, 135, 52-59.
33. Mitra, M., & Mishra, S. (2019). Multiproduct biorefinery from *Arthrospira* spp. towards zero waste: Current status and future trends. *Bioresource Technology*, 291.
 34. Molino, A., Mehariya, S., Di Sanzo, G., Larocca, V., Martino, M., Leone, G. P., Marino, T., Chianese, S., Balducci, R., & Musmarra, D. (2020). Recent developments in supercritical fluid extraction of bioactive compounds from microalgae: Role of key parameters, technological achievements and challenges. *Journal of CO₂ Utilization*, 36, 196–209.
 35. Nazaruddin, R., Seng, L. K., Hassan, O., & Said, M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 87-94.
 36. Okiyama, D. C., Soares, I. D., Cuevas, M. S., Crevelin, E. J., Moraes, L. A., Melo, M. P., ... & Rodrigues, C. E. (2018). Pressurized liquid extraction of flavanols and alkaloids from cocoa bean shell using ethanol as solvent. *Food research international*, 114, 20-29.
 37. Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Jokić, S., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., ... Pavlović, N. (2018). Cocoa shell: A by-product with great potential for wide application. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(6).
 38. Prabhakaran, K. (2010). Cocoa (*Theobroma cacao* L.). In: *The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World*, pp. 131–180.
 39. Pylypenko, D. (2020). Foreword: Theory and Practice in Waste Management Processes and Alternative Energy Developments in Connection with Agribusiness Growth and Prospects. *Industrial Engineering and Management Systems*, 19(1), 1-2.
 40. Ribas, M. C., Adebayo, M. A., Prola, L. D. T., Lima, E. C., Cataluña, R., Feris, L. A., ... Calvete, T. (2014). Comparison of a homemade cocoa shell activated carbon with commercial activated carbon for the removal of reactive violet 5 dye from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 248, 315-326.
 41. Rincón, J., Durán, D., Quintero, O., Duarte, C., Guevara, P., Velásquez, M. (2018). Disponibilidad de Biomasa residual y su potencial para la producción de Biogás en Colombia. Disponible en <http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/2-compressed.pdf>
 42. Panak, J., Ačkar, Đ., Jokić, S., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., ... Pavlović, N. (2018). Cocoa shell: A by-product with great potential for wide application. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(6).
 43. Sarmiento, J. (2019). *Evaluación del uso de la cáscara de cacao como sustituto parcial de la matriz polimérica en la obtención de espumas de poliuretano* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
 44. Tamkut' e, L., Liepuoniūt' e, R., Pukalskien' e, M., & Venskutonis, P. R. (2020). Recovery of valuable lipophilic and polyphenolic fractions from cranberry pomace by consecutive supercritical CO₂ and pressurized liquid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 159.
 45. Toma, S., & Săseanu, A. (2020). Chocolate, a global business. *New Trends in Sustainable Business and Consumption*, 1233
 46. Trognitz, B., Scheldeman, X., Hansel-Hohl, K., Kuant, A., Grebe, H., & Hermann, M. (2011). Genetic population structure of cacao plantings within a young production area in Nicaragua. *PloS one*, 6(1).
 47. Vásquez, Z. S., de Carvalho Neto, D. P., Pereira, G. V., Vandenberghe, L. P., de Oliveira, P. Z., Tiburcio, P. B., ... & Soccol, C. R. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste

management: A review. *Waste management*, 90, 72-83.

48. Villamizar-Jaimes, A. R., & López-Giraldo, L. J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75-83.
49. Villanueva, M. E. (2020). Revisión de Literatura: Alimentos funcionales en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles y propuesta de elaboración de chocolate funcional en la EAP, Zamorano. (Bachelor's thesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano).
50. Wong, W.H., Lee, W.X., Ramanan, R.N., Tee, L.H., Kong, W.K., Galanakis, C.M., Sun, J., Prasad, K.N., 2015. Two level half factorial design for the extraction of phenolics, flavonoids and antioxidants recovery from palm kernel by-product. *Ind. Crops Prod.* 63, 238–248.

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA TECNOLÓGICA EN AMBIENTE WEB DENOMINADA IBANASCA, COMO APOYO PARA LA FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DEL ALGODÓN Y MAÍZ

Luis Alberto Nuñez Leal

Ingeniero Agronomo, Instituto Tolimense de Formación Técnica Profesional ITFIP, Docente Ocasional, Grupo de investigación BIOITFIP, Espinal, Tolima, Colombia.
lnunez08@itfip.edu.co

RESUMEN

Uno de los sectores con mayor relevancia e importancia es el sector productivo, ya que contribuye al desarrollo económico del país. Teniendo en cuenta lo anterior surge la necesidad de investigar los procesos para realizar la fertilización del algodón y maíz, productos que se cultivan en grandes cantidades en Colombia; indagando principalmente como la tecnología apoya estos procesos, en donde se pudo corroborar que en Colombia no se evidencia una plataforma que sirva de apoyo a los agrónomos para la realización de planes de fertilización, permitiendo realizar este proyecto que tiene como objetivo el desarrollo de una plataforma web denominada IBANASCA donde los estudiantes de agronomía podrán tener acceso con el propósito de que con apoyo del docente los alumnos realicen los cálculos necesarios para la fertilización de manera automatizada, para brindar el producto en el segundo campo de acción que es el de las agremiaciones y cultivadores del país.

Palabras Claves:

Algodón, Fertilización, ibanasca, maíz, plataforma.

ABSTRACT

One of the most relevant and important sectors is the productive sector, since it contributes to the economic development of the country. Taking into account the above, the need arises to investigate the processes to carry out the fertilization of cotton and corn, products that are grown in large quantities in Colombia; Mainly investigating how technology supports these processes, where it was possible to corroborate that in Colombia there is no evidence of a platform that serves as support to agronomists for carrying out fertilization plans, allowing this project to be carried out, which aims to develop a platform website called IBANASCA where agronomy students will be able to have access with the purpose that, with the support of the teacher, the students can carry out the necessary calculations for fertilization in an automated manner, to provide the product in the second field of action, which is that of the associations and growers of the country.

Keywords: Cotton, Fertilization, ibasca, corn, platform.

INTRODUCCIÓN

El principal enfoque de esta investigación fue, el desarrollo de un aplicativo en ambiente web para mejorar el proceso de cálculo para la fertilización del cultivo semestral de clima cálido específicamente el algodón y maíz producto con mayor relevancia a nivel regional.

Este aplicativo estará dirigido a usuario que necesiten realizar el procesamiento de datos para obtener planes de fertilización para la aplicabilidad al suelo y brindarles los nutrientes óptimos para su desarrollo. Para el uso de la herramienta web, se debe tener en cuenta la información que es suministrada por el estudio previo del suelo a cultivar, para que los resultados sean confiables y sea una herramienta de ayuda al ingeniero agrónomo en su labor y sirva de herramienta academia del instituto tolimese de formación técnica profesional ITFIP, en donde los estudiantes de la agronomía podrán tener acceso a este, con el propósito de que con apoyo del docente los alumnos realicen los cálculos de los nutrientes necesarios para la fertilización de manera automatizada.

El aplicativo brindara la facilidad al agrónomo de interpretar los resultados del procesamiento de datos de los análisis del suelo permitiéndole verificar e informar desde cualquier ubicación geográfica en la que se encuentre, información como: las cantidades de nutrientes, estabilizantes y fertilizantes necesarios para el cultivo.

Para el desarrollo de esta investigación se adopta la metodología ágil denominada SCRUM, “es una de las metodologías ágiles más populares. Es una metodología de adaptación, iterativa, rápida, flexible y eficaz, diseñada para ofrecer un valor significativo de forma rápida en todo el proyecto. Scrum garantiza transparencia en la comunicación y crea un ambiente de responsabilidad colectiva y de progreso continuo”. (SCRUMstudy™, 2013)

Se usará la metodología Scrum adecuada para trabajar de manera colaborativa, ofreciendo un producto de excelente calidad y se empleará la metodología de investigación, para analizar y obtener información con la cual se puedan fundamentar todo el proceso de desarrollo de IBANASCA.

A continuación, se presentará de manera detallada la problemática, los objetivos a alcanzar en esta

investigación, la justificación del por qué es importante desarrollar el producto, el proceso de desarrollo, Estado del Arte, interfaces de usuario, Factibilidad de recursos y viabilidad y como ultimo parámetro los resultados y conclusiones.

ESTADO DEL ARTE

Para fundamentar el conocimiento y realizar el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta el resultado de otras investigaciones similares ya finalizadas, que brindan solución a una necesidad, dentro de los cuales se encontraron:

SITIO WEB Y APLICACIÓN MÓVIL DE CONTROL DE USO DEL SUELO A TRAVÉS DEL MAPA INTERACTIVO DE LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO, SEGUNDA FASE

Este trabajo está fundamentado en el proyecto de estadías que realizaron tres alumnos del programa educativo de Ingeniería en Tecnologías de la Información en la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero en el periodo de Enero – Abril de 2017, “*el trabajo se ha reestructurado en una segunda fase dándole continuidad al proyecto de investigación realizado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Pecuarias y Agrícolas del Estado de Guerrero, que para obtener el tipo de tratamiento denominado paquete tecnológico de fertilización en los terrenos de siembra en la región norte del estado de guerrero, se aplica la fórmula 90-60-00 del inifap por medio de tres tablas, Con esta información tecnológica y la fórmula de fertilización recomendada, (90-60-00), se sugiere la fuente y cantidades de nitrógeno y fosforo a utilizar. La fuente de nutrientes está en función del Programa de Fertilizantes, para nitrógeno, se dispuso de sulfato de amonio (21 % N) o fosfonitrato (33 % N, 3 % P₂O₅) y para fosforo, fosfato diamónico (18 % N, 46 % P₂O₅)."* (León Castrejón Andrés, Septiembre, 2019).

SMART FERTILIZER MANAGEMENT

“SMART Fertilizer Management Proporciona herramientas de gestión de fertilizantes que los agricultores y agricultores pueden utilizar para lograr un rendimiento mejor y de alta calidad y disminuir efectivamente sus costos de producción.

Con el uso adecuado de uno de los recursos más importantes: los fertilizantes, podemos revivir la industria de la agricultura y lograr un medio ambiente más saludable.

Nuestra plataforma de software **SMART** ha sido probada y utilizada profesionalmente y ha demostrado su eficacia para producir mejores rendimientos de los cultivos, reducir los costos y ayudar a minimizar la contaminación ambiental”. (SMART, 2014)

“FERTIDIF” SOFTWARE PARA LA PLANIFICACIÓN DE FERTILIZACIÓN AGRÍCOLA BASADO EN OPTIMIZACIÓN LINEAL CON COSTOS DIFUSOS

El proyecto denominado **“FERTIDIF” SOFTWARE PARA LA PLANIFICACIÓN DE FERTILIZACIÓN AGRÍCOLA BASADO EN OPTIMIZACIÓN LINEAL CON COSTOS DIFUSOS**, investigación realizada por los autores, Esmelin Niquin Alayo, Edmundo Vergara-Moreno, Marks Calderón Niquín, Universidad Nacional de Trujillo, ubicado en Lima- Perú y publicado el 11 de Marzo de 2018 tiene como objetivo, *“Desarrollar un software para determinar un plan de fertilización óptima de un cultivo, accesible para el usuario.*

FERTIDIF permitirá determinar la cantidad de cada tipo de insumo que se debe incluir en un proceso de fertilización agrícola, de manera tal que satisfaga los requerimientos nutricionales de un determinado cultivo y con la ventaja de generar un menor costo”. (Niquin-Alayo, 2018)

APLICACIÓN MOVIL “YARA CHECKIT”

“Los usuarios pueden ver fotos de deficiencias en alta resolución, filtrarlos por síntomas, la ubicación de los síntomas en la planta, o por su supuesta causa. Una vez que se haya establecido la causa de los síntomas, la aplicación da la información de cómo la deficiencia influye en el cultivo, que tipo de suelo sean los más aptos para este tipo de deficiencia y cuáles son los factores que empeoran la situación. CheckIT da también una recomendación de fertilización para tratar la carencia ya identificada, igual que productos alternativos que permiten tratamientos preventivos para la temporada siguiente.”

La aplicación se ha personalizado y localizado para el cultivo y el idioma del país en cuestión. CheckIT ha sido desarrollado para funcionar en

lugares rurales con baja intensidad de la señal. Esto permite que los agricultores puedan tener análisis y recomendación in situ y por pedido para ayudarle a mejorar la calidad y aumentar los rendimientos. CheckIT también puede usar la ubicación del celular para proporcionarle información de contacto para la oficina de Yara más cercana.” (grows, 2020)

FERTILCACAO “SOFTWARE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FERTILIZACIÓN DE LOS SUELOS: GREMIO CACAO CULTORES”

Los Autores, Jessica Lorena Leal Pabóna, Judith del Pilar Rodríguez Tenjob y Oscar Alberto Gallardo Pérez, pertenecientes al Grupo de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de Software – GIDIS y la Universidad Francisco de Paula Santander, ubicada en San José de Cúcuta, Colombia, desarrollando el proyecto denominado **FERTILCACAO “SOFTWARE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FERTILIZACIÓN DE LOS SUELOS: GREMIO CACAO CULTORES”**, hacia el año **2019**, plateando como objetivo *“Desarrollar un software denominado Fertilcacao, con un módulo para el cacao cultor, que automatice la gestión de la fertilización del suelo y así dar mayor rendimiento en el proceso de fertilización de los suelo.* (Jessica Lorena Leal Pabóna, 2019)

NUTRICALC 2.0 SYSTEM FOR ESTIMATING NUTRIENT BALANCE AND FERTILIZER RECOMMENDATIONS FOR EUCALYPT PLANTATIONS

El proyecto denominado **“NUTRICALC 2.0 SYSTEM FOR ESTIMATING NUTRIENT BALANCE AND FERTILIZER RECOMMENDATIONS FOR EUCALYPT PLANTATIONS “**, investigación realizada por los Autores, **NAIRAM FELIX DE BARROS, ROBERTO FERREIRA DE NOVAIS, JOSE TEXIXEIRA, ELPIDIO I FERNANDEZ FILHO**, provenientes de Brasil, desarrollando un software compatible con IBM-PC/AT, usando MS DOS 4.0, para estimar el balance nutricional y recomendar abono mineral para el cultivo de eucalipto.”

NUTRICALC, es un sistema desarrollado para calcular el balance de nutrientes del ecosistema y recomendar abonamiento para los plantíos de eucalipto, con base en análisis del suelo y/o contenido de nutrientes de la población de eucaliptos y productividad esperada. La base de

datos que permitió el desarrollo de NUTRICALC es resultante de varios años de trabajo de investigación, conducidos en la UFV y en empresas asociadas a las (Sociedades de investigación Florestais). El programa informa la cantidad, la época y la intensidad del abono y bajo cuales condiciones de campo aplicar el fertilizante”. (NAIRAM FELIX DE BARROS, 2019)

CRIG: UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA CÁLCULOS DE FERTIRRIEGO

Desarrollado hacia el año 2016, denominado “CRIG: Una aplicación móvil para cálculos de fertirriego”, *objetivo es el desarrollo de una aplicación móvil que ayude a realizar el cálculo del aporte de fertilizantes y riego para todos los cultivos en diferentes sistemas de cultivo. Este sistema permitirá a técnicos, agricultores y estudiantes aprovechar mejor los recursos existentes para una aplicación adecuada de nutrientes y agua.*

En síntesis, se concluye:

“La herramienta desarrollada proporciona información sobre el cálculo del fertirriego en función de las condiciones iniciales de calidad de agua de riego y equilibrio teórico requerido.

Esta herramienta permite optimizar el aporte de fertilizantes al sistema, con un análisis profundo de las entradas y salidas de este, dando información al usuario de cuáles deben ser las cantidades de abono, del comportamiento del agua de riego y de la absorción por parte del cultivo. El DSS fue desarrollado usando una metodología orientada a objetos, lo que facilita la reutilización, modificación o extensión de cada uno de sus componentes.” (A. Pérez-Castro, 2016).

Para concluir, las investigaciones y posterior proyectos culminados presentados anteriormente que fueron desarrollados por diversos autores, en distintas partes de Colombia y el mundo, cuyo objetivo está orientado en la creación de sistemas con los cuales se mejoren o apoyen el proceso de fertilización de los cultivos de algodón y maíz, por ello, se desarrolla IBANASCA una plataforma en ambiente web creada por estudiantes del ITFIP del Espinal-Tolima con el propósito de ayudar a los agrónomos por intermedio de herramientas tecnológicas en el campo agrícola

mejorando así los procesos que se deben realizar de manera tradicional y tardan demasiado tiempo, aumentando así la productividad y aportando soluciones innovadoras.

RESULTADOS

- Apoyar la ley interpuesta por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones es un ministerio de Colombia de lineamiento cero papeles.
- El desarrollo de la plataforma denominada IBANASCA herramienta que permitirá mejorar el proceso de fertilización de cultivos específicamente el algodón y el maíz.
- Herramienta tecnológica como un objeto virtual de aprendizaje para los estudiantes del ITFIP
- Ofrecer un producto orientado a los agrónomos de los diversos lugares del municipio del Tolima y sus alrededores, facilitando la obtención de la cantidad de fertilizantes necesarios para el cultivo de algodón y maíz de manera eficiente a nivel regional.
- Entrega de prototipos funcionales con los cuales se presenta de manera didáctica el funcionamiento del software
- Planificación de la Proyección anual para mantener el software en funcionamiento
- Almacenamiento de información en la base de datos sin inconsistencias y redundancia de datos para la plataforma.
- Monografía completa del software IBANASCA,
- Manual de Usuario del software.

CONCLUSIONES

Durante el proceso de investigación se evidencia que, actualmente en el mercado colombiano no se usan herramientas tecnológicas con las cuales se mejoren los procesos de obtención de planes de fertilización con los cuales los ingenieros agrónomos realicen de manera efectiva este trabajo.

El implementar la metodología desarrollo SCRUM e investigativa, se logra efectuar el objetivo principal cumpliendo los lineamientos de usabilidad y accesibilidad, y a su vez cumpliendo con todos los requerimientos funcionales definidos por el usuario final, entregando software de excelente calidad.

IBANASCA es una aplicativo en ambiente web innovadora que pretende optimizar los procesos de fertilización específicamente cultivos de algodón y maíz, dos de los productos Colombianos más destacados e importantes y a su vez que los estudiantes de agronomía del instituto tolimense de formación técnica profesional ITFIP prueben la herramienta como un objeto virtual de aprendizaje y se pueda ofertar en un futuro a las agremiaciones y cultivadores del país, contando con un espacio de información actualizada de las plagas existentes para que se tomen las medidas necesarias en caso de que se presenten en sus cultivos.

Cabe mencionar que la transferencia tecnológica, es indispensable para toda entidad que presten diversos servicios con la finalidad de satisfacer al consumidor final y generar con ello incrementos en sus ingresos, mejoras continuas y crecimiento como empresa consolidándose como las empresas líderes en el mercado e impulsando el desarrollo de herramientas con las cuales se cumplan las políticas cero papeles interpuestas por el Gobierno Digital y el Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

REFERENCIAS

- A. Pérez-Castro, J. S. (2016). CRIG: Una aplicación móvil para cálculos de fertirriego . *repositorio ual*.
- grows, Y. K. (2020). *Yara CheckIT*. Obtenido de Yara CheckIT: <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/herramientas-y-servicios/yara-checkit/#:~:text=Yara%20CheckIT%20es%20una%20aplicaci%C3%B3n,y%20r%C3%A1pida%20de%20posibles%20carencias>.
- Jessica Lorena Leal Pabón, J. d. (2019). *Fertilcacao: software para la automatización*

del proceso de fertilización de los suelos gremio cacao cultores . *fesc.. Mundo fesc*, vol. 8, no. 16, pp. 25-29, 2018

- León Castrejón Andrés, O. L. (Septiembre, 2019). Sitio web y aplicación móvil de control de uso del suelo a través del mapa interactivo. *Revista de Simulación Computacional*, Vol.3 No.9 1-16.
- NAIRAM FELIX DE BARROS, R. F. (2019). NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto . *revistas uach c*, 129.
- Niquin-Alayo, E. V.-M.-N. (2018). FERTIDIF: software para la planificación de fertilización agrícola basado en optimización lineal con costos difusos. . *SciELO, Scientia Agropecuaria*, 9(1), 103-112.
- SCRUMstudy™. (2013). *Una guía para el Conocimiento de SCRUM (GUÍA SBOK™)*.
- Sistema Único de información Normativa* . (s.f.). Obtenido de Sistema Único de información Normativa : <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1374804>
- SMART. (2014). *SMART Fertilizer Management*. Obtenido de SMART Fertilizer Management: <https://www.smart-fertilizer.com/>

IMPLEMENTACIÓN DE UN GALPÓN DIGITAL

A DIGITAL SHED'S IMPLEMENTATION

Sandra Liliana Castellanos Franco ⁽¹⁾ Keira Nicol Galvis Neira ⁽²⁾ Briyith Stefany Galvis Neira ⁽³⁾

1. Ingeniera Electrónica, Especialista en Informática Educativa, SENA Tolima. Facilitador Tecnoacademia. Semillero IDEATEC Grupo de investigación GIDIS, Ibagué, Colombia.
scastellanosf@sena.edu.co
2. Aprendiz Tecnoacademia. SENA Tolima. Semillero IDEATEC Grupo de investigación GIDIS, Ibagué, Colombia.
keiranicollgalvisneira@gmail.com
3. Aprendiz Tecnoacademia. SENA Tolima. Semillero IDEATEC Grupo de investigación GIDIS, Ibagué, Colombia.
Correo electrónico

RESUMEN

La cría y engorde de pollos es una actividad económica común en las fincas del departamento del Tolima, constituye una fuente de alimento para su sustento diario y proporciona ingresos adicionales a las familias campesinas. Sin embargo, a menudo se enfrentan a desafíos en la implementación de prácticas que garanticen una producción sostenible y rentable. En este contexto, se ha identificado la necesidad de automatizar los galpones de pollos, para mejorar las condiciones de crecimiento y engorde de los animales, reducir la carga de trabajo de los campesinos y aumentar la productividad.

En este artículo se describe detalladamente el proceso de automatización de un galpón de pollos en una finca de la vereda Santa Helena del municipio de Anzoátegui - Tolima, implementando tecnologías emergentes de la Industria 4.0 como la robótica, el modelado 3D y el Internet de las Cosas (IoT) en los procesos de automatización.

Palabras Claves:

Avicultura, Galpón Digital, Sistema Automático, Industria 4.0, Internet de las cosas (IoT).

ABSTRACT

The breeding and fattening of chickens is a common economic activity on farms in the department of Tolima, it constitutes a source of food for daily sustenance and provides additional income to peasant families. However, they often face challenges in implementing practices that ensure sustainable and profitable production. In this context, the need to automate chicken sheds has been identified to improve the growth and fattening conditions of the animals, reduce the workload of farmers and increase productivity.

This article describes in detail the automation process of a chicken shed on a farm in the Santa Helena village of the municipality of Anzoátegui - Tolima, implementing emerging technologies of Industry 4.0 such as robotics, 3D modeling and the Internet of Things. (IoT) in automation processes.

Keywords: Poultry, Digital Shed, Automatic System, Industry 4.0, Internet of Things

INTRODUCCIÓN

La producción avícola es un sector económico muy importante en muchos países, ya que representa una fuente de ingresos significativa para un sinnúmero de familias que dependen directa o indirectamente de ello. En Colombia, el sector avícola es uno de los más importantes en términos de producción y exportación, representando el 4,5% del PIB agrícola del país. En los últimos años, la producción avícola en Colombia ha experimentado un crecimiento sostenido, lo que la convierte en una actividad con gran potencial económico. (FENAVI, 2022)

El departamento del Tolima, es uno de los pioneros en cuanto a producción de pollos para consumo, junto con Huila, Cundinamarca y Boyacá alcanzando una producción de 389.917 Toneladas en 2020. (AGROSAVIA, 2022) En la zona rural del departamento, la cría de pollos se realiza, en su mayoría, en pequeños espacios acondicionados para ello, tales como galpones o cobertizos, donde las aves permanecen sueltas y sin ningún manejo especializado. (Calderon J., 2010 como citó Castellanos, 2021) Estos pequeños productores a menudo se enfrentan a desafíos en la implementación de prácticas que garanticen una producción sostenible y rentable. En este contexto, se ha identificado la necesidad de automatizar un galpón de pollos, para mejorar las condiciones de crecimiento y engorde de los animales, reducir la carga de trabajo de los campesinos y aumentar la productividad.

Entre las principales problemáticas que se presentan en la producción de pollos se encuentran: el mantenimiento de las condiciones de temperatura, humedad y ventilación dentro del galpón (Leon L. Ryan A., 2021), la garantía de suministro de alimento y agua de manera permanente, el control de plagas debido a los desechos orgánicos generados por los pollos, y el mantenimiento de las condiciones de sanidad dentro del galpón. (Castillo G., 2019) Todas estas problemáticas pueden tener un impacto significativo en la salud de los animales, la calidad del producto y, en última instancia, en la rentabilidad de los productores.

Este proyecto busca abordar estas problemáticas y mejorar las condiciones de producción avícola. Al automatizar el galpón, se garantiza una temperatura y humedad adecuadas, así como una ventilación óptima, lo que favorece el crecimiento de los pollos.

Además, un sistema automatizado de suministro de alimento y agua asegura que los animales tengan acceso constante a estos recursos esenciales, lo que reduce la carga de trabajo de los campesinos y mejora la productividad. El control automatizado de la temperatura y la humedad también reduce la necesidad de intervención humana constante en el galpón, lo que puede reducir la propagación de enfermedades y plagas. En general, la automatización del galpón puede mejorar la salud de los animales, la calidad del producto y la rentabilidad de los productores avícolas. (Galeano, 2018)

ESTADO DEL ARTE

La automatización de procesos de producción de alimentos es uno de los campos que muestran más desarrollo tecnológico en la actualidad, con ello se busca mejorar la eficiencia de la producción, reducir los costos operativos, mejorar la calidad del producto final y reducir la carga de trabajo del personal, lo que puede resultar en un aumento en la rentabilidad de las actividades de producción. (Rendon, Morales, & Guillén, sf)

En México, Castillo, Cruz, Gonzaga y Luna (2019). Desarrollaron una investigación titulada “Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en una granja avícola” en la cual, plantearon como objetivo mejorar las condiciones ambientales en la planta, reducir significativamente la mortalidad de los animales y aumentar la producción, mediante la implementación de un sistema automático para el monitoreo y control de la temperatura y la humedad. El proyecto se desarrolló con éxito y logró resultados satisfactorios, reduciendo el índice de mortalidad del 3% (con el sistema manual) al 0.72% (con el sistema automatizado), adicional a ello, lograron concluir que, aunque el costo del proyecto es considerable, el sistema instalado permitió reducir enormemente los costos-tiempos de producción y garantiza un producto de mayor calidad, por lo cual la inversión es fácilmente recuperable, debido al incremento en las ganancias.

Otra investigación realizada en Ecuador por (Allauca & Carrillo, 2012) propuso la

automatización de un galpón de pollos, para evitar cambios bruscos de temperatura y humedad relativa en el ambiente, a través de la integración de un PLC como dispositivo de control. Los resultados obtenidos mostraron una eficiencia del 97.7% demostrando que el sistema presenta tiempos de respuesta rápidos para alcanzar y mantener el rango de temperatura programado, mejorando los niveles de producción en el galpón.

Por su parte, en Colombia, Coy & Daza (2019). Llevaron a cabo el “Desarrollo del control automático de temperatura para un galpón de aves de corral en la avícola Opti Pollo” buscaron el desarrollo de un control automático de temperatura a bajo costo con el objetivo de aumentar la producción de pollos de engorde y mejorar las condiciones de salud y seguridad en el trabajo incrementando la calidad de vida del avicultor. Finalmente, se realizó la instalación de un sistema mecánico para el control de temperatura integrado con una interfaz de la visualización en Labview, concluyendo que la implementación del sistema facilitó el funcionamiento operativo del galponero lo que dio respuesta a las necesidades referidas por los trabajadores previamente encuestados.

También en Colombia, Galeano (2018), llevó a cabo un desarrollo enfocado a la automatización en el sector avícola para pequeños productores, con el objetivo de controlar el proceso de alimentación, atención, climatización y desarrollo de los animales, haciéndolo más preciso y efectivo. La implementación del sistema mostró una disminución de malos olores y la reducción de niveles de gases tóxicos gracias a la circulación de aire fresco dentro del galpón. Así mismo, los sistemas que proporcionan agua y comida, permitieron minimizar el estrés del ave, al disminuir el número de ingresos del galponero.

METODOLOGIA

De acuerdo con los objetivos planteados, el presente proyecto constituyó una investigación aplicada de carácter experimental, cuyos resultados se evaluaron de manera cuantitativa. El proyecto se desarrolló en de cuatro etapas: *Identificación de necesidades propias del galpón, Diseño e implementación de los sistemas automáticos,*

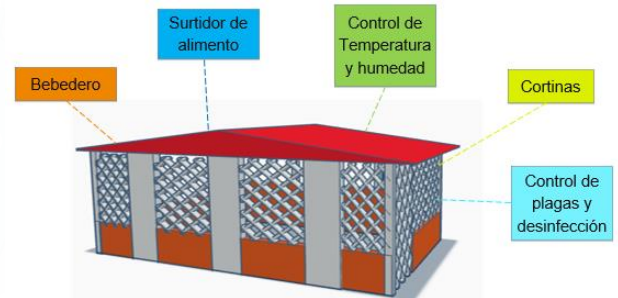
Prueba y validación de los sistemas automáticos instalados y Evaluación de la eficacia y rentabilidad del sistema automatizado. Para cada una de ellas se plantearon actividades específicas que de manera conjunta aportaron a la realización del proyecto.

Se identificaron tres problemáticas generales, en primer lugar, la falta de control a las condiciones de temperatura, humedad y ventilación dentro del galpón, como segunda medida, la deficiencia en suministro de alimento y agua, por último, la necesidad de mejorar las condiciones de sanidad dentro del galpón.

Dado el gran número de necesidades identificadas se planteó el desarrollo del proyecto en dos fases, en la primera fase se abordaron las necesidades existentes en cuanto a las condiciones de temperatura, humedad y ventilación dentro del galpón y el suministro de alimento y agua de manera permanente, para garantizar condiciones óptimas en el desarrollo y crecimiento de los pollos. En la segunda fase, se abordarán las condiciones de limpieza y sanidad requeridas para mantener la salud de los animales. La Figura 1 muestra los sistemas propuestos para dar solución a las diferentes problemáticas identificadas.

Figura 1.

Sistemas Automáticos a ser implementados



Para suplir las necesidades registradas, se planteó el diseño de tres sub-sistemas independientes controlados de manera centralizada con la tarjeta de desarrollo ESP32, este embebido fue seleccionado por su sencillez a la hora de programar y su compatibilidad con diferentes tecnologías.

Control de temperatura humedad y ventilación

Para este sistema se implementaron sensores de temperatura, humedad y detección de lluvias,

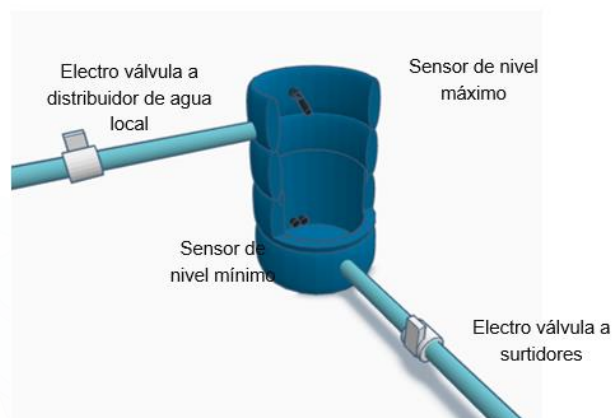
extractores de aire, bombillos de filamento y un sistema de cortinas automatizado. Con la lectura de los sensores se realiza un monitoreo remoto de las variables, esto permite mantener las condiciones ambientales ideales para el desarrollo saludable de los pollos, utilizando calefactores, ventiladores y cortinas automáticas que se abren o cierran de acuerdo con las condiciones climáticas.

Dispensación de agua y comida

Los dispensadores automáticos de agua integran la recolección de aguas lluvia y la distribución de agua limpia a los diferentes bebederos, implementando sensores de nivel en los tanques de almacenamiento y electroválvulas para el paso del líquido, la Figura 2 muestra el diseño realizado para los tanques de almacenamiento de aguas lluvias, que a su vez son surtidos por agua tratada, estos conectan directamente con las mangueras de distribución de agua dentro del galpón.

Figura 2.

Diseño surtidor de agua



Los dispensadores de alimento fueron diseñados y programados de manera que expendan la fórmula de concentrado a cada surtidor, teniendo en cuenta los sensores de proximidad que indican su nivel de llenado, para la circulación del producto se llevó a cabo el diseño de un tornillo sin fin acondicionado a la medida de las tuberías de transporte, como mecanismo de empuje se utilizó un servomotor de giro continuo. La Figura 3 muestra los diseños del sistema mecánico para la dispensación del alimento. En la Figura 4 se presenta el sistema mecánico ensamblado al surtidor de alimento.

Figura 3.

Diseños del sistema mecánico para dispensación de alimento

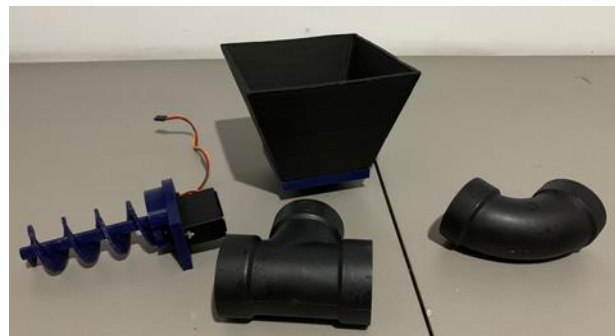


Figura 4.

Sistema mecánico ensamblado al surtidor de alimento



RESULTADOS

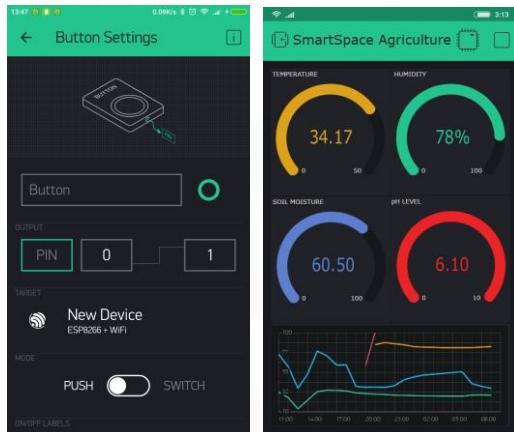
Se llevó a cabo la integración del sistema electrónico con la aplicación Blynk, lo que permitió el monitoreo de sensores y la activación de los diferentes actuadores de manera remota integrando tecnología IoT. En la Figura 5 se muestra la plataforma creada en la App.

El sistema diseñado cuenta con dos surtidores de alimento y agua que mantienen los suministros disponibles y frescos, así mismo, permite el monitoreo permanente y remoto de variables como la temperatura, la humedad del ambiente y la detección de lluvias con ello y la implementación de

calefactores, ventiladores y cortinas automáticas se consigue mantener las condiciones climáticas requeridas para que los pollos no sufran estrés durante su desarrollo.

Figura 5.

Diseño de la Aplicación en Blynk



CONCLUSIONES

La automatización de un galpón de pollos constituye una solución efectiva para mejorar la producción y reducir la carga de trabajo de los campesinos. Al implementar sistemas automatizados para el suministro de alimento y agua, el control de la temperatura, humedad y ventilación, y el monitoreo en tiempo real, se pueden mejorar las condiciones de crecimiento de los pollos y reducir los costos y el tiempo de trabajo manual.

La integración de tecnologías IoT para el monitoreo en tiempo real permite a los campesinos supervisar la producción y el cuidado de los pollos de manera más eficiente. Esto ayuda a identificar y solucionar problemas rápidamente, lo que mejora la productividad y reduce la pérdida de animales.

REFERENCIAS

AGROSAVIA. (2022). *Contexto de Cadena Avícola*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglefndmkaj/https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37016/Ve

r_Documento_37016.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Allauca, J., & Carrillo, M. (2012).

Automatización de un galpón de pollos de la avícola "Reina del Cisne" para evitar los cambios bruscos de temperatura y humedad relativa en el ambiente. Tesis de Pregrado, Ecuador. Obtenido de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2869/1/108T0048.pdf>

Calderon J., G. S. (2010). La avicultura familiar en el norte del Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 3(1), 64-67.

Castellanos, S. (2021). Diseño y Construcción de un prototipo de incubadora de Huevos de Ave de Corral como Proyecto de Investigación en la Extensión de la Tecnoacademia Nodo Tolima. 3, 79-88.

Castillo G., C. A. (2019). Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola. *RITI Journal*, 7(14), 122-136. doi:<https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.011>

Coy, S., & Daza, E. (2019). *Desarrollo del Control Automático de Temperatura para un Galpón de aves de corral en la Avícola OptiPollo*. Tesis de Pregrado, Universidad Santo Tomás, Bogotá. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21694>

FENAVI. (2022). *Agricultura en Cifras*. Obtenido de file:///D:/SENA/Tecnoacademia/2023/Investigacion/Galpon%20Digital/Bibliografia/Avicultura-en-Cifras-2022_16-11-2022.pdf

Galeano, Y. (2018). *Automatización de planta avícola*. Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13879/1/GaleanoMoyanoYeliKaterin2018.pdf>

- Leon R., G. S. (2021). Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura para un galpón de pollos de la Avicola Florian e Hijos S.A.C.: *INGnosis*, 7(2), 50-60. Obtenido de <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ingnosis/article/download/2416/1959>
- Rendon, A., Morales, A., & Guillén, I. (s.f.). La industria 4.0 y la industria alimentaria. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 894-911.

AVANCE EN LA UTILIZACIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE CACAO: PROTOTIPO DE SOLUCIONES ECOLÓGICAS DE EMPAQUE PARA LA INDUSTRIA DEL CHOCOLATE

ADVANCEMENT IN SUSTAINABLE UTILIZATION OF COCOA CROP RESIDUES: PROTOTYPE OF ECO-FRIENDLY PACKAGING SOLUTIONS FOR THE CHOCOLATE INDUSTRY

Angie Natalee Naveros Celis ⁽¹⁾, Helen Tatiana Cortés Ramírez, Heidy Rocío Ducuara

1. Msc. Ciencia y Tecnología Agroindustrial, GI Senagrotic, Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima – Tecnoparque Tolima. El Espinal - Tolima, Colombia. Experta de la línea de Biotecnología y Nanotecnología.
annaverosce@gmail.com

RESUMEN

El empaque de semilla de cacao procesada es un producto revolucionario que combina la sostenibilidad con la protección y realce de la calidad de las semillas. Fabricado a partir de vainas de cacao secas, este empaque 100% natural y respetuoso con el medio ambiente conserva el color natural de las vainas mediante métodos de fijación del color. Además, se ha desarrollado una preparación especial de cera de abejas y vaselina que actúa como una barrera protectora contra la humedad. El proceso de secado por convección forzada a una temperatura óptima de 50°C asegura la sequedad adecuada de las vainas sin comprometer su forma y textura. Con una resistencia mecánica destacada y la capacidad de resistir condiciones extremas de humedad y temperatura, este empaque garantiza la frescura y protección de las semillas de cacao procesadas. Es la opción ideal para la industria chocolatera en busca de una solución sostenible y de alta calidad.

Palabras Claves:

Empaque, Cacao, Sostenibilidad, Protección, Calidad.

ABSTRACT

The packaging of processed cocoa seeds is a revolutionary product that combines sustainability with the protection and enhancement of seed quality. Made from dried cocoa pods, this 100% natural and environmentally friendly packaging preserves the natural color of the pods through color-fixing methods such as flaming and scalding. Additionally, a special preparation of beeswax and petroleum jelly has been developed to act as a protective barrier against moisture. The forced convection drying process at an optimal temperature of 50°C ensures the proper dryness of the pods without compromising their shape and texture. With outstanding mechanical strength and the ability to withstand extreme conditions of humidity and temperature, this packaging guarantees the freshness and protection of processed cocoa seeds. It is the ideal choice for the chocolate industry seeking a sustainable and high-quality solution.

Keywords: Packaging, Cocoa, Sustainability, Protection, Quality.

INTRODUCCIÓN

La industria del chocolate, un sector en constante evolución, ha experimentado un creciente interés en la búsqueda de soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente para abordar los desafíos asociados con el empaque y la conservación de las semillas de cacao procesadas. En este contexto, el presente estudio aborda una innovadora iniciativa que se enfoca en la sostenibilidad y la calidad de los productos derivados del cacao.

El cacao, componente esencial en la fabricación del chocolate, ha sido objeto de estudio en este contexto, específicamente en lo que respecta al aprovechamiento de los residuos del cultivo de cacao, en particular las vainas de cacao secas. Estas vainas, antes consideradas residuos, se han convertido en el punto de partida para la creación de un empaque revolucionario que no solo preserva la calidad del cacao procesado, sino que también cumple con los criterios de sostenibilidad tan buscados en la actualidad.

Este artículo presenta un enfoque científico riguroso que se basa en una serie de pruebas exhaustivas y evaluaciones detalladas. Estas pruebas abarcan aspectos cruciales, como los métodos de secado, la temperatura óptima de secado, los métodos de fijación de color y la evaluación de recubrimientos. Los resultados de estas pruebas han sido determinantes para la creación de un empaque de vaina de cacao seca que reúne todas las características necesarias para su implementación en la industria chocolatera.

Se centra en la importancia de la sostenibilidad en la actualidad y cómo este prototipo de empaque no solo reduce el desperdicio de materiales, sino que también contribuye a la conservación de los recursos naturales al utilizar vainas de cacao como su principal materia prima. Además, se destaca su capacidad para preservar el color, el aroma y el sabor distintivos de las semillas de cacao procesadas, lo que garantiza una experiencia sensorial excepcional en los productos finales.

Asimismo, este artículo científico resalta el compromiso con la investigación y el desarrollo de soluciones ecológicas en el sector del chocolate, lo que representa un avance significativo hacia una producción más sostenible y responsable. El empaque de vaina de cacao seca se erige como un ejemplo tangible de cómo la ciencia y la innovación pueden contribuir de manera efectiva a la

consecución de prácticas empresariales más respetuosas con el medio ambiente.

ESTADO DEL ARTE

El presente estudio se enmarca en un contexto relevante y en constante evolución, donde el cacao (*Theobroma cacao* L.) desempeña un papel central como materia prima en la producción de una amplia variedad de productos alimenticios, incluyendo chocolates, pasteles y helados (Anvoh, Bi, & Gnakri, 2009).

El comercio mundial de productos primarios de cacao es de suma importancia para numerosos países en desarrollo, con una tendencia en aumento en la producción de este producto en los últimos años (Quintero R & Díaz Morales, 2004). Según datos de la FAO, entre 1994 y 2018, la producción de cacao en grano se distribuyó principalmente en África (67.1%), seguido de Asia (16.8%), América (14.9%) y Oceanía (1.2%) (FAOSTAT, 2018). No obstante, el cacao ha enfrentado desafíos considerables, incluyendo la presencia de enfermedades, especialmente fúngicas, que pueden resultar en pérdidas significativas, llegando a afectar hasta un 30% de la producción (Suárez & Hernández, 2010).

Dentro de este contexto, se ha explorado exhaustivamente la utilización de subproductos del beneficio del cacao como una estrategia para maximizar su aprovechamiento y reducir el desperdicio. Entre los subproductos destacados se encuentra la mazorca de cacao, cuya composición ha sido objeto de análisis detallados. Algunos de los hallazgos relevantes incluyen la extracción de pectina de la mazorca, que demostró propiedades reológicas interesantes (Vriesmann, de Mello Castanho Amboni, & De Oliveira Petkowicz, 2011). También se descubrió que la mazorca tiene la capacidad de absorber contaminantes, como el Azul de metileno, de soluciones acuosas después de someterse a un proceso de tratamiento con NaOH (Pua et al., 2013).

Además, se han desarrollado productos derivados de la mazorca de cacao, como jabones suaves para la piel elaborados a partir de compuestos naturales y aceites vegetales sin refinar (Gyedu-Akoto, Yabani, Sefa, & Owusu, 2015). Se ha producido bio-aceite mediante la pirólisis de la mazorca, que se caracteriza por su alto valor calorífico y la obtención de un material carbonoso con propiedades absorbentes

(Adjin-Tetteh, Asiedu, DodooArhin, Karam, & Amaniampong, 2018).

Asimismo, se ha investigado la capacidad de la mazorca de cacao para ofrecer beneficios en términos de salud, como efectos bactericidas y bacteriostáticos contra microorganismos patógenos (Sotelo Coronado & Alivis Bermudez, 2018). Además, se ha estudiado su potencial como componente de extractos con propiedades antioxidantes y protectoras de la piel contra la radiación UVB (Abdul Karim et al., 2014).

Por último, se ha demostrado que la mazorca de cacao es una fuente de fibra soluble e insoluble, con aplicaciones en la formulación de productos alimenticios, como muffins, que presentan ventajas en términos de humedad y textura (Lu et al., 2018; Martínez-Cervera, Salvador, Muguerza, Moulay, & Fiszman, 2011).

Estos avances en la investigación sobre la mazorca de cacao y sus subproductos representan una valiosa contribución a la búsqueda de soluciones sostenibles en la industria del cacao y el chocolate, ofreciendo alternativas eco amigables y económicas para el aprovechamiento integral de este recurso.

METODOLOGÍA

En el proceso de desarrollo del empaque de vaina de cacao seca, se llevaron a cabo una serie de pruebas exhaustivas para evaluar y garantizar su calidad y funcionalidad. Estas pruebas abarcaron aspectos clave relacionados con el secado, la fijación del color, los recubrimientos y la resistencia del empaque. A continuación, se detalla cada una de las pruebas realizadas:

- Método de Secado:

Se evaluaron dos métodos de secado: solar y por convección forzada. El secado solar se llevó a cabo exponiendo las vainas de cacao de alta calidad a la luz solar directa. Por otro lado, el secado por convección forzada se realizó utilizando un dispositivo que generaba un flujo de aire caliente controlado. Ambos métodos se monitorearon de cerca para registrar los cambios en color y características físicas de las vainas.

- Temperatura de Secado:

Se probaron tres temperaturas de secado: 40°C, 50°C y 60°C. Estas temperaturas se ajustaron según las

condiciones de cada método de secado. Durante el proceso, se registraron el tiempo necesario para alcanzar la sequedad deseada y los cambios en color y características físicas de las vainas. La temperatura óptima que ofrecía los mejores resultados en calidad del empaque se determinó a partir de estos datos.

- Métodos de Fijación de Color:

Se llevaron a cabo pruebas con diferentes métodos de fijación del color de las vainas de cacao. Estos métodos incluyeron el uso de ácido cítrico, flameado y escaldado. Cada método se aplicó siguiendo un procedimiento específico, como sumergir las vainas en una solución de ácido cítrico, aplicar calor directo con un soplete o sumergir las vainas en agua caliente. Posteriormente, se evaluó el cambio de color en las vainas y se comparó con las vainas sin tratamiento para determinar la eficacia de cada método.

- Evaluación de Recubrimientos:

Se evaluaron diferentes tipos de recubrimientos para proteger las vainas de cacao, incluyendo aceite de coco, aceite de linaza y una preparación de cera de abejas con vaselina. Cada recubrimiento se aplicó según las instrucciones proporcionadas, y se observó la adherencia, el brillo y la uniformidad del recubrimiento en las vainas. Luego, se realizaron pruebas de exposición controlada a la humedad y cambios de temperatura para evaluar la capacidad de los recubrimientos para preservar el color, proteger contra la humedad y mantener las características físicas de las vainas.

- Prueba de Humedad y Temperatura:

Se llevaron a cabo pruebas para evaluar cómo respondía el empaque de vaina de cacao seca ante diferentes niveles de humedad y cambios de temperatura. Las vainas de cacao se sometieron a condiciones controladas de humedad, donde se expusieron a niveles específicos de humedad relativa. Durante este período de exposición, se monitoreó el empaque para evaluar cualquier cambio en su apariencia, color, textura y características físicas. Además, se sometieron las vainas a cambios de temperatura controlados para simular diferentes condiciones ambientales y evaluar la capacidad del empaque para proteger las semillas de cacao de la humedad y los cambios de temperatura.

Todas estas pruebas se llevaron a cabo meticulosamente y se registraron detalladamente para obtener datos objetivos y resultados cuantificables. Estos resultados fueron esenciales

para garantizar que el empaque de vaina de cacao seca cumpla con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos para su uso en la industria chocolatera, asegurando la preservación óptima de las semillas de cacao procesadas en diversas condiciones ambientales.

RESULTADOS

En el proceso de desarrollo del empaque de vaina de cacao seca, se llevaron a cabo diversas pruebas con el objetivo de evaluar sus características físicas y mecánicas, así como su capacidad de resistencia a condiciones ambientales adversas. A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos:

- Método de Secado:

Se determinó que el secado por convección forzada era más efectivo que el secado solar. El secado solar (Figura 01) mostró una mayor susceptibilidad a la proliferación de hongos debido a la exposición prolongada a la humedad y las condiciones ambientales. Por lo tanto, se concluyó que el secado por convección forzada (Figura 02) era el más adecuado para mantener la calidad del empaque y evitar problemas de contaminación.

Figura 01. Vaina de cacao seca. Método de secado solar.



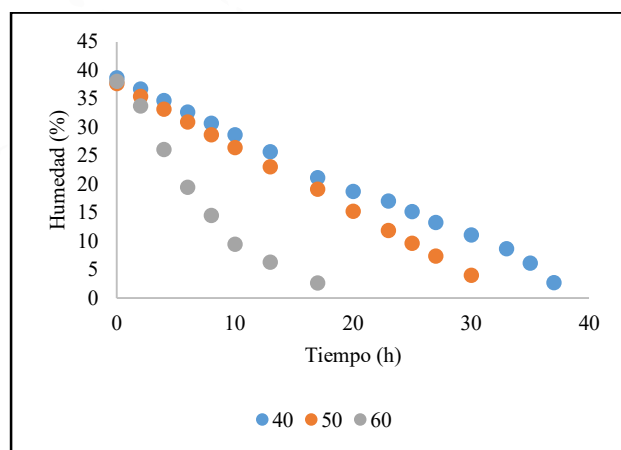
Figura 02. Vaina de cacao seca. Método de secado Convección forzada



- Temperatura de Secado:

La temperatura óptima de secado se estableció en 50°C (Figura 03). A esta temperatura, las vainas de cacao alcanzaron el nivel de sequedad deseado en un tiempo de 30 horas. Temperaturas inferiores prolongaban el proceso y aumentaban el riesgo de proliferación de hongos, mientras que temperaturas superiores causaban deformaciones en las vainas.

Figura 03. Curva de Secado de vainas de cacao a tres temperaturas 40°C, 50°C y 60°C a velocidad del aire 1 m/s



- Métodos de Fijación de Color:

Se encontró que el flameado y el escaldado eran los métodos más efectivos para conservar el color natural de las vainas de cacao sin comprometer sus características físicas y mecánicas. En contraste, el ácido cítrico mostró una menor eficiencia en la conservación del color (Figura 04).

Figura 04. Evaluación de tres métodos de fijación de color. De izquierda a derecha, ácido cítrico, flameado, escaldado.

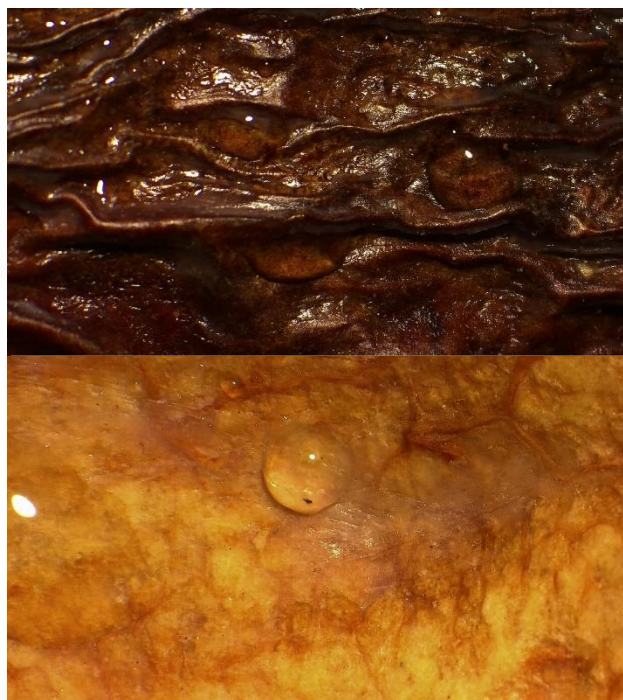


- Evaluación de Recubrimientos:

Se determinó que el aceite de coco no cumplía con las expectativas en términos de absorción de

humedad y dejaba residuos aromáticos indeseables. El aceite de linaza no actuaba como una barrera efectiva contra la humedad. La preparación de cera de abejas con vaselina resultó ser el mejor método de preservación de la vaina de cacao, proporcionando una apariencia atractiva y actuando como una barrera efectiva contra la humedad, sin dejar residuos indeseables (Figura 05).

Figura 05. Prueba de recubrimientos en las caras posterior e interior de las vainas de cacao secas.



- Prueba de Resistencia a la Humedad y Temperatura:

Las vainas de cacao demostraron ser resistentes a condiciones extremas de humedad y temperatura, sin sufrir cambios significativos en su forma o aumentos significativos de peso. Esto es esencial para garantizar que el empaque pueda mantener las semillas de cacao en condiciones óptimas, incluso en entornos desafiantes.

CONCLUSIONES

Tras llevar a cabo un exhaustivo estudio para desarrollar y evaluar el empaque de vaina de cacao seca como una solución sostenible y eficaz en la industria chocolatera, se han obtenido valiosas conclusiones que resaltan la viabilidad y la calidad de esta innovadora propuesta. El método de secado por convección forzada se ha demostrado como la opción más eficiente para preservar la calidad de las vainas de cacao secas. A diferencia del secado solar,

este método minimiza la exposición a condiciones ambientales adversas y la proliferación de hongos, asegurando así la integridad del empaque. La temperatura de secado óptima se estableció en 50°C. Esta temperatura permitió un proceso de secado eficaz en un tiempo razonable, evitando deformaciones en las vainas y reduciendo el consumo energético en comparación con temperaturas más bajas o más altas. Se ha confirmado que los métodos de fijación de color mediante flameado y escaldado son altamente efectivos para conservar el color natural de las vainas de cacao. Estos métodos no comprometen las características físicas y mecánicas de las vainas, lo que es esencial para mantener la calidad del empaque. Entre los diversos recubrimientos evaluados, la preparación de cera de abejas con vaselina se destacó como la opción más eficaz para preservar las vainas de cacao. Este recubrimiento no solo protegió contra la humedad de manera efectiva, sino que también proporcionó una apariencia atractiva y no dejó residuos indeseables en las vainas. Las pruebas de resistencia a la humedad y la temperatura confirmaron que las vainas de cacao y su empaque son capaces de mantener su integridad y características físicas en condiciones ambientales desafiantes. Esta resistencia es esencial para garantizar la calidad y frescura de las semillas de cacao procesadas.

El empaque de vaina de cacao seca, desarrollado y evaluado en este estudio, ha demostrado ser una solución efectiva y sostenible para la industria chocolatera. Su capacidad para conservar la calidad del cacao procesado, resistir condiciones adversas y su enfoque amigable con el medio ambiente lo convierten en una elección prometedora para la industria. Estos hallazgos respaldan la implementación y adopción de este empaque como una medida que beneficia tanto a la industria chocolatera como al medio ambiente, al tiempo que garantiza la frescura y calidad de los productos de cacao.

REFERENCIAS

1. Abdul Karim, A. A., Azlan, A., Ismail, A., Hashim, P., Abd Gani, S. S., Zainudin, B. H., ... & Abdullah, N. A. (2014). Phenolic composition, antioxidant, anti-wrinkles and tyrosinase inhibitory activities of cocoa pod extract. BMC Complementary and Alternative Medicine, 14(1), 1-9.

2. Adjinn-Tetteh, D. S., Asiedu, D. K., Dodoorhin, D., Karam, A. D., & Amaniampong, P. N. (2018). Production of bio-oil and bio-char from cocoa pod husk by pyrolysis. *Energy Reports*, 4, 112-116.
3. Anvoh, K. Y., Bi, S. B., & Gnakri, D. (2009). Contribution of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the economy of some producing countries. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9(3), 887-902.
4. FAOSTAT. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
5. Gyedu-Akoto, E., Yabani, G. B., Sefa, F., & Owusu, D. K. (2015). Development of a novel cocoa pod husk soap. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1252-1260.
6. Lozano, M. (2020). Utilización de los subproductos del beneficio del cacao: una revisión. Bogotá DC: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Programa de ingeniería de alimentos.
7. Lu, X., Brennan, M. A., Serventi, L., Liu, J., Guan, W., Brennan, C. S., & Li, B. (2018). The physicochemical properties and microstructure of muffins containing dietary fiber from cocoa pod husk. *Food Research International*, 112, 26-32.
8. Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fiber and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *Food and Bioprocess*
9. Pua, F. L., Nazir, M. S., Salmiaton, A., Abdullah, E. C., Bhatia, S., & Ngee, L. K. (2013). Adsorption performance of cocoa (*Theobroma cacao*) shell-based activated carbon for methylene blue in a fixed-bed column. *Chemical Engineering Journal*, 217, 20-28.
10. Quintero R, A., & Díaz Morales, C. H. (2004). El mercado internacional de cacao: perspectivas para Colombia. *Revista Espiga*, 4(1), 22-38.
11. Sotelo Coronado, M. S., & Alivis Bermudez, A. (2018). Extractos acuosos y alcohólicos de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): evaluación de su actividad antibacteriana y antibacteriostática. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 415-421.
12. Suárez, D., & Hernández, N. (2010). Enfermedades del cacao y manejo integrado de fitopatógenos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
13. Vriesmann, L. C., de Mello Castanho Amboni, R. D., & De Oliveira Petkowicz, C. L. (2011). Extraction of pectin from cocoa husks (*Theobroma cacao* L.) with citric acid. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1), 220-226

ROVER AGROTECH

César Augusto Campos Rodríguez ⁽¹⁾ Andres Felipe Boada Garzón ⁽²⁾

1. Ingeniero en Mecatrónica, Centro de Industria y Construcción Tecnoacademia SENA Tolima.
Facilitador de robótica, Grupo de investigación GIDIS, Ibagué, Colombia.
ccamposr@sena.edu.co
 2. Estudiante de secundaria, Centro de Industria y Construcción Tecnoacademia SENA Tolima.
Semillerista del área de robótica, Semillero de investigación IDEATEC, Ibagué, Colombia.
andresfelipeboadagarzon@gmail.com
-

RESUMEN

Rover Agrotech, es un proyecto en curso desarrollado en la Tecnoacademia Tolima, aborda un problema agrícola en la región, mediante la integración de robótica y agroindustria. Este innovador prototipo, un rover móvil equipado con sensores de alta precisión y control remoto, supervisa cultivos de cacao, los cuales son clave para la economía local. Implementando metodologías STEM y Aprendizaje Basado en Proyectos, se exploran tecnologías como Programación en Arduino, plataformas ESP32CAM para la transmisión de datos y video en tiempo real, sensores y aplicaciones móviles empleando técnicas de gamificación y aprendizaje colaborativo. El proyecto fomenta habilidades del siglo XXI entre 145 estudiantes de educación secundaria, creando una valiosa sinergia entre robótica y agricultura para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU y fortalecer la industria agrícola regional.

Palabras Claves:

Robótica móvil, Agroindustria, Cacao, Innovación, Aprendizaje basado en proyectos, Sensores fitosanitarios, Sostenibilidad agrícola.

ABSTRACT

Rover Agrotech, an ongoing project developed at Tecnoacademia Tolima, addresses an agricultural issue in the region by integrating robotics and agro-industry. This innovative prototype, a mobile rover equipped with high-precision sensors and remote control, monitors cocoa crops, which are pivotal for the local economy. Employing STEM methodologies and Project-Based Learning, technologies like Arduino Programming and ESP32CAM platforms for real-time data and video transmission are explored. Sensors and mobile applications are utilized, employing gamification techniques and collaborative learning. The project fosters 21st-century skills among 145 high school students, creating a valuable synergy between robotics and agriculture to tackle the UN Sustainable Development Goals and strengthen the regional agricultural industry.

Keywords:

Mobile Robotics, Agro-Industry, Cocoa, Innovation, Project-Based Learning, Phytosanitary Sensors, Agricultural Sustainability

INTRODUCCIÓN

En la era de la transformación digital, la intersección de tecnología y agricultura ha dado lugar a innovaciones significativas que remodelan la industria agrícola. En este contexto, emerge el proyecto Rover Agrotech como un faro de innovación en la Tecnoacademia Tolima. En una región donde el cacao es fundamental tanto para la economía local como para la identidad cultural, Rover Agrotech se propone como un proyecto transformador. Integrando a la perfección la robótica móvil y los principios de la agroindustria, este proyecto en curso se adentra en los campos de cultivo del cacao con una misión clara: abordar desafíos agrícolas específicos, mejorar la producción y, en última instancia, empoderar a las comunidades agrícolas locales.

El cacao, a menudo llamado "el oro negro", no solo tiene un profundo impacto económico, sino que también está entrelazado con la identidad cultural de la región. Sin embargo, los agricultores se enfrentan a amenazas constantes, desde plagas hasta condiciones climáticas cambiantes. Rover Agrotech surge como una respuesta ingeniosa a estos desafíos. Este proyecto pionero no se limita a la implementación de tecnologías avanzadas, sino que también se sumerge en el corazón de la educación. Al adoptar metodologías modernas como el Aprendizaje Basado en Proyectos y el enfoque STEM, Rover Agrotech no solo presenta soluciones prácticas, sino que también cultiva la próxima generación de científicos, ingenieros y agricultores innovadores.



Imagen 1. Andres Boada ponente en InnovAgro 2023. Fuente: Autor.

ESTADO DEL ARTE

Suiza es uno de los principales productores a nivel mundial de productos basados en chocolate, tan solo en 2021, según los datos de OEC World (2022), el país europeo realizó importaciones por más de 250.000 toneladas de cacao, las cuales fueron producidas y transformadas en productos basados en chocolate exportando cerca de 887 millones de dólares, lo que correspondió a un 0.7% del PIB suizo para ese año.

Lo anterior es una muestra del valor agregado de transformar una materia prima en producto final, y lleva a pensar en una posibilidad económica para regiones en proceso de crecimiento, ya que el departamento del Tolima en 2021 fue el quinto productor nacional de cacao tipo exportación, superado por Huila, Arauca, Antioquia y Santander en 2022, y teniendo en cuenta que el departamento se encuentra privilegiado por su cantidad de tierra apta para cultivos agrícolas IGAC (2019) da la posibilidad de explotar esta actividad económica y abre la posibilidad de investigar e innovar sobre los problemas presentes en ese ámbito, por ejemplo, preocupantemente según los datos FEDECACAO (2022) el número de

toneladas producidas en Colombia cayó un 10%, lo anterior causado por el hongo de la Molinilla, basidiomycete *Moniliophthora roreri*, y que en departamentos como Santander, según AGROSAVIA (2021), afectó críticamente el número de toneladas de grano producido, siendo la principal causa de la enfermedad, la extensa temporada de lluvias la cual generó en los cultivos de cacao las condiciones ambientales perfectas para la incubación y propagación de la enfermedad fúngica.

En el panorama actual, la integración de la tecnología en la agricultura, conocida como Agricultura de Precisión, ha sido un área de creciente interés para investigadores y profesionales del campo. La literatura científica ha documentado diversas aplicaciones de robótica y sensores en la optimización de prácticas agrícolas. En su estudio seminal, Solaque, Smith y Riveros (2020) detallan cómo los robots agrícolas equipados con sensores avanzados han revolucionado la forma en que los agricultores monitorean y gestionan sus cultivos. Estos dispositivos ofrecen una recopilación de datos precisa y en tiempo real, permitiendo decisiones más informadas y, en última instancia, una mayor eficiencia en la producción.

La robótica móvil ha demostrado ser particularmente prometedora en la agricultura, especialmente en cultivos sensibles como el cacao. Sanchez, Rivera y Solaque (2021) presentan un estudio exhaustivo sobre la implementación de rovers en agricultura, destacando cómo la movilidad autónoma puede mejorar la detección temprana de enfermedades y plagas, crucial para la preservación de los cultivos, en nuestro caso cultivos de cacao. Estos hallazgos resuenan con las metas del proyecto Rover Agrotech, que busca no solo monitorear, sino también proteger los cultivos de cacao de manera proactiva, posicionándose como herramienta tecnológica inspirada en productos como el KUBOTA X ELECTRIC TRACTOR, o el Autonomous 8R Tractor John Deere.



Imagen 2. Robot Kubota X Electric Tractor.

Fuente: <https://www.kubotausa.com/utility-vehicles>

Además, las metodologías de enseñanza activa y colaborativa, como el Aprendizaje Basado en Proyectos y el enfoque STEM, han sido objeto de numerosos estudios. Rekalde Rodríguez (2015) examinan el impacto del Aprendizaje Basado en Proyectos en la educación STEM, subrayando cómo esta metodología fomenta la creatividad y el pensamiento crítico en los estudiantes. Estas metodologías han sido implementadas con éxito en iniciativas similares, como el proyecto agricultura de precisión de Kraus et al. (2020), que utiliza sensores para enseñar a los estudiantes sobre la interacción entre tecnología y agricultura.

En cuanto a la transmisión de datos y control remoto, las plataformas como ESP32CAM han sido ampliamente investigadas en contextos diversos. Paryono, Fauzi y Nanda (2023) exploran las aplicaciones de cámaras basadas en ESP32CAM para el reconocimiento de imágenes, esto enfocado a la vigilancia agrícola, subrayando su versatilidad y bajo consumo de energía. Este enfoque tecnológico encuentra una resonancia directa en la infraestructura del proyecto Rover Agrotech, que utiliza esta plataforma para transmitir datos y video en tiempo real desde el campo.

RESULTADOS

El proyecto Rover Agrotech, desarrollado en la Tecnoacademia Tolima, ha arrojado resultados significativos en la convergencia entre la robótica móvil y la agroindustria. A través de la integración de tecnologías de vanguardia y metodologías pedagógicas innovadoras, el equipo logró diseñar un rover móvil equipado con sensores de alta precisión y control remoto. Este dispositivo espera demostrar en su fase de pruebas ser una solución eficaz para supervisar los cultivos de cacao, que desempeñan un papel fundamental en la economía local de la región.

A continuación, ilustraremos más detalladamente los resultados obtenidos y esperados según cada objetivo específico propuesto en el proyecto.

Objetivo 1: Establecer las necesidades energéticas del robot móvil para la elección del hardware y una fuente de energía renovable

En la fase de análisis, se realizó un estudio detallado de las necesidades energéticas del robot móvil. Se seleccionó un sistema de tracción de orugas controlado por motores DC, y se determinó que una batería de LiPo de 12V @ 3000 mAh sería suficiente para alimentar el sistema de control, los sensores y los motores. Además, se incorporó un panel solar de 5V 3W para proporcionar soporte adicional a la telemetría en caso de agotamiento de la batería.

VIAJE	VOLTAJE SALIDA (V)	VOLTAJE LLEGADA (V)
1	13,2	12,9
2	12,9	12,8
3	12,8	12,7
4	12,7	12,6
5	12,6	12,5
6	12,5	12,5
7	12,5	12,4
8	12,4	12,4
9	12,4	12,4
10	12,4	12,4

Tabla 1. Registro de voltaje por recorrido realizado en pruebas. Fuente: Autor.

Las pruebas realizadas demostraron que el rover tiene una autonomía de 90 a 120 minutos y puede realizar aproximadamente 15 viajes ambiente-huerta antes de requerir recarga. Se utilizó como sistema embebido de control y lectura de sensores un Arduino Mega 2680, para la captura de imágenes y transmisión WiFi de la telemetría un ESP32CAM, se implementaron 4 motorreductores a 12V para tener tracción doble en cada oruga, controlados por un módulo LD293D según los comandos recibidos del control Spectrum DX6E.

Objetivo 2: Programar el control para el robot móvil en terreno del cultivo mediante la programación y de un GPS.

La programación del control del robot se llevó a cabo utilizando un enfoque STEM, donde se introdujo a los aprendices en los conceptos de programación en Arduino. Se utilizó como entorno la plataforma Arduino Editor y se programó en lenguaje C++ los sistemas embebidos de control, lectura y transmisión, la telemetría la cual es codificada y enviada por protocolo Serial entre sistemas embebidos para su transmisión.



Imagen 3. Aprendices del Colegio SINTRAFEC realizando control del robot. Fuente: Autor.

El control dinámico del robot se logró mediante el uso de cuatro canales para controlar el avance, retroceso y giros. El sistema demostró ser eficiente y permitió una navegación precisa y controlada del rover en el entorno agrícola. Un GPS Adafruit FONA800 proporciona la georreferencia del robot a

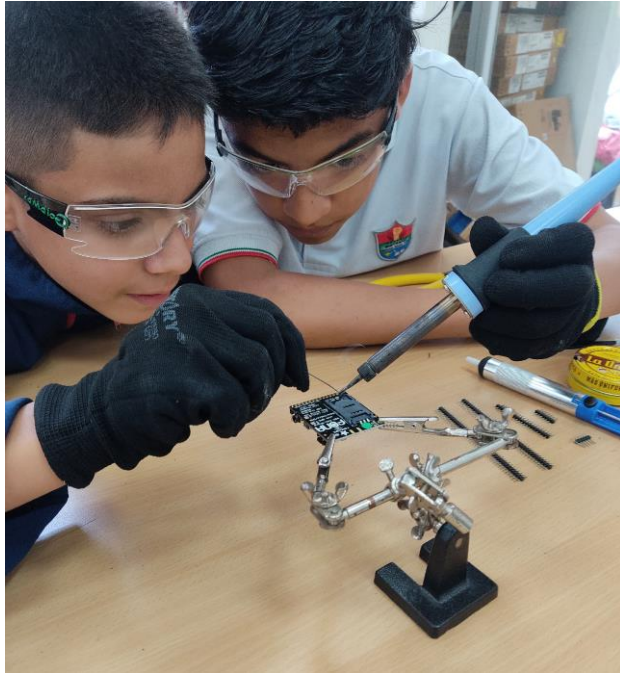


Imagen 4. Proceso de soldadura en el módulo FONA800 para instalación en robot. Fuente: Autor.

Objetivo 3: Determinar mediante un estudio de caso las variables fitosanitarias claves del cultivo de cacao para realizar la elección de los sensores para estas variables y su HMI.

Durante la fase de investigación, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la biología del cultivo de cacao en la región del Tolima. Se consultaron bases de datos científicas para recopilar información relevante sobre características, cuidados, plagas y procesos relacionados con el cultivo. Este trabajo permitió identificar las variables fitosanitarias clave que afectan al cultivo, tales como la humedad, la temperatura ambiente, la presencia de lluvia, la luminosidad y los niveles de CO₂.

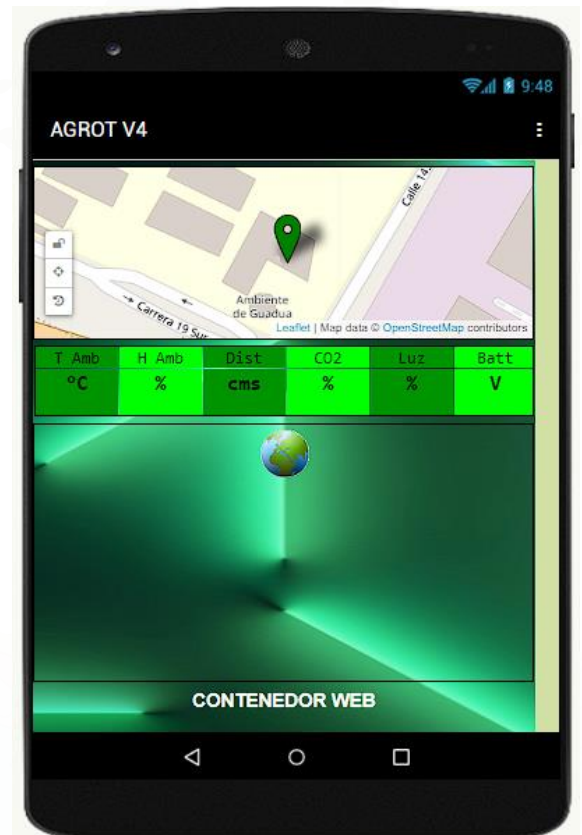


Imagen 5. Prototipo Rover Agrotech y app móvil de monitoreo Agrot. Fuente: Autor.

La implementación de sensores DHT11 para humedad y temperatura, un sensor de lluvia, un sensor de luz LDR y un sensor de CO₂ MQ135 en el robot facilitó la medición y supervisión en tiempo real de estas variables en la aplicación móvil creada en la plataforma App Inventor para el robot.

Resultados esperados:

A la fecha de redacción de este artículo se está abordando el objetivo de desarrollar una herramienta automática para el sembrado de semillas a 5 cm de profundidad en el suelo. Se estudiaron diferentes posibilidades de mecanismos, como uno convierte el movimiento circular de un servomotor en un movimiento lineal utilizando un sistema de engranaje cremallera. Este mecanismo controla un motor de alta velocidad con una broca helicoidal de jardinería en la punta. Otro mecanismo estudiado fue de tipo rueda que rompe la tierra y entierra con el mismo sistema mecánico. La implementación de dos módulos adicionales L298 para el control de los motores adicionales en cualquiera de los dos casos será necesaria. Una vez establecido el sistema de siembra, se dará proceso a las pruebas en el terreno del cultivo.

Finalmente, con este desarrollo tecnológico enfocado al agro tolimense y sus necesidades, se espera generar una herramienta eficaz que además de aportar a los procesos de producción de cacao, apropie a los campesinos cultivadores de la tendencia de involucrar tecnología a sus procesos como una herramienta más, potenciando así sus productos y procesos.

REFERENCIAS

1. Manejo, E. Y. (s/f). LA MONILIASIS DEL CACAO: Agrosavia.co. Recuperado el 10 de mayo de 2023, de <https://www.agrosavia.co/media/11540/69317.pdf>
2. Vázquez, A. H. P., Vilchez-Ponce, C. R., Ferrer-Sánchez, Y., & Veloz-Portillo, C. E. (2022). Efecto del cambio climático sobre la distribución potencial del hongo moniliophthora roreri y el cultivo de cacao (theobroma cacao) en ecuador continental. Revista Terra Latinoamericana, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1151>
3. Awudzi, G. K., Cudjoe, A., Hadley, P., Hatcher, P. E., & Daymond, A. J. (2016). Optimizing mirid control on cocoa farms through complementary monitoring systems. Journal of Applied Entomology, 141(4), 247-255. <https://doi.org/10.1111/jen.12332>
4. Almeida, A.-A. F. de, & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(4), 425–448. <https://doi.org/10.1590/s1677-04202007000400011>
5. IGAC (2019). Tolima, uno de los departamentos con mayor potencial agrícola en Colombia recuperado el 2 de marzo de 2023 de: <https://www.igac.gov.co/es/noticias/tolima-uno-de-los-departamentos-con-mayor-potencial-agricola-en-colombia>
6. Revista SwissInfo (2023). La producción del cacao en Colombia se disminuyó un 10% en 2022. recuperado el 4 de marzo de 2023 de: https://www.swissinfo.ch/spa/colombia-cacao_la-producci%C3%B3n-del-cacao-en-colombia-se-disminuy%C3%B3-un-10-en-2022/48267402
7. Krus, A., van Apeldoorn, D., Ramirez, J. J., & Valero, C. (2019). Detección de características de cultivo a través de sensores ópticos en un sistema orgánico de tipo strip-cropping. Congreso Ibérico de Agroingeniería.
8. Paryono, T., Fauzi, A., Nanda, R. A., Aripriyanto, S., & Khaerudin, M. (2023). Detecting vehicle numbers using Google Lens-based ESP32CAM to read number characters. Jurnal Matrik, 22(3), 469–480. <https://doi.org/10.30812/matrik.v22i3.2818>

9. Rekalde Rodríguez, I., & García Vélchez, J. (2015). El Aprendizaje Basado en Proyectos: un constante desafío. *Innovación Educativa*, 25. <https://doi.org/10.15304/ie.25.2304>
10. Sánchez Herrera, G., Riveros Guevara, A., & Solaque Guzman, L. E. (2021). Controlador PI2 para las velocidades de un robot agrícola evaluado usando Hardware en el lazo (HIL). *Ingenierías USBmed*, 12(2), 41–48. <https://doi.org/10.21500/20275846.4662>
11. Solaque G., L. E., Sánchez H, G., & Riveros G., A. (2020). Diseño y pruebas con hardware en el lazo de controladores dinámicos para un robot agrícola. *Revista UIS ingenierías*, 19(2), 89–98. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020010>

BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL, IMPORTANCIA Y AVANCES EN LA AGRICULTURA

Piedad Cecilia Lopera Yepes ⁽¹⁾ José Rafael Rodríguez Núñez ⁽²⁾

1. Bióloga MS.C. Biología, Basil Farm SAS. Directora Técnica, Espinal Tolima, Colombia.
piceloye@gmail.com
2. Lic. Biología y Química, Esp. MS.C. Microbiología Agroindustrial., Tecnoparque Nodo Tolima, Línea de Biotecnología y Nanotecnología., GI Senagrotic., Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima. Espinal Tolima, Colombia. jrodriguezn@sena.edu.co

RESUMEN

En la actualidad, existen en el mercado productos a base de bacterias PGPR o sus compuestos activos con características Bioestimulantes, Biofertilizantes y acondicionadores de suelos; que llevan a la rizosfera nutrientes naturales que ayudan al rendimiento y crecimiento de los cultivos en diferentes procesos. La Formulación de Nanofertilizantes donde se utilizan nanomateriales, como nanopartículas de sílice, para encapsular o cargar las bacterias PGPR, ayuda a proteger las bacterias y facilita su liberación controlada. Brindar una mayor estabilidad que ofrecen protección a las bacterias PGPR, lo que les permite sobrevivir mejor en el suelo y en condiciones ambientales adversas. Las bacterias PGPR representan una herramienta valiosa para el aumento de la productividad agrícola, la reducción de la dependencia de productos químicos y la promoción de la sostenibilidad en la agricultura. Su estudio y aplicación siguen siendo temas importantes en la investigación agrícola y el desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Palabras Claves:

Rizobacterias, Agricultura, conservación, bioinsumo, biofertilización.

ABSTRACT

Currently, there are products on the market based on PGPR bacteria or its active compounds with Biostimulant, Biofertilizer and soil conditioner characteristics; that carry natural nutrients to the rhizosphere that help the performance and growth of crops in different processes. Nanofertilizer Formulation where nanomaterials, such as silica nanoparticles, are used to encapsulate or load the PGPR bacteria, helps protect the bacteria and facilitate their controlled release. Provide greater stability that offers protection to PGPR bacteria, allowing them to survive better in soil and adverse environmental conditions. PGPR bacteria represent a valuable tool for increasing agricultural productivity, reducing dependence on chemicals and promoting sustainability in agriculture. Its study and application continue to be important topics in agricultural research and the development of more efficient and environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: Rhizobacteria, Agriculture, conservation, bioinput, biofertilization.

INTRODUCCIÓN

Existe bastante literatura en libros, revisiones científicas y artículos de investigación sobre la variabilidad observada en las bacterias benéficas inoculadas al suelo para promover la sanidad vegetal, que se hace urgente adelantar estudios en los procedimientos adecuados de inoculación de las mismas para garantizar la protección de cultivos. En adición, el uso de agroquímicos es considerado un riesgo para la biodiversidad y es urgente disminuir su uso e implementar prácticas fitosanitarias amigables con el medio ambiente, que permitan incurrir en mercados internacionales que exigen productos limpios. En la actualidad hay variedad de inoculantes microbianos a base de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR por sus siglas en inglés), los cuales son recomendados para la biofertilización y/o el biocontrol de plagas y enfermedades.

Algunos de estos productos están basados en cepas de *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* spp, ya que son microorganismos que estimulan positivamente el desarrollo de las plantas, son fácilmente cultivables en laboratorio y presentan algunas ventajas para su manipulación (Nakkeeran *et al.*, 2006; Ramírez y Kloepper, 2011). Dentro de los más abundantes y exitosos en el mercado se encuentran los del género *Bacillus*, gracias a que sus especies forman una estructura de resistencia a condiciones ambientales, la endospora, esto les permite ser formulados de manera más eficiente en "inoculantes bacterianos". La eficacia de su aplicación dependerá de la consistencia en los resultados reflejados en las plantas.

Sin embargo, no existe en el mercado mecanismos rápidos de aislamiento e identificación de este tipo de bacterias, la obtención de un cultivo bacteriano puro,

extraído de un ambiente agrícola requiere de técnicas de laboratorio, que permitan inducir su crecimiento en medios de cultivo artificiales que cumplan con las condiciones mínimas requeridas para su desarrollo y crecimiento que a posteriori permitan realizar su identificación y cuantificación. El método de aislamiento y los medios de cultivo para el desarrollo de una bacteria, se seleccionan de acuerdo al tipo de microorganismo PGPR del que se sospecha, la sintomatología y el hospedante de donde se aísla. Los aspectos importantes a considerar, son el tipo de síntoma, requerimiento nutricional, así como las características morfológicas tanto macro como microscopias que evidencien y que a su vez permitan la identificación Bioquímica y Molecular para su posterior clasificación. El aislamiento puede realizarse directamente de tejido rizosférico presente en el suelo fértil y en condiciones óptimas de crecimiento o a partir de material propagativo para confirmar la presencia o ausencia de microorganismo PGPR de interés.

En este artículo de revisión se pretende dar a conocer los diferentes tipos de bacterias PGPR especialmente las bacterias formadoras de Esporas (PGPR – FE), así como los mecanismos de acción y la eficacia y efectividad cuando son formulados en Inoculantes Microbianos, además, de algunas técnicas básicas de aislamiento, conservación e identificación de este grupo Bacteriano de gran importancia para la agricultura y sus aplicaciones; como las perspectivas y avances tecnológicos que se tiene para su posible identificación.

ESTADO DEL ARTE

Bacterias Aeróbicas Formadoras de Endospora (PGPR-FE)

El género *Bacillus* y algunos de sus relacionados, los cuales pertenecen al orden Bacillales, familia Bacillaceae. Están ampliamente distribuidas como saprofitas en gran variedad de suelos, aunque su

diversidad es mayor en las zonas rizosféricas (Garbeva *et al.*, 2002), también se encuentran en columnas y fondos de agua dulce y marina (Logan y Halket, 2011). Son cultivables en agar o caldos bacterianos, presentan células vegetativas, forma bastones, tienen diferentes tipos de agrupación dependiendo de la especie y son aerobias estrictos o anaerobias facultativos. Gram positivos, aunque las reacciones de tinción, incluso en cultivos jóvenes, puede ser Gram- variable o Gram-negativos (Sneath, 1984). Presentan flagelos peritricos, pero



su movilidad puede ser dependiente o independiente de flagelo y está en función de la quimiotaxis del ambiente (Berge et al., 2011).

Han desarrollado habilidades fisiológicas versátiles para su sobrevivencia, acidofílicas o alcalofílicas, termofílicas, sicrófilas y halófilas. Forman una estructura de resistencia a condiciones adversas del ambiente, la endospora que puede ser deformante o no con una espora por célula, durante su cultivo y asociadas a la formación de estas, se pueden formar cuerpos paraesporales con actividad plaguicida (Hofte y Whiteley, 1989). Tienen un sistema de comunicación de célula a célula, Quorum Sensing (QS), que les permite optimizar procesos durante la fase estacionaria, dando como respuesta un aumento en las densidades poblacionales. Forman Biofilms lo cual les permite mejorar funciones que podrían resultar ineficientes o imposibles para células individuales y tienen gran plasticidad genómica lo que les puede conferir ventajas selectivas, como la resistencia a los antibióticos, patogenicidad o adaptación a diferentes nichos (Berge et al., 2011).

Para la clasificación de las especies de este género se han usado varios métodos, los primeros se basan en caracterización morfológica y bioquímica utilizando técnicas convencionales (Sneath, 1984). En la actualidad, se hace identificación mediante secuenciación del gen ribosomal ARNr 16s, sin embargo, esta técnica tiene limitaciones en la resolución a nivel de especie, lo cual ha llevado a hacer identificaciones mediante técnicas moleculares más recientes y avanzadas como análisis multilocus, secuenciación del genoma y análisis de microarreglos (Logan y Halket, 2011).

Los inoculantes microbianos a base de PGPR-PGPR-FE

La expresión inoculantes microbianos es usada para referirse a todo el grupo de productos que contienen microorganismos capaces de impactar positivamente el desarrollo de las plantas, ya sea como biofertilizantes y/o biocontroladores (Fuentes y Caballero, 2006). Se han adelantado múltiples

estudios con hongos formadores de micorrizas, hongos controladores de plagas y enfermedades, bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno, hongos solubilizadores de fosfatos y PGPR (Banerjee et al., 2006). De esta forma se ha demostrado su potencial agrícola y se ha generado un interés en la industria para desarrollar productos comerciales de alta efectividad.

Desde hace dos décadas las PGPR han recibido considerable atención, debido a que son algunos de los habitantes más comunes de la rizosfera, son fáciles de aislar y cultivar, se pueden producir a gran escala ya que utilizan una amplia gama de sustratos, se les puede hacer manipulaciones genéticas (Raaijmakers et al., 2002) y se pueden caracterizar taxonómicamente sin dificultad. Además, tienen múltiples soportes como biofertilizantes, fitoestimuladores y/o biocontroladores tanto de plagas como de enfermedades (Banerjee et al., 2006).

En la actualidad hay un amplio grupo de bacterias PGPR que hacen parte potencial de inoculantes utilizados para la agricultura, en estas se encuentran especies principalmente de los géneros *Azospirillum*, *Bacillus* y *Pseudomonas*. En Colombia, donde la investigación sobre PGPR está apenas en sus inicios, se han encontrado algunas cepas con efectos interesantes sobre banano y crisantemo, como *Bacillus amyloliquefaciens* EA-CB0575 y *Bacillus subtilis* UA321, respectivamente. En ambos casos, estas cepas producen fitohormonas y han mostrado producción abundante de antibióticos que antagonizan con algunos fitopatógenos limitantes en cultivos, dando como resultado la promoción del crecimiento de las plantas (Moneada y Sierra, 2009; Rarmírez, 2008; Ramírez, 2012).

Sin embargo, para lograr la efectividad de un producto hay que elegir la cepa adecuada después de un largo trabajo de investigación. Los estudios en los métodos de aislamiento, caracterización bioquímica, morfológica, almacenamiento e identificación están más esclarecidos (Logan y

Halket, 2011; Sneath., 1984). De igual manera, estudios de escalonamiento masivo y comercialización han permitido que en la actualidad se encuentren en el mercado inoculantes bacterianos efectivos para la sanidad y mejora de los cultivos. Los estudios involucrados en los mecanismos de la promoción del crecimiento vegetal (Ramírez y Kloepper, 2011; Rodríguez y Fraga, 1999), aunque son varios y con avances importantes aún son contradictorios.

El producto formulado puede ser líquido, polvoso, sólido, en suspensión o granular (Banerjee et al., 2006), pero la formulación final debe mantener la viabilidad de la bacteria en el tiempo que transcurre, desde el momento de la formulación hasta su aplicación en campo. Por lo anterior, la producción industrial de inoculantes ha estado dominada por cepas pertenecientes al género *Bacillus* (Ramírez, 2010), el más representativo dentro del grupo de las PGPR-FE. La endospora les confiere una cualidad única, larga vida útil de más de un año, mínimo tiempo requerido tanto para el tratamiento de semillas biológicas comerciales como para la formulación, garantizando de esta forma una integración exitosa en el mercado agrícola (Driks, 2004; Kloepper et al., 2004).

Mecanismos de acción de los inoculantes a base de PGPR

Existen múltiples estudios tratando de dilucidar cuales son los mecanismos de acción por los cuales las bacterias PGPR ejercen su efecto benéfico sobre las plantas. Aunque ya se han hecho avances significativos al respecto, aún hay muchas publicaciones que son contradictorias y el panorama general es que aún falta mayor esclarecimiento. La evidencia in vitro de la producción de una hormona, un compuesto o una estructura benéfica, no significa necesariamente que el hallazgo es el mecanismo bacteriano directo, responsable de la respuesta vegetal y aunque es un avance significativo, no es la demostración que dicha propiedad bacteriana va a comportarse de igual manera y alcanzar los niveles deseados, generando

así el beneficio en la interacción (Asghar et al., 2002). Sin embargo, en la actualidad, dos mecanismos son discutidos: Directos e indirectos, en general los mecanismos directos son aquellos por los cuales las rizobacterias incrementan el crecimiento vegetal por medio de la producción de fitohormonas y/o la solubilización de minerales, mientras los mecanismos indirectos se refieren a la promoción del crecimiento como resultado de la supresión de enfermedades (Hassan et al., 1997). En este texto nos referiremos a uno y otro como biofertilización y biocontrol respectivamente.

Dentro de los mecanismos directos se tienen, la fijación de nitrógeno (N) por parte de bacterias diazotróficas de los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Herbaspirillum* y *Paenibacillus* (Vessey, 2003). No obstante, en experimentos recientes encontraron que bacterias del género *Azospirillum*, las cuales tienen históricamente reportes como fijadoras de nitrógeno, no siempre ayudan a la planta a fijar N y se sugiere en cambio que sus principales mecanismos en la promoción de crecimiento vegetal podría ser la producción de fitohormonas (Bashan y de-Bashan, 2010).

Con respecto a los mecanismos indirectos se conocen varios estudios donde se demuestra la capacidad de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal para controlar plagas y enfermedades indeseables para la planta. Una forma en que pueden ejercer dicho control, es mediante los mecanismos de resistencia sistémica inducida (ISR, por sus siglas en inglés), la producción de toxinas y antibióticos (Hernández et al., 2006).

Efectividad de los inoculantes en el biocontrol según el tipo de suelo

La introducción de bacterias específicas a los Suelos se ha realizado durante décadas, los principales objetivos de esta práctica son además de los ya expuestos, mejorar la estructura del suelo e intervenir en procesos de bioremediación y revegetalización (Ehrlich y Brierley, 1980). No obstante, el suelo forma un ambiente muy

heterogéneo e impredecible, donde factores bióticos y abióticos juegan un rol fundamental en el establecimiento de las bacterias introducidas. El nicho ecológico de organismos vivos que intervengan en las bacterias inoculadas, lo cual puede incluir competencia por sitios nutricionalmente favorables, especialmente fuentes de carbono orgánico provenientes de los exudados de la semilla o la raíz (Brown, 1974), secreciones vegetales inhibidoras para el microorganismo y relaciones de antagonismo y predación (Van Veen et al., 1997).

De esta forma, las PGPR-FE que se inoculen tendrán que ser capaces de encontrar nichos adecuados, en los cuales puedan hacer frente a condiciones adversas y fluctuantes. Es por ello la importancia de conocer cada uno de los factores Bióticos y Abióticos que conlleva el aislamiento, conservación e identificación de diferentes tipos bacterianos de importancia agrícola; ya que a su vez son los precursores de formulaciones de inóculos y/o biofertilizantes que serán aplicados al suelo, con niveles de eficiencia y eficacia capaces de recuperar un suelo o simplemente controlar plagas y enfermedades que aquejan el desarrollo fisiológico de los cultivos.

Formulación y desarrollo de Bioinsumos

1. Aislamiento, Conservación y Preservación

El aislamiento de bacterias implica la obtención y separación de estas cepas beneficiosas del suelo o de las raíces de plantas sanas. Es importante conocer y elegir la fuente de la que desea aislar las bacterias PGPR, como el suelo de un campo agrícola o las raíces de plantas saludables. La recolección de las muestras de suelo o raíces utilizando herramientas estériles para evitar la contaminación.

Ya en el laboratorio Dilución para el aislamiento se realiza bajo métodos tradicionales de diluciones seriadas, en soluciones estériles y extiende las

diluciones en placas de agar selectivo, como el agar King B o el agar R2A. La incubación se debe realizar a la temperatura adecuada (generalmente alrededor de 28-30°C) durante unos días, que permita observar en las placas y seleccionar colonias que parezcan ser bacterias PGPR, basándose en características como la morfología macroscópica y microscópica de la colonia y el color como parámetros cualitativos iniciales para su identificación y aislamiento (Rojas, 2011).

Las diferentes pruebas de promoción de crecimiento conllevan a suplementar los medios de cultivo con fuentes de fósforo (P) con el fin de conocer si son solubilizadoras de fosfatos, medios libres de nitrógeno, producción de sideróforos y medios con actividad lítica como celulasas, proteasas, amilasa, lipasas entre otros que permitan confirmar la actividad PGPR. Una vez previamente identificadas se procede a la conservación de las cepas aisladas (Rodríguez, 2006).

La conservación de bacterias PGPR (Promotoras del Crecimiento de Plantas) es fundamental para mantener estas cepas beneficiosas viables a lo largo del tiempo. Las técnicas más comunes de conservación para este tipo de bacterias radican en procesos de Refrigeración que permite almacenar las cepas a una temperatura de 4°C es adecuado para la conservación a corto plazo, generalmente hasta un par de meses las cepas se mantienen en agar sólido o en caldo de cultivo con baja concentración de nutrientes. (Schaad et al. 2001). La Congelación es un método de conservación a largo plazo, se pueden almacenar las cepas en un ultracongelador a -80°C, las cepas se mantienen en un medio con crioprotectores como glicerol, aceite mineral, leche descremada, soluciones de glucosa o fructosa o dimetilsulfóxido (DMSO) que ayudan a evitar daños por congelación. Por otro lado, la liofilización es una técnica y/o método de conservación que implica la eliminación del agua de las bacterias, lo que las hace una técnica altamente estable a temperatura ambiente. Las cepas liofilizadas se almacenan en viales sellados herméticamente y su periodo de conservación puede

durar más de un año si las condiciones de almacenamiento se cumplen con los protocolos establecidos. La elección de la técnica de conservación depende de la duración prevista de la conservación y de los recursos disponibles. Cada técnica tiene sus ventajas y desventajas, por lo que es importante seleccionar la más adecuada para sus necesidades. Además, es esencial mantener registros precisos de las cepas, incluyendo información sobre su origen, características y métodos de conservación.

2. Identificación y clasificación

La identificación de este tipo de bacterias implica determinar la identidad y características específicas de estas cepas beneficiosas, los métodos primarios más comunes de identificación se atribuye a los Fenotipos de las colonias, estos métodos se basan en las características macroscópicas observables de las colonias como su tamaño, tipo de colonia, textura, color, apariencia y hemólisis de los medios de cultivo; la morfología microscópica de las colonias, se observa con procesos de tinción de Gram, movilidad y características de crecimiento en diferentes medios (German Bou et al., 2011). Las pruebas bioquímicas, se realizan para identificar características bioquímicas específicas, como la capacidad de solubilizar fosfato, fijación de nitrógeno, producción de sideróforos y producción de enzimas beneficiosas para las plantas. Dentro de esta gama de pruebas tenemos pruebas en tiempo real no mayor a 6 horas como Catalasa y oxidasas, hidrólisis del hipurato, β -galactosidasa, aminopeptidasas, urea, prueba del indol entre otras; a su vez test o ensayos bioquímicos que requieren un proceso y periodo de incubación de 24 a 48 horas que permita llevar a cabo procesos de oxidación – reducción fermentativo de los medios, en las que encontramos pruebas bioquímicas como Voges Proskauer, Caldo de Nitratos, medio con agar almidón, medio calcio caseína, citratos, malonatos, prueba de la gelatina, lipasa, coagulasa y fermentación de azúcares (monosacáridos).

Existen en el mercado diferentes test de identificación bioquímica cualitativos y automatizados, pero en su mayoría por no decir que en un 90% son aplicables a cepas de características patógenas o de origen clínico, sin embargo, la naturaleza misma del microorganismo y su memoria metabólica podría ayudar al desarrollo específico de pruebas o test propios para bacterias PGPR. Entre este tipo de pruebas cualitativas encontramos sistemas API de la empresa Biomerieux, Enterotube de BBL, Oxi/Ferm de BD, RapID y Micro ID de Remel – Oxoid que en muchas ocasiones solo permiten una clasificación del 90 – 95% a Género sp., y sistemas automatizados como Vitek, MicroSCAN, ABT, Pasco, Phoenix que atribuyen una clasificación de Género y especie hasta en un 95%. Este tipo de pruebas son probables, más no definitivas en el proceso de identificación.

Dentro de las características genotípicas específicas los métodos moleculares con marcadores genéticos son los más utilizados y empleados que permiten una identificación del grupo bacteriano PGPR en Género y especie hasta en un 99,5%. La secuenciación de genes específicos, como el gen 16S rRNA para bacterias, puede proporcionar información genética para la identificación precisa. (German Bou et al., 2011). La secuenciación del gen 16S rRNA es especialmente común para la identificación bacteriana. La hibridación de ADN permite identificar cepas específicas utilizando sondas de ADN complementario que se unen a secuencias de genes específicos en el ADN de la bacteria. Y dentro de estas técnicas moleculares incluyen la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la electroforesis en gel para analizar fragmentos de ADN específicos.

También se pueden utilizar técnicas más avanzadas, como la secuenciación de nueva generación (NGS) para obtener información detallada sobre el genoma de la bacteria. Hoy por hoy existen bancos de genes como GenBank NCBI y software avanzado como el Ribosomal Database Project (RDP), BLAST y BIBI que contienen la secuenciación de millones de microorganismo identificados y clasificados según

géneros y especies. En este caso cuando un microorganismo o grupo bacteriano PGPR no es identificado se podría decir que es una nueva especie aislada, conservada e identificada. (German Bou et al., 2011).

Es por ello que la identificación precisa de bacterias PGPR es esencial para comprender sus características y aplicaciones en la agricultura. La combinación de múltiples técnicas puede proporcionar una identificación más completa y precisa de estas cepas beneficiosas. Es importante llevar a cabo este proceso en condiciones de laboratorio estériles y documentar adecuadamente los pasos para garantizar la pureza de las cepas de PGPR aisladas. Estas cepas pueden utilizarse posteriormente en aplicaciones agrícolas para mejorar el crecimiento y la salud de las plantas.

Una vez conocidas estas cepas PGPR, se procede al desarrollo y registro de los diferentes inóculos bacterianos como Biofertilizantes, que cumplen el control y el aseguramiento de la calidad como uno de los principales factores en el proceso de producción y comercialización de biofertilizantes, pues permite asegurar la eficacia del producto a los consumidores finales (Benintende, 2010; Herrmann & Lesueur, 2013; Lupwayi et al., 2000; Vessey, 2003; Young, 2007).

En la actualidad, existen en el mercado productos a base de bacterias PGPR o sus compuestos activos con características Bioestimulantes, Biofertilizantes y acondicionadores de suelos; que llevan a la rizosfera nutrientes naturales que ayudan al rendimiento y crecimiento de los cultivos, a la estructura física y química del suelo, a la protección integral frente al ataque de plagas y enfermedades y al equilibrio biológico con la absorción y mejora de nutrientes. *¿Pero cuál podría ser el futuro de los Biofertilizantes a base de PGPR?* Se podría pensar en la nanotecnología para el desarrollo de nanofertilizantes a base de bacterias PGPR (Promotoras del Crecimiento de Plantas) ya que son una innovación en la agricultura que combina los beneficios de los PGPR con tecnología de

nanomateriales. Estos nanofertilizantes tienen como objetivo mejorar la eficiencia de entrega de los PGPR a las plantas.

Procesos como la Formulación de Nanofertilizantes donde se utilizan nanomateriales, como nanopartículas de sílice, para encapsular o cargar las bacterias PGPR., ayuda a proteger las bacterias y facilita su liberación controlada. Brindar una mayor estabilidad que ofrecen protección a las bacterias PGPR, lo que les permite sobrevivir mejor en el suelo y en condiciones ambientales adversas. La tecnología de nanomateriales permite una liberación gradual de las bacterias PGPR, lo que garantiza una interacción prolongada con las raíces de las plantas y una mayor eficacia. Mejoran la absorción y la capacidad de las plantas para absorber nutrientes del suelo, lo que lleva a un mejor crecimiento y rendimiento. Ayudan a la reducción del uso de fertilizantes químicos lo que es beneficioso para el medio ambiente y la sostenibilidad agrícola. Es importante señalar que esta tecnología es relativamente nueva y está en constante evolución. La investigación y el desarrollo continuos son necesarios para optimizar la eficacia y la seguridad de los nanofertilizantes a base de bacterias PGPR, así como para comprender su impacto en el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Las bacterias PGPR representan una herramienta valiosa para el aumento de la productividad agrícola, la reducción de la dependencia de productos químicos y la promoción de la sostenibilidad en la agricultura. Su estudio y aplicación siguen siendo temas importantes en la investigación agrícola y el desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Las bacterias PGPR tienen la capacidad de mejorar la salud y el crecimiento de las plantas al promover la absorción de nutrientes, controlar patógenos, y ayudar a tolerar el estrés abiótico. La utilización de bacterias PGPR puede reducir la necesidad de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que

contribuye a la agricultura sostenible y a la conservación del medio ambiente.

El aislamiento y la identificación precisos de cepas PGPR son fundamentales para su aplicación efectiva en la agricultura.

La formulación de nanofertilizantes y productos bioestimulantes a base de bacterias PGPR promete mejorar aún más su eficacia en la promoción del crecimiento de las plantas. Por ello, la investigación en el campo de las bacterias PGPR está en constante evolución, lo que significa que seguimos descubriendo nuevas cepas y aplicaciones para mejorar la agricultura.

REFERENCIAS

1. Banerjee, M.R., L. Yesmin y J.K. Vessey. 2006. Plant growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. p. 137-181. En: (ed.). R. M. K. (ed.). Handbook of microbial biofertilizers. Food Products Press. New York.
2. Berge, O., P. Mavingui y T. Heullin. 2011. Exploring Diversity of Cultivable Aerobic Endospore-forming Bacteria: From Pasteurization to Procedures Without Heat-Shock Selection. En: Logan N. A. y vos P. d. (eds). Endospore forming soil bacteria, Vol. 27. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York.
3. Brown, M.E. 1974. Seed and root bacterization. Annual Review of Phytopathology 12, 181-197.
4. Ehrlich, H.L. y C.L. Brierley. 1980. Microbial mineral recovery. New York. p.
5. Enfermedades de las plantas: Manejo biológico:101-131.
6. Fuentes, R.L. y M.J. Caballero. 2006. Bacteria Biofertilizers. p. 143 - 145. En: Siddiqui Z. A. (ed.). PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer. Netherlands.
7. Garbeva, P., J.A. Van Veen y J.D. Van Elsas. 2002. Predominant Bacillus spp. in Agricultura! Soil under Different Management Regimes Detected via PCR-DGGE, pp. 302-316 Microbial Ecology, Vol. 45, New York.
8. Germán Bou, Ana Fernández-Olmos, Celia García, Juan Antonio Sáez-Nieto, Sylvia Valdezate, Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología, Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica, Volume 29, Issue 8, 2011, Pages 601-608, SSN 0213-005X.
9. Hassan, G., M.Y. Zargar y G.M. Beigh. 1997. Biocontrol of Fusarium Root Rot in the Common Bean (Phaseolus vulgaris L.) by using Symbiotic Glomus mosseae and Rhizobium leguminosarum1. Microb. Ecol 34, 74-80.
10. Hernández, F.D., A. Aguirre, R.H. Lira, E. Guerrero y G. Gallegos. 2006. Biological efficiency of organic. Biological and chemical products against Alternaria dauci Kühn and its effects on carrot crop. International Journal of experimental botany 75, 91-101.
11. Hofte, H. y H.R. Whiteley. 1989. Insecticidal crystal proteins of Bacillus thuringiensis. Microbiological Reviews 53, 242-255. Raaijmakers, J.M., M. Vlami y J. De Souza.. 2002. Antibiotic production by bacteria biocontrol agents, Wageningen University. 537-544 p.
12. Logan, N.A. y G. Halket. 2011. Developments in the Taxonomy of Aerobic, Endospore-forming Bacteria. p. 1-29. En: Logan N. A. y P. de vos (eds).
13. Endospore forming soil bacteria, Vol. 27. soil biology ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York.
14. Moneada, R. y L. Sierra. 2009. Purificación y caracterización parcial de extractos de Bacillus subtilis UA321 activos contra Mycosphaerella fijiensis, EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia. p.
15. Nakkeeran, S., F.W. Dilantha y Z.A. Siddiqui. 2006. Plant growth promoting

- rhizobacteria formulations and its scope in commercialization for the management of pests and diseases. p. 297. En: Siddiqui Z. A. (ed.). PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer. Netherlands.
16. Ramírez, M.C. 2008. Rizobacterias asociadas a crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tevelev), Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia. p.50
 17. Ramírez, C.A. y J.W. Kloepper. 2011. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.
 21. Rojas, T. A. (2011). Manual de Microbiología Conceptos y Práctica de
 22. Schaad, N. W., Jones, J. B. y Chun, W. (2001). Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria (3a ed.). APS PRESS, St. Paul Minnesota.
 23. Sneath, P.H. 1984. Endospore forming gram positive rods and cocci. p. 1114. En: Sneath P. H. (ed.). Bergey's Manual of Systematic bacteriology, Vol. 2. Williams & Wilkins. Baltimore.
 18. Ramírez, M.C. 2012. Bacterias asociadas a raíces de *Musa* spp.: densidad poblacional y potencial promotor de crecimiento vegetal Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia. p.
 19. Rodriguez, H. y R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances 17, 319-339.
 20. Rodríguez, M. M. L. (2006). Manual para la identificación de bacterias fitopatógenas. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Microbiología General. Universidad Nacional de Colombia.
 24. Van Veen, J.A., L.S. Van Overbeek y J.D. Van Elsas. [1997]. Fate and activity of microorganisms introduced into soil. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 61(2), 121.
 25. Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255, 571-586.

TRANSFORMANDO RESIDUOS DE AGUACATE EN SOLUCIONES SOSTENIBLES PARA EL TOLIMA

Transforming Avocado Waste into Sustainable Solutions for Tolima

Diana Palacios Arrieta, ⁽¹⁾ Maggy Estefany González Vanegas ⁽²⁾, Edna Piedad Ticora Lozano ⁽³⁾

1. Ingeniera Ambiental y de Saneamiento, 2. Ingeniero Agroindustrial, Magister en Innovación, 3. Ingeniero de Sistemas, Médico Veterinario, Maestrante. Sena - Centro de Industria y construcción, Instructor Sennova. Grupo de investigación Gidis, Ibagué, Colombia.

Correo electrónico dpalacios@sen.edu.co 1, megonzalez@sen.edu.co 2, eticora@sen.edu.co 3

RESUMEN

Este proyecto de investigación tiene como objetivo generar valor agregado a través de la transformación de los residuos de aguacate cultivados en la Región del Tolima en un biomaterial innovador, destinado a la elaboración de elementos de un solo uso.

Conscientes de la creciente necesidad de alternativas sostenibles y amigables con el medio ambiente, se busca aprovechar los residuos de aguacate para reducir la dependencia de los materiales tradicionales no biodegradables.

El enfoque metodológico abarca utilización de materias primas vegetales combinados con aditivos, inicialmente, se llevará a cabo un diseño experimental de mezclas para evaluar la influencia de diferentes proporciones de semilla de aguacate, y otro elemento

Este proyecto se destaca por su colaboración activa con las asociaciones de aguacateros de la región, involucrándolos en la concienciación respecto del aprovechamiento del aguacate incluso aquel que puede considerarse de descarte, buscando con ello promover la sostenibilidad y brindar oportunidades económicas locales.

Palabras Claves:

Utilización de residuos; Plásticos de un solo Uso; Contaminación ambiental; Desarrollo sostenible, Biomateriales, Biotecnología

ABSTRACT

The objective of this research project is to generate added value through the transformation of avocado waste grown in the Tolima region into an innovative biomaterial for the production of single-use items. Aware of the growing need for sustainable and environmentally friendly alternatives, the project seeks to take advantage of avocado waste to reduce dependence on traditional non-biodegradable materials.

The methodological approach encompasses the use of vegetable raw materials combined with additives. Initially, an experimental design of mixtures will be carried out to evaluate the influence of different proportions of avocado seed, and another element, avocado seed, will be used as an additive.

This project stands out for its active collaboration with avocado growers' associations in the region, involving them in raising awareness about the use of avocados, even those that can be considered discarded, thereby promoting sustainability and providing local economic opportunities.

Keywords:

Waste utilization; Single-use plastics; Environmental pollution; Sustainable development, Biomaterials, Biotechnology



INTRODUCCIÓN

El departamento del Tolima demográficamente cuenta con 1'367.802 Habitantes los cuales se encuentran en mayor medida concentrados en zonas urbanas (Reyes y Ramírez, 2022). Limita con los departamentos de Caldas (al norte), Cundinamarca (al este), Huila (al sur), Valle del cauca, Risaralda y Quindío (al oeste).

Dentro de su territorio se distinguen una gran variedad de climas y suelos, presenta una gran biodiversidad de ecosistemas, fauna y flora; en el marco de las cordilleras central y oriental se pueden encontrar bosques secos, andinos, subandinos, paramos y nevados (Reyes y Ramírez, 2022). Esta gran variedad permite el desarrollo de varias industrias agrícolas y turísticas. El departamento cuenta con diversas fuentes hídricas siendo la principal el río Magdalena que cruza de sur a norte, otras cuencas importantes son el río Saldaño, Coello, Gualí, Recio, Lagunilla, entre otros, la mayoría de estos nacen de los picos nevados y desembocan en el Magdalena.

En las últimas décadas el departamento del Tolima ha presentado un aumento en el PIB, para 2019 tuvo un crecimiento de 2,7% (Reyes y Ramírez, 2022). Sin embargo, ha perdido participación en el PIB nacional llegando 2,08% para el 2023 (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2023).

ESTADO DEL ARTE.

Actualmente la acumulación de plásticos en fuentes hídricas es uno de los mayores problemas a nivel mundial, debido al constante uso de polímeros sintéticos tradicionales los cuales son elaborados con productos petroquímicos cuya sostenibilidad ambiental a largo plazo no es viable, por esto desplazó hacia la búsqueda de polímeros biodegradables.

De esta forma, se plantea el uso de la semilla de aguacate como materia prima para el desarrollo de un biomaterial que se emplee para la sustitución del plástico tradicional en elementos de un solo uso tales como platos, vasos y cubiertos desechables. Esto teniendo en cuenta que el departamento del Tolima es el principal productor de aguacates a nivel nacional, teniendo así también la mayor cantidad de residuos provenientes de esta industria (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). En la tabla 1 se puede apreciar el aumento de producción y área sembrada entre 2019 y 2020.

	2019		2020	
	Área Sembrada (ha)	Producción (t)	Área Sembrada (ha)	Producción (t)
Tolima	15.247	84.341	23.681	90.245

Tabla 1. Área sembrada y producción de aguacate en el Tolima (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Ahora bien, en Colombia se han planteado diversas formas de aprovechar estos desechos describiendo a continuación algunos:

En Córdoba se planteó la extracción de aceite a partir de la semilla del aguacate donde se concluyó que este presenta Fitoesteres, ácidos grasos y polifenoles que tienen beneficios para el metabolismo, además de tener actividad antioxidante, cardioprotectora, antiinflamatoria, neurológica y dermatológica. También el proceso de extracción artesanal se presenta como una alternativa que brinda la oportunidad de crecimiento económico con el fin de lograr una mejor calidad de vida para las personas de la comunidad (González, 2021).

En Pamplona Norte de Santander se propuso la obtención de antioxidantes y gases de síntesis empleando como materia prima la semilla de aguacate choquette, donde se determinó la capacidad antioxidante y se realizó la simulación utilizando los datos de descomposición térmica por medio de aspen plus. Todo esto con el fin del uso de los antioxidantes en productos alimenticios (Camacho-Jaraba, 2017).

En Bolívar se proyectó la posibilidad de transformar la semilla del aguacate en bio-carbón el cual presenta diversos usos entre ellos como precursor energético o de ser llevado a carbón activado puede emplearse en la producción de filtros para agua potable debido a su capacidad adsorción (Mallarino-Miranda et al, 2020).

En Nariño se plantea el aprovechamiento de estos residuos mediante la producción y comercialización de aromáticas hechas a base de semilla de aguacate impulsando la economía de la región (Narváez-Figueroa, 2018).

En Bucaramanga se planteó la extracción artesanal de aceite esencial a partir de los desechos generados en el centro de abastos local permitiendo producir 20 L de forma semanal, logrando un aceite con olor y color agradable, además de propiedades como viscosidad, densidad y huella espectral que cumplen con los estándares para ser comercializado (Contreras y Barajas, 2021).

En Manizales se ha empleado la semilla para la obtención de extractos acuosos tipo colorantes y aceites a partir de la pulpa proveniente de aguacates no aptos para el consumo como insumos básicos para la producción de un jabón líquido (Hennessey, 2017).

En Bogotá se ha planteado el desarrollo de diversos productos como harina a base de semilla de aguacate, primero se raya la semilla y se realiza el

RESULTADOS

Con el presente proyecto de investigación se esperan resultados con beneficios significativos en la búsqueda de soluciones sostenibles basadas en biomateriales. Se espera obtener un biomaterial innovador a partir de residuos de aguacate que cumpla con las propiedades mecánicas y físicas deseadas. Los resultados abarcarán la identificación de alternativas de valorización de los residuos de aguacate, lo que contribuirá a la gestión más eficiente de los desechos agrícolas. Además, se definirán las condiciones y componentes ideales para la formulación de los biocompuestos en el laboratorio, brindando información crucial para la producción eficaz y controlada del biomaterial.

La validación del prototipo mediante pruebas de laboratorio permitirá evaluar su desempeño en términos de propiedades mecánicas y su degradación, confirmando su idoneidad como alternativa a los productos convencionales no biodegradables. Se prevé que estos resultados no solo respalden la viabilidad técnica y económica de este enfoque, sino que también abran la puerta a la adopción de materiales más ecológicos en la industria de productos de un solo uso. Con el logro de estos objetivos, se sentarán bases sólidas para avanzar hacia un futuro más sostenible y consciente en la producción y utilización de biomateriales.

proceso de secado, posteriormente se tritura convirtiéndose en harina que se puede emplear en productos de pastelería sustituyendo parcial o completamente la harina tradicional, sin embargo, esto afecta las propiedades organolépticas de los productos finales, por ejemplo, las galletas no presentan la crujencia tradicional (Rodríguez y Parra, 2021).

En Bogotá se planteó la viabilidad de una planta productora de aceite de aguacate empleando la semilla, teniendo en cuenta el bajo costo de la materia prima, con la finalidad es obtener un aceite de alta calidad que cumpla con los estándares necesarios para la industria cosmética (Monsalve y Ramos, 2019).

CONCLUSIONES

Esta investigación contribuye al desarrollo responsable, alienta la adopción de biomateriales y subraya la importancia de la colaboración multidisciplinaria en la creación de soluciones ambientales. Se puede evidenciar que el proyecto de Investigación resalta la viabilidad de transformar residuos de aguacate en biomateriales con propiedades mecánicas adecuadas.

Los resultados obtenidos hasta el momento respaldan la creación de alternativas sostenibles a los productos no biodegradables, fomentando la economía circular y la gestión eficiente de desechos agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Por el Apoyo en el desarrollo de esta propuesta de investigación en su fase inicial:

Al Centro de formación de Industria y Construcción a través de relacionamiento de las monitorias de los aprendices en formación del Programa de Prevención y Control Ambiental **Juan Sebastián Guzmán Niño, Deiler Elián Romero Sáenz**; al Laboratorio De Servicios – **Servianalisis** de Centro de formación, Agropecuario La Granja por su compromiso en el análisis de las muestras; al apoyo técnico, la Profesional en el área química **Laura Patricia Robayo Valderrama**; finalmente destacamos el apoyo de las asociaciones de aguacateros de la región del Tolima sector **Alvarado y Cajamarca**.

REFERENCIAS

1. Camacho-Jaraba, E.S. (2017). Aprovechamiento de la semilla de aguacate choquette (Persea americana Mill choquette); para uso como antioxidante y gas de síntesis. Universidad de Pamplona.
2. Contreras, L.K. & Barajas, K.J. (2021). Aprovechamiento de residuos aguacates generados en centro abastos de Bucaramanga para la producción de aceites esenciales. Universidad Nacional Abiertas y a Distancia. Bucaramanga.
3. Delgado, M., Ulloa, C.S. & Ramírez, J.M. (2015). LA ECONOMÍA DEL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA: DIAGNÓSTICO Y PERSPECTIVAS DE MEDIANO PLAZO. FEDESARROLLO: Centro de Investigación Económica y Social.
4. González, L.M. (2021). Potencialidades del aceite de la semilla de aguacate en la salud y su sostenibilidad ambiental y económica. Universidad de Córdoba.
5. Hennessey, L. (2017). Aprovechamiento de la semilla de aguacate variedad Lorena como un colorante natural y del aceite de mesocarpios residuales de la variedad Hass

como componentes funcionales en un jabón líquido. Universidad de Manizales.

6. Mallarino-Miranda, L.P., Tejeda-Benítez, L.M., Jiménez-Escalante, M., González-Delgado A.D. & Tejeda Benítez, L.P. (2020). Aprovechamiento sostenible del aguacate (Laurus persea) para la obtención de producto de valor agregado en los Montes de María en el departamento de Bolívar -Colombia. SENA Centro Agroempresarial y Minero Regional Bolívar.
7. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). Cadena Productiva Aguacate.
8. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2023). Perfiles Económicos Departamentales: Departamento del Tolima. Oficina de Estudios Económicos.
9. Monsalve, C.Y. & Ramos, Y.L. (2019). Estudio de prefactibilidad en la cadena productiva del aguacate para aprovechamiento de residuos del fruto en la industria cosmética. Universidad Agustiniana.
10. Narváez-Figueroa, F.M. (2018). Modelo de negocios para implementar una planta productora y comercializadora de aromáticas a base de semilla de aguacate en el municipio de la Unión – Departamento de Nariño. Universidad de Nariño.
11. Reyes, J.E. & Ramírez J.C. (2022). Vínculos urbano-rurales en el departamento de Tolima (Colombia). Serie Estudios y Perspectivas-Oficina de la CEPAL en Bogotá.
12. Rodríguez, L.N. & Parra, L.S. (2021). Desarrollo y caracterización de galletas funcionales a partir de harina de semilla de aguacate. Universidad de los Andes. Bogotá D.C.

SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO PARA CULTIVOS CÍTRICOS BAJO EL CONCEPTO IOT

Willy Alejandro Cortes Lozano, Juan Carlos García Rubio

1. Ingeniería Electrónica, Universidad de Ibagué. Estudiante. INNOVAGRO, Ibagué, Colombia.
w.illy320@hotmail.com
2. Ingeniero Electrónico, GI Senagrotic, Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima – Tecnoparque Tolima. Espinal – Tolima, Colombia. jucgarcia@sena.edu.co

RESUMEN

Los sistemas de riego para cultivos son un mecanismo conformado por una serie de estructuras, las cuales permiten el transporte de líquidos para suplir los recursos necesarios para los cultivos. Hoy en día un sistema de riego autosostenible beneficia a la comunidad agrícola en costos, tiempo y reducción del impacto ambiental. Este proyecto tiene como objetivo facilitar el control y supervisión del cultivo al agricultor en épocas de sequía o de situaciones críticas para garantizar un efectivo y correcto desarrollo de cultivos de cítricos. Además, reducir costos por mano la intervención de la mano de obra humana.

El desarrollo del sistema automatizado consta de un controlador ESP32-WROOOM-32U para el control electrónico, el cual se compone por un conjunto de sensores para la recolección de datos sobre el cultivo. Estos datos son procesados por medio del controlador programado, dando respuesta por medio de actuadores como electrobombas y electroválvulas, los cuales son conectados al sistema del suministro hídrico para el riego. Para el sistema de control automatizado es necesario e importante llevar el control base a las especificaciones técnicas de la planta que compone al cultivo cítrico para mantener el cultivo en óptimas condiciones ambientales del terreno, garantizando un cultivo sano y de calidad.

Estas especificaciones se almacenan en memoria dependiendo el tipo del cultivo cítrico, en donde se especifica la temperatura adecuada de la planta, la humedad máxima y mínima y la intensidad de luz permitida que este debe recibir. Éstos datos son proyectados mediante una LCD. Además, permite la conexión a internet para permitir al usuario pueda monitorear el cultivo en tiempo real desde cualquier parte del país mediante una aplicación móvil y página en computadoras.

Palabras Claves:

Cultivo, Cítricos, Controlador, Automatización, IOT, Sensado.

ABSTRACT

Irrigation systems for crops are a mechanism composed of a series of structures that allow the transport of liquids to supply the necessary resources to the crops. Today a self-sustaining irrigation system benefits the agricultural community in costs, time and reduction of environmental impact. This project aims to facilitate the control and supervision of the crop for the farmer in times of drought or critical situations to guarantee effective and correct development of citrus crops. In addition, reducing costs due to human labor intervention.

The development of the automated system consists of an ESP32-WROOOM-32U controller for electronic control, which is composed of a set of sensors for collecting crop data. This data is processed through the programmed controller, responding through actuators such as electric pumps and solenoid valves, which are connected to the water supply system for irrigation. For the automated control system, it is necessary and important to carry out a control based on the technical specifications of the plant that makes up the citrus crop to maintain the crop in optimal environmental conditions of the land, guaranteeing a healthy and quality harvest.

These specifications are stored in memory depending on the type of citrus crop, where the appropriate temperature of the plant, the maximum and minimum humidity and the permitted light intensity that it must receive are specified. This data is projected using an LCD screen. In addition, it allows internet connection to allow the user to monitor the crop in real time from anywhere in the country through a mobile application and a computer page.

Keywords: Crop, Citrus, Controller, Automation, Sensing.



INTRODUCCIÓN

La agricultura ecológica, orgánica y biológica son procesos que pueden ser usados en contra del cambio climático ya que en estos modelos no se hace uso de productos químicos ni pesticidas, se implementa al máximo el uso de energías renovables, se emplean la rotación de cultivos, se preserva la biodiversidad y se mejora la fertilidad de los suelos [1].

El agua es un factor muy importante para los cultivos, por eso mismo se debe tener una correcta distribución de esta junto con los nutrientes necesarios para las plantas. De acuerdo con lo anterior, se procede a hacer una evaluación química de los sustratos, para que estos tengan una buena absorción de los nutrientes es necesario tener un pH óptimo. Para garantizar una efectividad de que esto se cumpla, se pueden usar dispositivos que distribuyen de manera uniforme el agua y sus nutrientes teniendo como resultado un mejor desarrollo del cultivo [2].

El efecto positivo de los sistemas de riego se ve directamente reflejado tanto en el ámbito social como económico, ya que genera empleo y la posibilidad a las personas de obtener productos provenientes de cultivos de alta calidad para así aumentar sus posibilidades de ingreso al mercado. Sin embargo, el impacto ambiental de los sistemas de riego debe ser considerado un aspecto a mejorar, con el fin de potenciar aspectos visuales y culturales de algunas zonas. Un ejemplo de contribución con el medio ambiente y de minimización de impactos negativos es el ahorro considerable del consumo de agua [3].

El cultivo de cítricos presenta determinadas necesidades, en referencia a las condiciones del suelo y clima en las cuales se desarrolla y produce mejor. Aunque teóricamente estas se conocen, e incluso son numeradas en forma casi precisa por diferentes autores y/o tratados. En la práctica no se encuentran reunidas todas en el sitio en donde se desea establecer la plantación. Esto no significa que no pueda cultivarse en aquellas localidades que posean una o más características diferentes a las consideradas como las óptimas para el cultivo, lo cual ocurre con frecuencia, pero cuanto más se aproximen las condiciones presentes a las necesidades teóricas específicas, se incrementan las posibilidades de éxito [4].

El sistema de riego determina el éxito o el fracaso de un cultivo cítrico. En Colombia se presenta escasez de lluvia, lo cual causa pérdidas significativas en el sector agropecuario, el riego permite que las plantas mantengan un flujo constante de agua y nutrientes del suelo hacia las hojas, favoreciendo la fotosíntesis y la transpiración, por esto se obtienen árboles más productivos y con mejores frutos. Las plantas cítricas presentan una ventaja con respecto a los demás cultivos, ya que se pueden adaptar a cualquier tipo de clima, aunque se considera que la temperatura ideal varía entre los veinte y treinta grados centígrados para que las plantas tengan un correcto desarrollo, ya que los cítricos son plantas perennes, ellas transpiran todo el año, por ende, la cantidad de agua que requieren para su correcto desarrollo es la suma de la evaporación de agua del suelo y de la transpiración por las hojas [5].

ESTADO DEL ARTE

Sistemas de riego

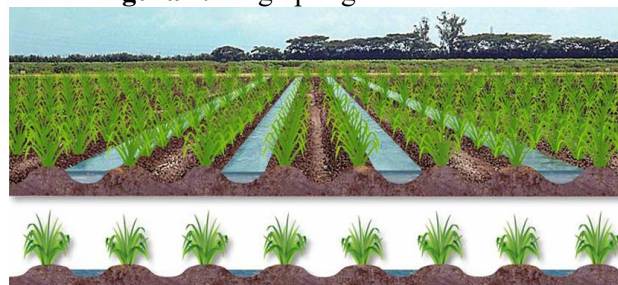
La implementación de los sistemas de riego en la agricultura es una práctica común en todo el mundo. Los sistemas de riego son una forma eficiente de proporcionar agua a los cultivos, especialmente en áreas donde la precipitación es limitada. Existen diferentes tipos de sistemas de riego que se utilizan en la agricultura, cada uno con sus propias desventajas.

• Riego por gravedad

El riego por gravedad es uno de los sistemas de riego más antiguos y simples. En este método, el agua se suministra a través de canales o surcos que se construyen en la superficie del suelo, tal como se ilustra en la figura 1. El agua fluye por gravedad desde la fuente de suministro y se distribuye a los cultivos. Este sistema de riego es adecuado para terrenos planos y no requiere energía adicional para su funcionamiento. Sin embargo, el riego por gravedad es ineficiente y puede llevar a una pérdida significativa de agua debido a la evaporación y la filtración del suelo [6].

Una de las principales ventajas del riego por gravedad es su bajo costo. A diferencia de otros métodos de riego, como el riego por aspersión o el riego por goteo, el riego por gravedad no requiere equipos costosos. En cambio, se utiliza la gravedad para llevar el agua desde una fuente de suministro hasta los cultivos. Además, el riego por gravedad es un método de riego de baja tecnología que es fácil de mantener y reparar. Sin embargo, el riego por gravedad también tiene algunas desventajas. Una de las principales desventajas es que el agua no se distribuye uniformemente en los campos del cultivo. A medida que el agua se mueve por los canales de riego, algunos sectores reciben más agua que otros, lo que puede resultar en un uso ineficiente del agua y una menor producción del cultivo. Además, el riego por gravedad requiere un terreno relativamente plano para que funcione correctamente, lo que puede limitar su uso en algunas áreas.

Figura 1. Riego por gravedad con surcos.



Fuente: Cenicaña (6-Abr-2015)-

• Riego por aspersión

El riego por aspersión es otro tipo de sistema de riego comúnmente utilizado en la agricultura. En este método, el agua se suministra a través de tuberías con boquillas que rocían el agua sobre los cultivos, tal como se ilustra en la figura 2. Este sistema de riego es adecuado para áreas con terrenos irregulares y puede proporcionar una distribución uniforme del agua. Sin embargo, el riego por aspersión puede ser costoso y puede requerir una cantidad significativa de energía para su funcionamiento [6].

El riego por aspersión ofrece varias ventajas sobre otras técnicas de irrigación, como el riego por surcos y el riego por goteo. En primer lugar, el riego por aspersión es más eficiente que el riego por surcos, ya que reduce la evaporación del agua y minimiza la pérdida de agua por filtración. En segundo lugar, el riego por aspersión es más económico que el riego por goteo, ya que requiere menos equipo y menos mano de obra [7].

Aunque el riego por aspersión tiene varias ventajas, también presenta algunos inconvenientes. En primer lugar, el riego por aspersión puede aumentar la erosión del suelo debido al impacto del agua sobre la superficie del suelo. En segundo lugar, el riego por aspersión puede aumentar la incidencia de enfermedades fúngicas y bacteriana en las plantas debido a la humedad constante en las hojas. A pesar de los inconvenientes, el riego por aspersión sigue siendo una técnica de irrigación popular. En un estudio realizado en España, se encontró que el riego por aspersión fue la técnica de irrigación más utilizada en las áreas agrícolas estudiadas, representando el 80% del total de la superficie regada [8].

Figura 2. Riego por aspersión.



Fuente: PortalFrutícola (20-Mar-2020).

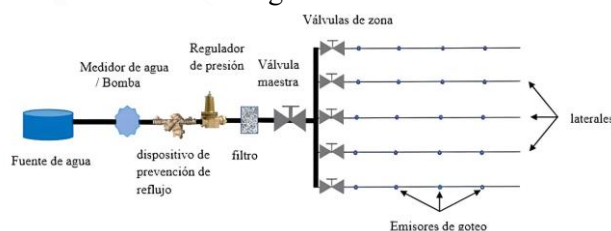
• Riego por goteo

El riego por goteo es un tipo de sistema de riego que es cada vez más popular en la agricultura. En este método, el agua se suministra a través de tuberías que entregan pequeñas cantidades de agua directamente a las raíces de los cultivos. Este sistema de riego es altamente eficiente y puede reducir significativamente la cantidad de agua necesaria para los cultivos, estructura de un sistema de riego por goteo ilustrada en la figura 3. El riego por goteo también puede mejorar la calidad de los cultivos y reducir la proliferación de enfermedades debido a la menor cantidad de agua en la superficie de los cultivos. Sin embargo, el riego por goteo puede ser costoso y requiere una inversión inicial significativa [6].

El impacto del riego por goteo en la agricultura y el medio ambiente es significativo. En la agricultura, el riego por goteo se ha utilizado con éxito en una variedad de cultivos, desde hortalizas hasta árboles frutales. Además, la técnica también se ha utilizado para mejorar la productividad y el rendimiento de los cultivos en condiciones de sequía. Un estudio realizado en la India encontró que el uso del riego por goteo en el cultivo de algodón mejoró el rendimiento del cultivo en un 50%, redujo el consumo de agua en un 45% y redujo la cantidad de fertilizantes utilizados en un 30%. Además, el riego por goteo también puede reducir significativamente el impacto ambiental de la agricultura, al reducir la contaminación del agua y la erosión del suelo. Esto se debe a gran parte al hecho de que el agua se suministra directamente a las raíces de las plantas, lo que reduce la cantidad de agua que se escurre y

reduce la carga de nutrientes y pesticidas en los cuerpos de agua cercanos. Además, el riego por goteo también puede reducir la erosión del suelo al reducir la cantidad de agua que escurre, lo que a su vez reduce la cantidad de sedimentos que se depositan en los cuerpos de agua cercanos [9].

Figura 3. Esquema de un sistema de riego por goteo.



Fuente: Haimanote K. Bayabil, UF/IFAS.

Automatización de sistemas de riego

La automatización de un sistema de riego es un proceso que implica el uso de tecnologías modernas para controlar y monitorear la cantidad y frecuencia del riego. Este proceso es vital para la agricultura moderna, ya que permite mejorar la eficiencia en el uso del agua y reducir los costos de producción.

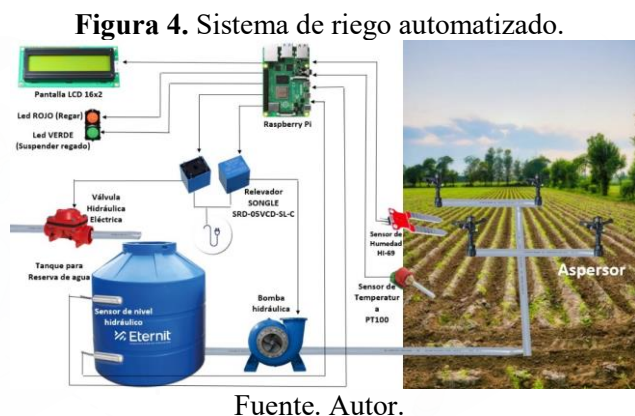
En primer lugar, la automatización de un sistema de riego tiene numerosos beneficios para la agricultura. Algunos de estos beneficios incluyen una mejor utilización del agua, una reducción en el consumo de energía, una mejora en la calidad del cultivo y una mayor productividad en general. Por ejemplo, un estudio realizado en España encontró que el uso de riego automatizado mejoró la eficiencia del uso del agua en un 25% y redujo el consumo de energía en un 50% [10]. Además, la automatización de un sistema de riego puede mejorar la calidad del cultivo y aumentar su producción. Un estudio realizado en Brasil encontró que el uso de un sistema automatizado mejoró la calidad del cultivo de lechuga y redujo los costos de producción en un 30% [11].

La automatización de un sistema de riego también puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. La sobreexplotación de los recursos hídricos puede tener un impacto negativo en el medio ambiente y la biodiversidad. Por lo tanto, es importante implementar tecnologías de riego sostenibles y eficientes para reducir este impacto negativo [12].

Uno de los componentes más importantes en un sistema de riego automatizado son los sensores, los cuales son utilizados para medir variables como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar y la velocidad del viento. La información recolectada por los sensores es utilizada para ajustar la cantidad de agua aplicada y mejorar la eficiencia del sistema de riego. Un estudio realizado por Zhang (2015), encontró que la implementación de sensores de humedad del suelo redujo el uso del agua en un 20-30% en comparación con el riego convencional.

Otro componente importante en un sistema de riego automatizado son los controladores, los cuales son utilizados para procesar la información recolectada por los sensores y tomar decisiones en tiempo real sobre la cantidad de agua que debe ser aplicada. Un estudio realizado encontró que la implementación de un controlador de riego basado en un modelo de red neuronal mejoró la eficiencia del riego en un 40-60%.

Finalmente, las válvulas son otro componente importante en un sistema de riego automatizado, ya que son utilizadas para controlar el flujo de agua hacia las diferentes áreas del campo [13]. Un sistema de riego totalmente automatizado se asemeja al ilustrado en la figura 4.

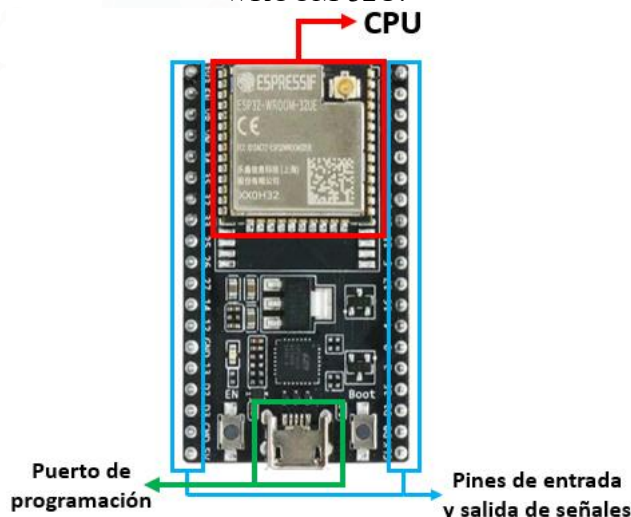


Controladores

Los controladores electrónicos son dispositivos que se utilizan para regular y controlar el funcionamiento de sistemas y procesos en la industria. Estos controladores son capaces de recibir señales de entrada, procesarlas y enviar señales de salida para controlar dispositivos y sistemas, con el fin de mejorar la eficiencia, la precisión y la fiabilidad de los procesos industriales [14].

La mayoría de los controladores se dividen en tres partes principales, la entrada, la unidad de procesamiento central (CPU) y la salida, como se ilustra en la figura 5 en un ESP32-WROOM-32U. La entrada es la parte del controlador que recibe la información del mundo exterior y la convierte en una señal digital que la CPU puede procesar. La CPU es la parte del controlador que toma decisiones basadas en la información de entrada y envía señales de salida a la parte de salida del controlador [15].

Figura 5. Controlador y sus partes en ESP32-WROOM-32U.



Sensores

Los sensores son dispositivos que convierten las señales físicas en señales eléctricas que se pueden medir y procesar. Estos dispositivos son fundamentales para la automatización de procesos y sistemas, y su implementación extiende una amplia variedad de aplicaciones, desde la medición de temperatura y presión hasta la detección de movimiento y la monitorización ambiental [16].

Tipos de sensores

Uno de los sensores mas comunes es el sensor de temperatura, que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control del clima en edificios hasta la medición de la temperatura en procesos industriales. Los sensores de temperatura pueden ser de contacto o sin contacto, y pueden utilizar métodos para medir la temperatura, como termistores, termopares y termómetros infrarrojos [16].

- **Sensores de temperatura de contacto:** Un sensor de temperatura de contacto es un dispositivo utilizado para medir la temperatura de un objeto o superficie en contacto directo con el sensor, sensor comercial ilustrado en la figura 6. Este tipo de sensor funciona midiendo la transferencia de calor desde el objeto o superficie en contacto con el sensor hacia el propio sensor. Algunos sensores de contacto utilizan termopar, que es un tipo de dispositivo que produce una pequeña corriente eléctrica en respuesta a una diferencia de temperatura. Otros sensores de contacto utilizan termistores, que son dispositivos que cambian su resistencia eléctrica en respuesta a cambios en la temperatura.

Figura 6. Sensor de temperatura de contacto DS18B20 sonda.

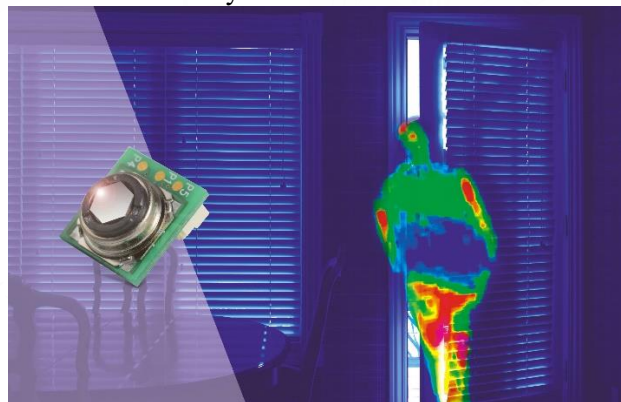


Fuente: ElectroniLab.

- **Sensor de temperatura sin contacto:** Un sensor de temperatura sin contacto es un dispositivo utilizado para medir la temperatura de un objeto o superficie sin necesidad de entrar en contacto directo con él, prototipo del sensor ilustrado en la figura 7. Estos sensores miden la radiación

infrarroja que emite un objeto y utilizan esta información para determinar su temperatura.

Figura 7. Sensor de temperatura sin contacto de muy alta sensibilidad.

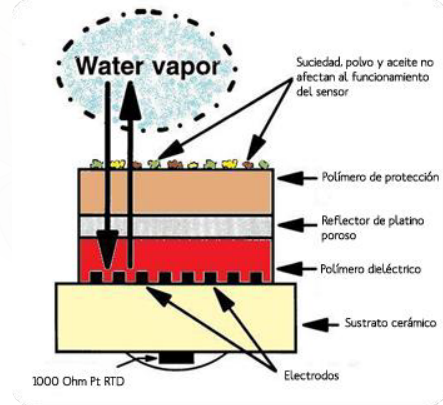


Fuente: Omron Electronic Components (07-Aug-2017).

Los sensores de humedad se utilizan para medir la cantidad de humedad en el aire o en los materiales y se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control de la humedad en edificios hasta la monitorización de la humedad en procesos industriales. Estos sensores pueden ser de diferentes tipos, como sensores de capacitancia y sensores de resistencia [17].

- **Sensores de humedad de capacitancia:** Los sensores de humedad de capacitancia funcionan midiendo la capacidad de un material para almacenar carga eléctrica, sistema de operación ilustrado en la figura 8. Estos sensores están compuestos por dos placas de metal separadas por un material dieléctrico. Cuando el aire que contiene humedad se mueve a través de este espacio, la humedad se condensa en las placas de metal, lo que aumenta la capacitancia del sensor.

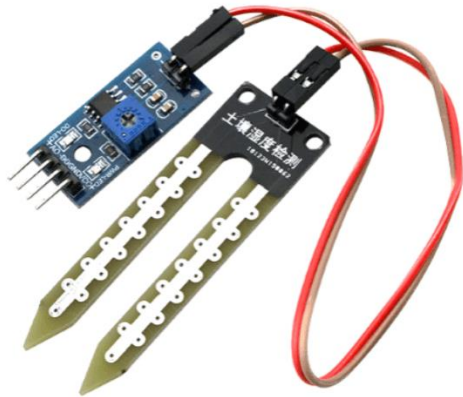
Figura 8. Sensor capacitivo de humedad.



Fuente: Sensorstecnics & Semiconductors (2023).

- Sensores de humedad de resistencia: Los sensores de humedad de resistencia se basan en la propiedad de ciertos materiales de cambiar su resistencia eléctrica en función de la humedad relativa en el ambiente, sensor comercial ilustrado en la figura 9. Estos sensores están compuestos por un material sensible a la humedad, como la cerámica, que se coloca en un circuito eléctrico.

Figura 9. Sensor resistador de humedad.



Fuente: Guía de Mecatrónica, (13-Jan-2020).

Los sensores de luz ultravioleta funcionan midiendo la cantidad de radiación UV presente en un área determinada. El sensor contiene un material sensible a la luz, como el silicio, que convierte la radiación UV en una señal eléctrica. Esta señal se amplifica y se procesa para producir una lectura numérica que indica la intensidad de la radiación UV. Los sensores de luz ultravioleta tienen una variedad de aplicaciones y de un tamaño relativamente pequeño, como se ilustra en la figura 10. En la industria, se utilizan para medir la intensidad de la radiación UV en las plantas de tratamiento de agua, en las plantas

de producción de alimentos y en la industria textil. En el campo de la medicina, se utilizan para medir la exposición a la radiación UV en la piel y para ayudar en el diagnóstico de enfermedades de la piel. También se utilizan en la investigación científica para estudiar el impacto de la radiación UV en el medio ambiente y en los seres vivos. Pueden ser de tipo banda ancha y banda estrecha [17].

- Sensores de luz ultravioleta de banda ancha: Tienen la capacidad de medir la radiación UV en un rango amplio de longitudes de onda.
- Sensores de luz ultravioleta de banda estrecha: Miden la radiación en un rango específico de longitudes de onda.

Figura 10. Sensor de detección UV.



Fuente: Wiltronics Research Pty. Ltd. ABN 26 052 173 154.

Actuadores

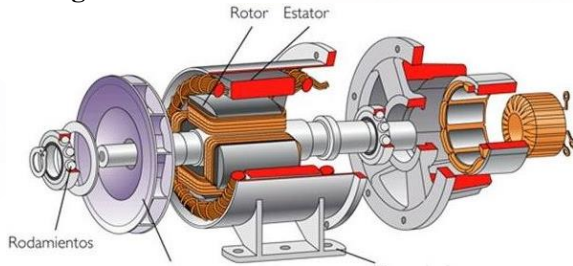
Los actuadores son dispositivos que convierten una señal de entrada en una acción física en un sistema automatizado. Estos son esenciales en la automatización y control de procesos en una amplia variedad de campos, desde una industria manufacturera hasta la robótica [18].

Tipos de actuadores eléctricos

Existen varios tipos de actuadores eléctricos, cada uno diseñado para realizar una tarea específica. Entre ellos se encuentran:

- Motores eléctricos: Estos son los actuadores más comunes en la industria. Convierten la energía eléctrica en mecánica y se utilizan para impulsar todo tipo de maquinarias, desde ventiladores hasta electrobombas. Esquema de un motor eléctrico ilustrado en la figura 11.

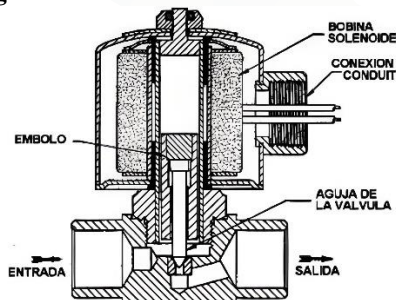
Figura 11. Estructura del motor eléctrico.



Fuente: Areatecnología Edinorugi (2019).

- **Solenoides:** Estos actuadores utilizan un campo magnético generado por una corriente eléctrica para mover un pistón o una válvula. Son utilizados en sistemas de control de fluidos y en dispositivos de seguridad. Estructura interna de un solenoide ilustrada en la figura 12.

Figura 12. Estructura de un solenoide.



Fuente: Válvulas ARCO (02-Mar-2020).

Protocolos de comunicación industrial IOT

Estas redes de control industrial son fundamentales para el control y supervisión de procesos industriales y su implementación adecuada puede mejorar la eficiencia y seguridad en la producción.

• Ethernet/IP

Ethernet/IP es una tecnología de red que combina la funcionalidad de Ethernet y del protocolo de comunicación industrial CIP (Common Industrial Protocol). Este protocolo se utiliza comúnmente en aplicaciones de automatización industrial para comunicar dispositivos de control y supervisión. Ethernet/IP se basa en Ethernet, que es un estándar de red ampliamente utilizado para la comunicación de datos en todo el mundo. El protocolo utiliza paquetes Ethernet para la transmisión de datos y se utiliza principalmente en aplicaciones industriales. El protocolo CIP se ejecuta en la capa de aplicación de Ethernet y

proporciona la funcionalidad necesaria para la comunicación de dispositivos [19].

Ethernet/IP utiliza un modelo de comunicación cliente-servidor para la comunicación de dispositivos. En este modelo, un dispositivo se configura como servidor y otros dispositivos se comunican con él como clientes. El servidor proporciona información a los clientes y también puede recibir información de otros clientes.

RESULTADOS

Las características del dispositivo seleccionadas para su diseño se ajustan de acuerdo a las dimensiones del terreno y a la necesidad del usuario. Las características de diseño se ilustran en la tabla 1.

Tabla 1. Ficha técnica del sistema de riego automatizado.

Sistema inteligente de riego		
Municipio:	San Luis.	
Dirección:	Finca El Diamante.	
Tamaño del terreno:	Media hectárea de terreno.	
Distribución del terreno:	Dos sectores.	
Fuente hídrica:	Aljibe con capacidad de diez mil litros de agua.	
Tipo de riego:	Microaspersión.	
Parámetros electrónicos		
Controlador electrónico:	ESP32-WROOM-32U.	
Protocolo de comunicación IOT:	Ethernet/IP.	
Registro de parámetros de operación:	En memoria.	
Monitoreo:	Pantalla LCD, App móvil y página web.	
Sensado de variables de entrada		
Variable	Sensor	Aplicación
Temperatura	DS18B20	Toma lectura de la temperatura de la tierra en un punto específico del cultivo.
Humedad	YL-69	Toma lectura de la humedad de la tierra en un punto

		específico del cultivo.
Luz ultra violeta	TSL2561	Mide la intensidad de rayos ultravioleta que incide sobre el cultivo y es ubicado en un punto específico del cultivo.
Nivel de agua	Vertical 22mm	Mide el nivel de agua de reserva para la operación del sistema

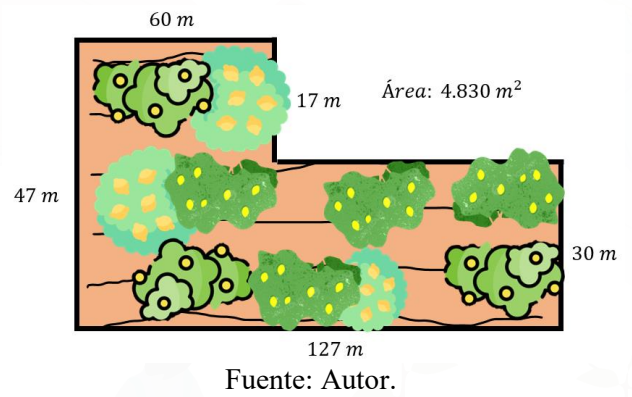
Actuadores en respuesta al sentido de variables de entrada		
Variable	Actuador	Aplicación
Riego	Electrobomba	Permite el riego del cultivo por microaspersión.
Reserva de agua	Electroválvula	Permite el paso de agua desde el aljibe cuando el tanque está vacío.
Condiciones óptimas para un cultivo cítrico		
Variable	Rango de medida	
Temperatura	18°C – 30°C	
Humedad	50% - 60%	
Radiación solar	50% - 70%	
Consumo de agua	1L – 3L m2/día	

Fuente: Autor.

Forma y dimensiones del terreno

Se realiza un croquis de la forma del terreno del cultivo junto a sus dimensiones por cada lado para proceder a analizar y establecer su distribución para la implementación electrónica. Croquis ilustrado en la figura 13.

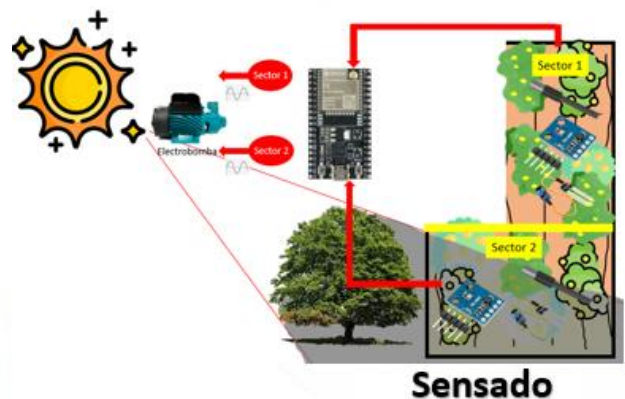
Figura 13. Croquis del terreno del cultivo.



Implementación de la electrónica

Teniendo en cuenta la forma del terreno del cultivo y dimensiones. Además, de las condiciones a su alrededor como árboles o estructuras altas que pueden producir sombras, se realiza la distribución de sensores en el terreno, tal como se ilustra en la figura 14.

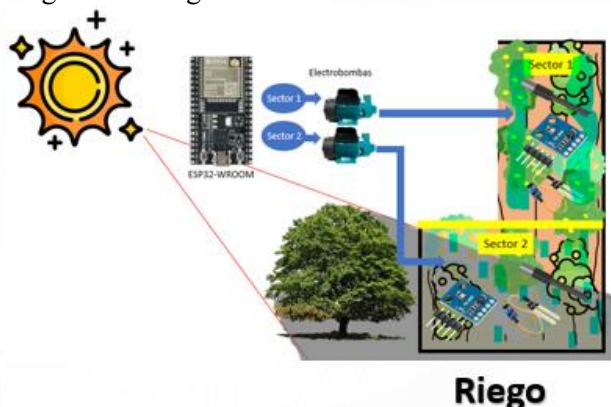
Figura 14. Distribución del terreno y sensores.



Fuente: Autor.

Se divide el terreno en dos sectores para poder garantizar un riego preciso sin pérdidas de agua en sectores con sombra, ubicando los sensores en una planta del centro de cada sector. Además, para prevenir enfermedades en la planta por el exceso de agua. De acuerdo con lo anterior, se establece la asignación de actuadores por sector, asignación ilustrada en la figura 15.

Figura 15. Asignación de actuadores en el terreno.



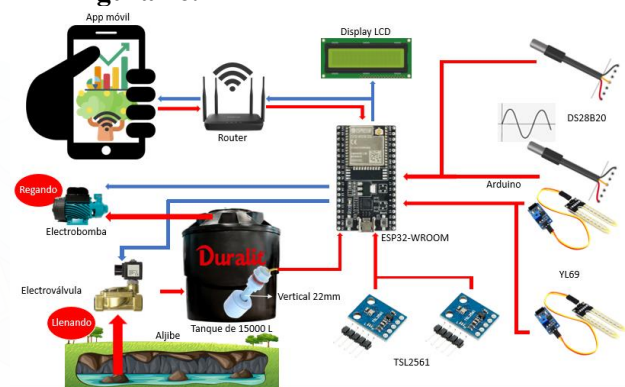
Fuente: Autor.

En la figura 15 se puede apreciar que en el sector dos el riego es mínimo por la sombra a diferencia del sector uno que presenta un riego mucho mayor por estar expuesto totalmente.

Prototipo a diseñar para el sistema de riego automatizado

Se plasma un esquema de flujo en la figura 16, en el cual se establecen las funciones de los componentes que conforman al sistema de riego automatizado para el diseño.

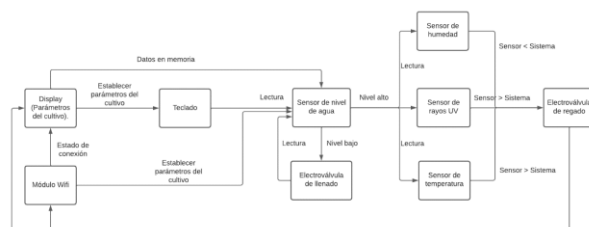
Figura 16. Solución técnica del hardware.



Fuente: Autor.

Por último, se especifica mucho mejor la operación del sistema de riego automatizado en un diagrama de bloques, ilustrado en la figura 17.

Figura 17. Diagrama de bloques del sistema de riego automatizado.



Fuente: Autor.

Aplicación móvil y página web

El sistema de riego automatizado emplea los servicios prestados por ThingSpeak para la transferencia de ratos en tiempo real permitiendo ver todos los datos sensados en gráficas independientes por variables y sectores del cultivo para una mejor apresación junto a la fecha y hora en el cual se transfirió el dato de la variable sensada.

ThingSpeak cuenta con su aplicación móvil gratuita en dispositivos Android y de paga en dispositivos IOS. Para la visualización de datos en la página web para computadoras es totalmente gratuita.

Para ingresar al monitoreo del cultivo desde un dispositivo se debe ingresar la ID del registro del proyecto en la aplicación o página web de ThingSpeak.

El dispositivo empesara a transmitir los datos sensados por los sensores en el cultivo de forma automática una vez el sistema encienda y se haya conectado a internet. EL proceso se describe en la figura 18.

Figura 18. Solución técnica del software.

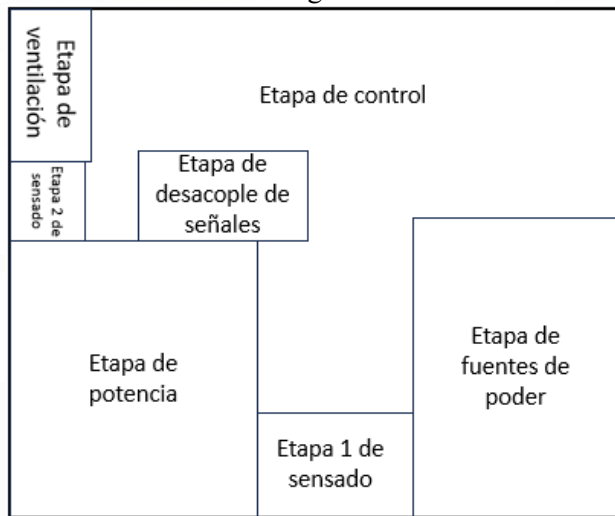


Fuente: Autor.

Esquemas del prototipo físico

Se realiza un esquema del prototipo físico para facilitar las conexiones de los componentes electrónicos del cultivo de forma fácil para el usuario. Además de la distribución interna del sistema para comprender la operación por sectores internos, ilustrado en la figura 19.

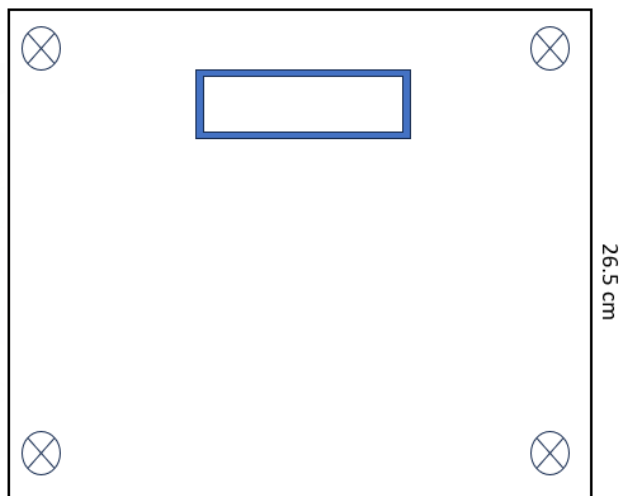
Figura 19. Distribución de etapas que conforman al sistema de riego automático.



Fuente: Autor.

En la cara superficial se encuentra el display LCD para la visualización de datos. Además, de que en los bordes esquineros se encuentran los tornillos de ajuste, en total cuatro tornillos para poder asegurar la tapa del sistema, tal como se ilustra en la figura 20.

Figura 20. Cara superficial principal del sistema.
28.4 cm

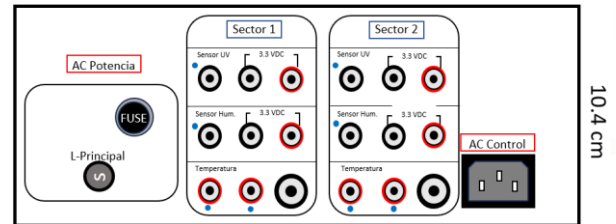


Fuente: Autor.

En la cara inferior se encuentra ubicado el puerto extraíble de poder para control y el cable fijo de poder para potencia con su porta fusible. Además, se encuentran las terminales de los sensores separadas por sectorización. Cada sector cuenta con tres sensores que sensan la intensidad de los rayos ultravioleta, la humedad del suelo y la temperatura

del suelo. Adicionalmente, para cada sensor se adaptan terminales de suministro de cinco 3.3 voltios para su polarización. Esta cara inferior se ilustra en la figura 21.

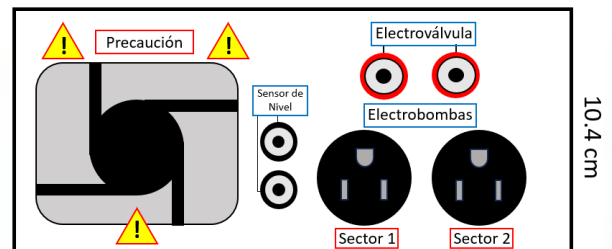
Figura 21. Cara inferior del sistema.
28.4 cm



Fuente: Autor.

En la cara lateral izquierda se encuentran los puertos de salida de potencia, en donde se ubican dos enchufes hembras redondos de caucho para el control de las electrobombas del sector uno y dos. Superior a estas se encuentran las borneras para el control de la electroválvula de llenado del tanque. En el centro de esta cara se encuentran las borneras para la conexión de la bomba para el sensado del nivel de agua y en la izquierda se encuentra el ventilador para refrigerar el sistema internamente. Cara lateral izquierda ilustrada en la figura 22.

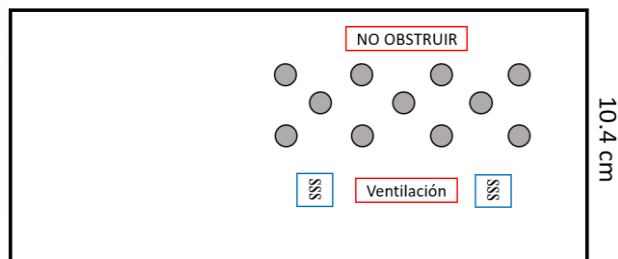
Figura 22. Cara lateral izquierda del sistema.
26.5 cm



Fuente: Autor.

En la cara lateral derecha se encuentran ubicados los orificios de entrada de aire succionado por el ventilador ubicado en la cara lateral izquierda. Es importante que esta cara se reserve un espacio mínimo de dos centímetros para no obstruir el paso del aire y haya un mejor flujo del mismo dentro del sistema. Cara lateral derecha ilustrada en la figura 23.

Figura 23. Cara lateral derecha del sistema.
26.5 cm



Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

Gracias a la implementación del sistema de riego automatizado, se logró garantizar un significativo ahorro en el consumo de agua del aljibe destinado al cultivo. Esto resulta especialmente importante durante la temporada de verano en el municipio de San Luis, ubicado en el departamento del Tolima, donde las temperaturas alcanzan un promedio de 40°C diariamente, especialmente en las horas pico, que comprenden desde las 10:00 de la mañana hasta las 3:00 de la tarde. Estas condiciones climáticas extremas agotaban rápidamente el recurso hídrico del aljibe, forzando al personal de la finca a suspender el riego durante hasta 8 horas consecutivas, hasta que el aljibe recuperara al menos un 40% de su capacidad máxima de 10.000 litros.

Sin embargo, gracias a la introducción del sistema de riego automatizado, se logró reducir drásticamente la dependencia del aljibe. Ahora, el aljibe se reduce a solo en un 10% de su capacidad máxima por día, lo que equivale a un consumo diario de un 90% del agua disponible, es decir, 9.000 litros de los 10.000 litros de su capacidad máxima. Esto es un marcado contraste con la situación anterior a la implementación, donde se llegaba al 100% de consumo del recurso hídrico, lo que ponía en riesgo las pérdidas del cultivo debido a la falta de agua mientras el aljibe se recuperaba, muchas veces quedando por debajo del 50% de su capacidad para el próximo riego.

Además de los beneficios en el consumo de agua, el sistema de riego automatizado ha resuelto otro problema en la finca: La ausencia del personal capacitado. Ahora, el usuario tiene la capacidad de monitorear su cultivo desde cualquier lugar del país. En caso de que se detecte alguna anomalía en los parámetros del cultivo, se puede solicitar al personal encargado de la finca que verifique el estado de

forma presencial y realice la intervención necesaria. Estas intervenciones suelen ser necesarias en casos de falta de recurso hídrico, es decir, cuando el aljibe se queda completamente sin agua y el tanque de reserva está vacío, o cuando falla algún sensor, lo que provoca problemas en el sistema de riego automatizado y su suspensión. En estas situaciones, se hace indispensable la intervención de la mano de obra humana.

REFERENCIAS

1. M. Sastoque Campos, "Agricultura y gases de efecto invernadero.", Virtual Pro, Jun. 2021, Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: <https://www.virtualpro.co/noticias/agricultura-y-gases-de-efecto-invernadero>.
2. J. S. Capera Quintana, B. L. Sierra Forero, & T. D. Avila Blenkey. "ANÁLISIS TEMÁTICO DE PRINCIPIOS DE AUTOMATIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS.", Bol. Semillas Ambient., vol. 11, no. 2, p. (138-148), 2017. Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12862/13277>.
3. V.Cortes Cadavid & M. F. Vargas Garcia. "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES MEDIANTE IOT EN LOS CULTIVOS URBANOS DE LA FUNDACIÓN MUJERES EMPRESARIAS MARIE POUSSEPIN.", Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2020.
4. M. J. Vanegas. "Guía técnica cultivo del limón pèrsico.", FRUTAL ES – Programa Nacional de frutas de El Salvador, vol1. Maya, El Salvador, p. (1-46), Oct. 2002. Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/285/guia_tecnica_del_cultivo_del_limon_persico.pdf?sequence=1.

5. A. M. Castelblanco, M. Fragua Pedroza, & S. D. Herrera López. “Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de riego para un cultivo de limón en la hacienda magallanes del municipio de Barrancabermeja.”, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, 2021.
6. Arumugam, N., & Venkatachalam, R. “Drip Irrigation and it’s Impact on Water Conservation and Crop Yield in Different Crop Cultivars.”, International Journal, 2017.
7. Kemper, H. M., & Duniway, J. D. “Irrigación.”, México, 1999.
8. Camacho-Poyato, E. Ortega-Reig, M., García-Martínez, M. A., Pérez-Martín, E., & Nortes-Perales, J. L. “Evolución del riego por aspersión en España.”, Revista de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 45, p. (39-52), 2018.
9. Singh, A. K., Kumar, S. “Evolution of drip irrigation system for cotton production in eastern Uttar Pradesh, India.”, Agricultural Water Management, 193, P(60-68), 2017.
10. García, F. “Evaluation of water use efficiency under different irrigation management strategies using FAO AquaCrop model in a semiarid region.”, Agricultural Water Management, 104, p. (219-226), 2012.
11. Carvalho, D. V. “Performance of an Automated Irrigation System in Lettuce Production.” Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 21(7), p. (458-463), 2017.
12. Sandoval-Solis, S. “Assessing the impact of irrigation technologies on the quality of water resources in the Rio Grande Basin (Mexico).”, Environmental Science and Pollution Research, 24(26), 2017.
13. Fan, J., & Zhang, E. “Design and Test of a Wireless Sensor and Control System for Irrigation.”, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(4), 04015053, 2016.
14. Beater, P., & Jawitz, J. “A review of control systems in the manufacturing industry.”, Journal of Manufacturing Systems. 43, p.(241-250), 2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027861251730122X?via%3Dihub>
15. Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami, A. “Feedback control of dynamic systems.”, Pearson Education, 2014.
16. Campbell, A. “Sensores y transductores: Principios, tecnologías y aplicaciones.”, McGraw-Hill Education, 2018.
17. Bardwell, J. “Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications.”, Springer, 2010.
18. Kulkarni, S., Bodas, A. “Overview of Actuators in Robotics.”, International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 2015.
- 19.
20. Humphreys, K. R. “Industrial Ethernet: A pocket Guide.”, Elsevier Science, UK, 2003.

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y APRENDIZAJE DE MAQUINA APLICADO EN DIAGNOSTICOS DE PATOLOGIAS

IMAGE PROCESSING AND MACHINE LEARNING APPLIED TO PATHOLOGY DIAGNOSTICS

Darwin Stiven Herrán Ríos ⁽¹⁾

Santiago Rodríguez Cuellar ⁽²⁾

1. Estudiante, Universidad de Ibagué. Pasante. Semillero LUN, Ibagué, Colombia.
2420191021@estudiantesunibague.edu.co
2. GI Senagrotic Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima. Experto Línea Electrónica y Telecomunicaciones, Tecnoparque Tolima, Espinal, Colombia.
srodriguez@sena.edu.co

RESUMEN

Este Proyecto presenta la evaluación e implementación de diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes y aprendizaje automático desarrolladas para identificar y clasificar un conjunto de imágenes adquiridas de la enfermedad conocida como neurocisticercosis en cerebros de cerdos. Estas imágenes fueron obtenidas de un proyecto de grado en el cual se mejoró la calidad e intensidad de los colores para obtener datos más consistentes y reducir la variación en las características de una imagen a otra. Se emplearon múltiples métodos de clasificación para detectar y determinar las áreas afectadas por la enfermedad en cada una de las imágenes de microscopía de cortes cerebrales. Finalmente, se llevó a cabo el proceso de evaluación de los resultados obtenidos por cada una de las técnicas implementadas, comparando su exactitud y función de pérdida, con el objetivo de determinar el método que mejor clasifica e identifica cada una de las partes de la imagen.

Palabras Claves: Fibrosis, Neurocisticercosis, aprendizaje de máquina, Segmentación y Clasificadores.

ABSTRACT

This project presents the evaluation and implementation of several digital image processing and machine learning techniques developed to identify and classify a set of acquired images of the disease known as neurocysticercosis in pig brains. These images were obtained from an undergraduate project in which the quality and intensity of the colors were improved to obtain more consistent data and reduce the variation in features from one image to another. Multiple classification methods were employed to detect and determine the areas affected by the disease in each of the brain slice microscopy images. Finally, the process of evaluating the results obtained by each of the implemented techniques was carried out, comparing their accuracy and loss function, with the aim of determining the method that best classifies and identifies each of the parts of the image.

Keywords: Fibrosis, Neurocysticercosis, Machine learning, Segmentation, Classifiers.

INTRODUCCIÓN

La medicina moderna ha experimentado una notable evolución en diversos aspectos, y uno de los factores clave en este progreso ha sido el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas. En particular, el procesamiento digital de imágenes se ha convertido en una rama fundamental de la ingeniería aplicada a la medicina. Esta tecnología ha permitido automatizar procesos complejos que antes requerían mucho tiempo y esfuerzo, además de generar resultados subjetivos debido a la influencia del evaluador. Gracias a las técnicas desarrolladas, los investigadores ahora cuentan con resultados más rápidos, reproducibles y confiables en comparación con los obtenidos de forma manual.

Una enfermedad que ha experimentado un notable aumento en los últimos años es la neurocisticercosis, causada por la *Taenia solium* y transmitida a través de la ingestión de alimentos contaminados con heces humanas. Esta enfermedad afecta varios órganos del cuerpo humano, siendo especialmente delicada cuando se presenta en el cerebro, donde se forman quistes cerebrales que pueden dar lugar a ceguera, convulsiones, cefaleas crónicas y epilepsia. Ante la importancia de esta enfermedad, se requiere el desarrollo de nuevos medicamentos que puedan combatirla de manera más efectiva y rápida.

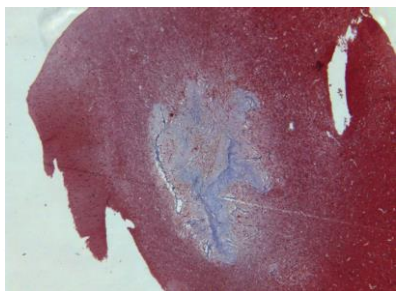


Figura 01. Fibrosis producida por neurocisticercosis en porcinos.

En el Grupo de Cisticercosis del Perú (GCP), específicamente en el laboratorio de Diagnóstico Parasitológico de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, se están llevando a cabo investigaciones orientadas al desarrollo de nuevas alternativas para combatir esta enfermedad. Para evaluar los resultados de los nuevos productos, como anti

convulsionantes, y considerando la limitación ética de trabajar con seres humanos, se utilizan modelos animales infectados con la enfermedad como intermediarios en el estudio. Dado que la neurocisticercosis se contrae principalmente a través del consumo de carne de cerdo contaminada, se eligió a este animal como modelo para el estudio. De esta manera, los cerdos son infectados y, una vez que la enfermedad ha evolucionado, se administra el producto en estudio para evaluar sus resultados y verificar que no sea perjudicial. Para ello, se sacrifica al animal y se realizan cortes cerebrales de 5mm de espesor, los cuales se analizan en el microscopio, prestando especial atención a ciertas características de cada quiste. Uno de los aspectos relevantes en este proceso es la presencia de fibrosis alrededor del quiste, que actúa como un mecanismo de defensa del cerebro impidiendo el crecimiento o la propagación de patógenos dañinos. Para observar esta característica en las imágenes de los cortes cerebrales, se aplican tintes a los tejidos utilizando Tricrómica de Masson. Sin embargo, la detección y medición de la fibrosis en estas imágenes se realiza manualmente, lo cual es un proceso largo y subjetivo, ya que los resultados pueden variar incluso entre mediciones realizadas por el mismo investigador, y más aún entre diferentes investigadores.

Con el objetivo de mejorar este proceso se comenzó a desarrollar una solución que involucra el procesamiento digital de imágenes y el aprendizaje automático para la detección de la fibrosis en imágenes de microscopía RGB de cortes cerebrales de 5mm de espesor. Para llevar a cabo este proyecto, se realizó una búsqueda bibliográfica con el fin de recopilar información teórica y conocer los métodos existentes utilizados para detectar la fibrosis en otras áreas, como el hígado [1]. Aunque se encontraron métodos para la detección automática de fibrosis en el hígado, en este caso particular se observaron diferencias significativas entre la fibrosis y el tejido circundante, lo cual facilitaba enormemente su detección. Lamentablemente, en las imágenes de este proyecto no se presentaba esta clara distinción. También se encontraron métodos que permitían la separación de objetos en imágenes, pero requerían la intervención del usuario [2]. Dado que no existía un método adecuado para la detección de la fibrosis en imágenes de microscopía de cortes cerebrales de cerdos, se decidió aplicar distintas técnicas de detección y clasificación de

Imágenes para abordar este desafío. Se implementaron técnicas tales como el clasificador bayesiano, bayesiano con PCA, bayesiano con LDA, random forest, Adaboost, XGboost y diferentes redes neuronales, donde se analizaron y compararon los datos obtenidos en cada modelo, evaluando su precisión y función de pérdida, a fin de determinar con cual método se obtenían los mejores resultados para así poder implementarlo en estudios y aplicaciones posteriores.

ESTADO DEL ARTE

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la informática en rápido desarrollo cuyo objetivo es diseñar y construir máquinas capaces de realizar diversas tareas cognitivas a un nivel igual o superior al de la inteligencia humana. [3–4] El aprendizaje automático (ML) es una parte de la IA que incluye algoritmos informáticos diseñados para enseñar o entrenar a una máquina a resolver un problema o realizar tareas complejas sin programación específica previa.

El aprendizaje supervisado y el aprendizaje no supervisado son dos categorías tradicionales de ML y se suelen utilizar para crear IA restringida (débil), mientras que el desarrollo de una IA general sigue siendo un objetivo a largo plazo. Hoy en día, para el análisis de datos biológicos, como los relacionados con tejidos cerebrales y enfermedades como la neurocisticercosis, existen varias herramientas y algoritmos de ML. Algunos ejemplos son los árboles de decisión (DT), las redes bayesianas (BN), los bosques aleatorios (RF) regresión logística (LR) y máquinas de vectores de soporte (SVM). Específicamente subconjunto del aprendizaje automático, denominado "aprendizaje profundo", se refiere al desarrollo de redes neuronales artificiales. (Fig.02) Las redes neuronales recurrentes y las redes neuronales convolucionales representan métodos potencialmente valiosos para el análisis de grandes datos biológicos y la identificación de patrones útiles dentro de los datos disponibles con el fin de sacar conclusiones adecuadas sobre mecanismos fisiológicos y patológicos en células y tejidos [5–6].

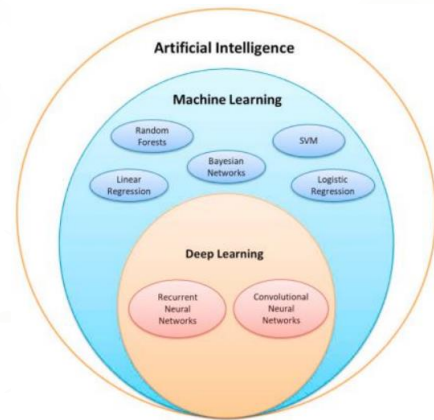


Figura 02. Inteligencia artificial, aprendizaje de máquinas y aprendizaje profundo.

El desarrollo de nuevas técnicas de adquisición y procesamiento digital de imágenes han abierto la posibilidad de extraer información cuantitativa de datos obtenidos de diferentes fuentes, entre ellas la microscopia, realizada en muestras biológicas o en la detección individual mediante propiedades cuantitativas, ayudando a aumentar drásticamente el número de preguntas que se pueden abordar experimentalmente. Estos avances van de la mano con la medicina, buscando que los resultados proporcionados por los expertos sean más exactos [7 - 8].

La medicina está constantemente en proceso de evolución, lo que implica la introducción de nuevos fármacos y terapias para tratar diversas enfermedades con el objetivo de mejorar su efectividad y eficacia. Para lograr esto, se llevan a cabo investigaciones que involucran la evaluación de diferentes medicamentos en modelos de prueba. La elección de la dirección a seguir en la investigación se basa en las respuestas que estos medicamentos muestran en relación con la enfermedad en estudio. Los métodos de procesamiento de imágenes tienen un potencial significativo para extraer información valiosa en este tipo de procedimientos y pueden utilizarse para analizar modelos animales. Un ejemplo de esto se encuentra en el estudio de los quistes generados por la neurocisticercosis en animales intermediarios, una enfermedad que está experimentando un aumento alarmante en los países en vías de desarrollo. La neurocisticercosis se caracteriza por una serie de síntomas que incluyen cefaleas crónicas, epilepsia, ceguera, convulsiones,

meningitis y demencia. Debido a la diversidad de síntomas, su diagnóstico a menudo se confunde con otras enfermedades, lo que permite que el quiste continúe creciendo y afectando al paciente, empeorando su situación. El tratamiento típico para combatir esta enfermedad consiste en la administración de un antiparasitario durante un período de un mes [9-10].

Para evaluar un medicamento es necesario conocer las características del quiste antes y durante el tratamiento. Una característica muy importante del quiste es la fibrosis aledaña a éste. Distintos trabajos se han desarrollado buscando la identificación automática de fibrosis en imágenes de diferentes partes del cuerpo, utilizando métodos de procesamiento digital de imágenes. De esta forma, se han realizado trabajos empleando un clasificador k-medias para la detección automática en el hígado de seres humanos, empleando imágenes de biopsias empleando un productor marcador para teñir la fibrosis [1], en imágenes de ultrasonido [11] y en elastografías empleando técnicas de resonancia magnética o ecografía [12]. Para obtener un resultado adecuado se emplea un protocolo de adquisición para garantizar que las imágenes tengan las mismas características, es decir que la fibrosis y cada tejido aparezcan siempre con colores o intensidades similares. La automatización requiere normalmente de clasificadores empleando descriptores de color o textura [13- 14].

RESULTADOS

A continuación, se exponen las métricas de exactitud de cada uno de los modelos implementado en la detección y clasificación de neurocisticercosis en porcinos, con el fin de poder comparar el rendimiento de todos los modelos.

Métodos de clasificación	Exactitud del modelo
Bayesiano	72.80 %
Bayesiano con PCA	77.10 %
Arboles de decisión	82.60 %
Random forest	91.30 %
XGboost	91.30 %
Adaptive boost	81.50 %

CNN	97.83%
U-net	89.04%

Tabla 01. Comparación de las métricas de exactitud por cada uno de los métodos implementados.

• Segmentación de imágenes usando un enfoque de ventana deslizante

Técnica utilizada para dividir una imagen en regiones más pequeñas llamadas ventanas y analizar cada ventana por separado. útil cuando se desea aplicar un algoritmo o modelo de aprendizaje automático a partes específicas de una imagen en lugar de la imagen completa. Se implementa esta técnica con el fin de visualizar los resultados de manera funcional de alguno de los clasificadores usados en este estudio.

Se reconstruye la imagen pixel a pixel con la predicción de cada una de las ventanas usando cada uno de los métodos entrenados y probados.

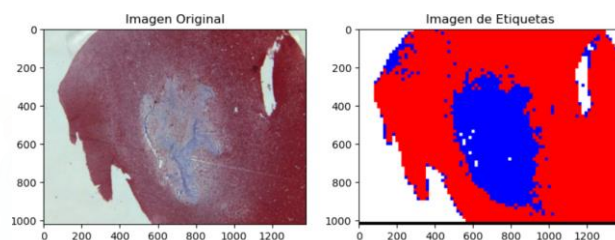


Figura 03. Segmentation de imágenes usando un enfoque de Ventana deslizante con el clasificador Random forest.

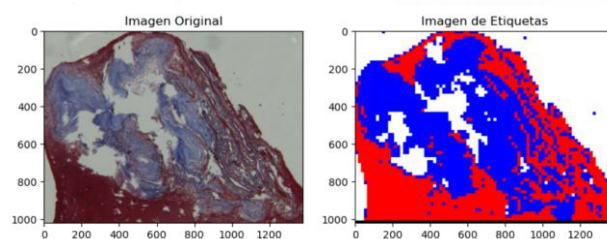


Figura 04. Segementación de imágenes usando un enfoque de Ventana deslizante con el clasificador XGboost.

Se seleccionaron dos métodos como ejemplo para la segmentación por ventanas deslizantes, a cada característica se le atribuyó un color (Azul fibrosis, rojo tejido cerebral y fondo blanco) para que al momento de que el método seleccionado clasifique cada Ventana en una clase específica se pueda reconstruir la imagen y compararla con la original.

• Segmentación con U-net

Se usaron las imágenes originales y las máscaras binarizadas para entrenar el modelo y que segmentara el tejido afectado por la fibrosis.



Figura 05. Imagen original e imagen binarizada para el entrenamiento.

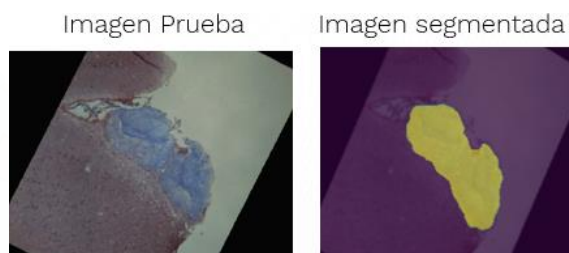


Figura 06. Imagen de prueba e imagen segmentada por la U-net.

CONCLUSIONES

1. La selección del método de clasificación más apropiado en términos de exactitud se logró a través de un proceso de prueba que involucró varios modelos distintos. Cada uno de estos modelos fue sometido a una evaluación exhaustiva para determinar su capacidad de clasificar correctamente los datos según los criterios específicos del sistema. Tras un análisis minucioso y detenido de los resultados obtenidos, se

identificó el modelo más adecuado para el propósito en cuestión. En consecuencia, se puede afirmar que la elección metódica del modelo de clasificación adecuado es esencial para garantizar un rendimiento óptimo del sistema en términos de precisión y eficiencia.

2. Gracias a la implementación de diversas técnicas de clasificación y detección de imágenes, se logró una clasificación exitosa de las áreas afectadas por la fibrosis, el tejido cerebral y el fondo en las imágenes analizadas en gran medida. Aunque hubo algunas secciones específicas en las pruebas que no se catalogaron correctamente, en general, las predicciones obtenidas en los ensayos fueron correctas.
3. Aunque los métodos clásicos de clasificación y detección, como el Bayesiano, Random Forest, XGboost y Adaboost, arrojaron resultados satisfactorios, se evidenció que, con enfoques más avanzados, como las redes neuronales, se logran tasas de exactitud y precisión más elevadas, lo que conduce a resultados superiores.

REFERENCIAS

1. Hernandez, P., Castaño, I., Travieso, C., Mompero, B., & Ortega, F. (2016). Quantification and Statistical Analysis Methods for Vessel Wall Components from Stained Images with Masson's Trichrome. *Plos One*.
2. Gallego, J. (2009). Foreground segmentation and tracking based on foreground and background modeling techniques. Universitat Politècnica de Catalunya.
3. Davidson, L., & Boland, M.R. (s.f) Towards deep phenotyping pregnancy: a systematic review on artificial intelligence and machine learning methods to improve pregnancy outcomes. *Briefings in Bioinformatics*.
4. Maffulli, N., Rodriguez, H.C., Stone, I.W., Nam, A., Song, A., Gupta, M., Alvarado, R., &

- Ramon, D. (s.f). Artificial intelligence and machine learning in orthopedic surgery: a systematic review protocol
6. Zhang, T., Zeng, Y., Zhang, Y., Zhang, X., Shi, M., Tang, L., Zhang, D., & Xu, B. (Año de publicación). Neuron type classification in rat brain based on integrative convolutional and tree-based recurrent neural networks. *Scientific Reports*.
 8. Estrada, S., et al. (2013). Neurocisticercosis. Hallazgos radiológicos. *Radiología*, 55(2), 130-141.
 9. Ford, T., Lim, D., & Mertz, J. (2012). Fast optically sectioned fluorescence, HiLo endomicroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 17(2).
 10. Pradilla, G. (1986). Cisticercosis: Clínica, diagnóstico y tratamiento. *Salud Uninorte*, 3(2), 115-125.
 11. Adebajo, C., et al. (2012). Ultrasound-based transient elastography for the detection of hepatic fibrosis in patients with recurrent hepatitis C virus after liver transplantation: a systematic review and meta-analysis. *Liver Transplantation*, 12, 323-331.
 12. Ebinuma, H., et al. (2011). Evaluation of liver fibrosis by transient elastography using acoustic radiation force impulse: comparison with Fibroscan. *Journal of Gastroenterology*, 46, 1238-1248.
 13. Garcia, M. (s.f). Detección y extracción de aviones en secuencias de vídeo (Tesis de licenciatura, Facultat de Matemàtiques, Universitat de Barcelona).
 14. Forero, M. (2002). Introducción al procesamiento digital de imágenes. *La Silueta Ediciones Ltda*.
 5. Alkhodari, M., & Fraiwan, L. (s.f). Convolutional and recurrent neural networks for the detection of valvular heart diseases in phonocardiogram recordings. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*.
 7. Restrepo, B. (2000). Diagnóstico y respuesta inmune en neurocisticercosis. *Mvz – Cordoba*, 5(1), 23-25.

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE TERRITORIOS INTELIGENTES PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

Cristian Caleño V ⁽¹⁾ Oscar Javier Bríñez ⁽²⁾ David Andrés Yepes ⁽³⁾ Sindy Johana Vergara Rodríguez ⁽⁴⁾...

1. Mg Internet of things, Ing. Electrónico, Centro de Industria y Construcción SENA Tolima. Instructor Informática y Telecomunicaciones. Grupo de investigación GIDIS. Ibagué, Colombia. ccaleno@sena.edu.co
2. Ing. Electrónico, Casas Automáticas SAS BIC. CEO. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia. oscarbrinez@casasautomaticas.com
3. Ing. Electrónico, Casas Automáticas SAS BIC. Director de I+D+i. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia. davidyepes@casasautomaticas.com
4. Ing. de Sistemas, GI Senagrotic Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima - Tecnoparque Tolima. Espinal - Tolima, Colombia. sjvergara@sena.edu.co

RESUMEN

La creciente adopción de la Internet de las Cosas (IoT) está teniendo un profundo impacto en diversos sectores, y la agricultura no es la excepción. IoT se refiere a la interconexión de dispositivos y sistemas a través de Internet con el fin de recopilar, analizar y actuar sobre datos en tiempo real. En este contexto, la tecnología de comunicación inalámbrica LoRaWAN se destaca como una herramienta esencial para conectar una gran cantidad de dispositivos en áreas geográficas extensas.

Este artículo se centra en el desarrollo de una plataforma web y la infraestructura de red requerida para el monitoreo y control de dispositivos IoT con conectividad LoRaWAN, con el objetivo de promover la modernización de la agricultura en las zonas rurales del Departamento del Tolima-Colombia.

Palabras Claves:

IoT, LoRaWan, Agricultura inteligente, territorios Inteligentes, ESP 32.

ABSTRACT

The increasing adoption of the Internet of Things (IoT) is profoundly impacting various sectors, and agriculture is no exception. IoT refers to the interconnection of devices and systems over the internet to collect, analyze, and act upon real-time data. In this context, LoRaWAN wireless communication technology stands out as an essential tool for connecting a multitude of devices across extensive geographic areas.

This article focuses on the development of a web platform and the required network infrastructure for monitoring and controlling IoT devices with LoRaWAN connectivity, aiming to promote the modernization of agriculture in the rural areas of the Tolima-Colombia Department.

Keywords: IoT, LoRaWAN, smart agriculture, smart territories, ESP32.

INTRODUCCIÓN

La creciente adopción de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) está teniendo un impacto transformador en diversos sectores, y la agricultura no escapa a esta revolución. IoT, que significa Internet de las Cosas, se refiere a la interconexión de dispositivos y sistemas a través de Internet con el propósito de recopilar, analizar y actuar sobre datos en tiempo real. En este contexto, las áreas rurales del Departamento del Tolima tienen un potencial inmenso para aprovechar la implementación de soluciones de IoT y dar impulso a la agricultura inteligente.

Dentro de las tecnologías IoT más destacadas en estos entornos se encuentra la tecnología de comunicación inalámbrica LoRaWAN. Esta tecnología se distingue por ofrecer una conectividad de larga distancia y un consumo de energía extremadamente bajo, lo cual la convierte en una elección excepcional para entornos rurales. Esto significa que es posible conectar dispositivos distribuidos en vastas extensiones geográficas de manera eficiente y económica, lo que es especialmente relevante para zonas rurales del departamento del Tolima con infraestructuras de acceso a internet aun deficientes para este tipo de tecnologías.

En este artículo, se presenta un proyecto que demuestra cómo la tecnología LoRaWAN puede ser utilizada para construir una plataforma que facilita la implementación de territorios inteligentes. Esto se logra mediante la integración de sensores y sistemas de monitoreo y control de variables físicas relevantes en los procesos de producción agrícola, lo que permite una gestión más precisa y eficaz de los recursos agrícolas y, en última instancia, un aumento en el rendimiento de la producción.

ESTADO DEL ARTE

¹ dispositivos finales que recopilan datos en lugares geográficos distantes o distribuidos.

La aplicación de estas tecnologías de conexión masiva de dispositivos en áreas rurales ha estado en constante crecimiento, pero es importante tener un referente tecnológico que permita medir la eficiencia, fiabilidad y potencial de aplicación de estas tecnologías. En este sentido se destacan algunos proyectos de tecnología aplicada como el planteado por (Briciu-Burghina et al., 2022) denominado "Demonstrating the Potential of a Low-Cost Soil Moisture Sensor Network" donde se implementa una red de sensores de humedad del suelo de bajo costo para ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el riego y optimizar el uso del agua en condiciones rurales, mejorando así la productividad agrícola.

(Sobhi et al., 2022) en su artículo "Vehicle-Mounted Fog-Node with LoRaWAN for Rural Data Collection"

Implementan un nodo de borde¹ Montado en Vehículo con conectividad LoRaWAN para la Recopilación de Datos en Zonas Rurales". El estudio analiza cómo la movilidad de las pasarelas afecta la comunicación en red a diferentes velocidades de movimiento arrojando una luz sobre cómo lograr una comunicación confiable en entornos rurales con dispositivos con altas velocidades de movimiento. Esto es especialmente interesante en la implementación de maquinaria agrícola impulsada por tractores.

Finalmente, El "Proyecto Calle Inteligente" llevado a cabo por la Alianza de Innovación Tecnológica destaca el potencial de la IoT en entornos urbanos. Este artículo pone de manifiesto cómo la recopilación de datos en tiempo real y la toma de decisiones basadas en datos pueden mejorar la eficiencia de las ciudades. Si bien el enfoque principal de este proyecto era impactar la gestión urbana, los principios de la IoT pueden extrapolarse a áreas rurales para mejorar la calidad de vida y la gestión de recursos naturales.

RESULTADOS

Como resultados del proyecto se distinguen 3 componentes principales:

Como resultados del proyecto se distinguen 3 componentes principales:

La elección y montaje de un punto de acceso para interconexión masiva de dispositivos, el desarrollo de una plataforma Web y el diseño y desarrollo de prototipos electrónicos con conectividad LoRaWAN para la integración en la plataforma Web.

Equipo de Acceso



Fig 1 Gateway Outdoor LoRaWan de 8 Canales UG67

El Gateway es el dispositivo central encargado de gestionar los datos recibidos desde los dispositivos finales. LoRaWAN implementa una topología de estrella, siendo el Gateway el equipo central de la topología quien retransmite los datos desde los dispositivos hacia la nube.

El equipo seleccionado está diseñado específicamente para exteriores y cuenta con 8 canales de recepción. Esta puerta de enlace utiliza el chip SX1302 LoRa y una CPU de cuatro núcleos de alto rendimiento. Estas características permiten la interconexión con más de 3000 nodos. tiene un alcance de hasta 15 km en línea de vista y puede cubrir aproximadamente 2 km en entornos urbanos. Esto significa que 3000 dispositivos electrónicos podrían tener conectividad a internet para el envío de información recopilada, fácilmente podemos hablar de miles de nodos en maquinaria impulsada por tractor, sensores en cultivos agrícolas, sensores de seguimiento de objetos en movimiento como semovientes y control de actuadores de diferentes procesos agrícolas como sistemas de válvulas de riego, por ejemplo.

² modelo utilizado para predicción de transmisión de señales en frecuencias VHF y UHF.

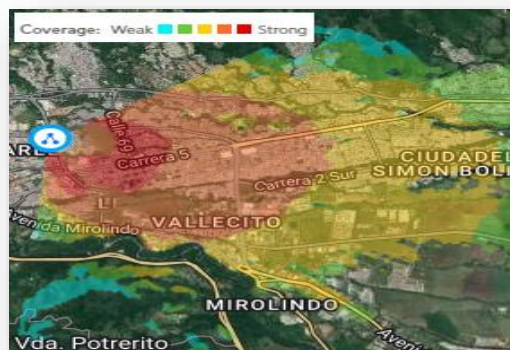


Fig 2 Mapa de cobertura del Punto de Acceso

Para tener un estimado de la zona de influencia, o la zona donde los dispositivos tienen mayor posibilidad de tener conexiones estables, se simula un mapa de cobertura o mapa de calor usando el modelo de estimación Okumura-Hata², un modelo que se considera muy adecuado para estimaciones en entornos urbanos. En la figura 2 se puede observar el resultado de la simulación, la zona de alta intensidad se destaca de color rojo. Este mapa de calor proyecta la estimación de cobertura actual del proyecto calle inteligente. Lo que resulta especialmente notable es que, a pesar de la densidad urbana, el estudio de cobertura muestra una probable extensión a lo largo de aproximadamente 10 kilómetros, desde el centro comercial Acqua hasta el sector Mirolindo. Este hallazgo es muy positivo, considerando que, en áreas rurales, la creación de una red menos densa y menos congestionada, junto con una menor interferencia electromagnética y obstáculos físicos, puede ofrecer un rendimiento aún más destacado.

Desarrollo de la plataforma.

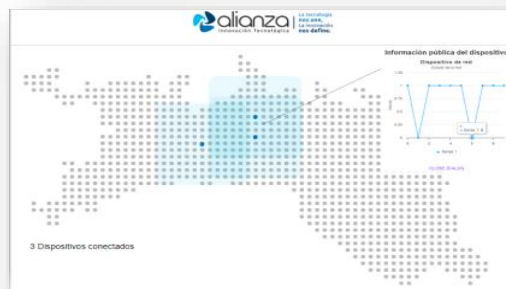


Fig. 3. Dashboard de visualización de dispositivos

El "Grupo Alianza de Innovación Tecnológica" ha logrado un avance significativo al desarrollar un robusto backend basado en microservicios, diseñado específicamente para abordar los desafíos de concurrencia en las redes LoRaWAN. Dada la naturaleza masiva de estas plataformas de conectividad, esta solución representa un rol importante en la gestión eficiente de una gran cantidad de dispositivos IoT.

Esta plataforma es fundamental en la gestión de la creciente cantidad de dispositivos conectados a través de redes LoRaWAN. Su arquitectura basada en microservicios ofrece una serie de ventajas clave, como la modularidad, disponibilidad, escalabilidad, redundancia y facilidad de adaptación a las cambiantes necesidades del mercado de IoT.

En la figura 3 se observa una captura de frontend del dashboard principal, se trata de un mapa de geolocalización de dispositivos, con la información detallada de la captura de los sensores distribuidos en determinadas zonas geográficas.

Es importante destacar que el frontend actual se ha diseñado como un mapa de concentración de dispositivos, concebido para visualizar de manera gráfica la información recopilada por sensores de acceso público, por ejemplo, sensores de calidad de aire, sensores de niveles de ruido, concurrencia de personas, alumbrado público entre otros. Sin embargo, en el contexto del desarrollo de aplicaciones personalizadas para clientes específicos, la arquitectura de microservicios permite que la plataforma funcione como un intermediario o middleware entre la infraestructura de la red LoRaWAN y las aplicaciones de los clientes. En otras palabras, la plataforma puede albergar entornos personalizados adaptados a intereses y proyectos específicos de cada cliente.

Diseño y fabricación de un nodo terminal



Fig. 4. Nodo terminal Fabricado

La tarjeta electrónica (figura 4), desarrollada como circuito impreso PCB de calidad industrial, doble capa de montaje SMD en su mayoría, juega un papel crucial para la integración de soluciones y recolección y envío de la información. Esta tarjeta utiliza un microcontrolador ESP32-S3-WROOM-1, fabricado por Espressif, en su versión con antena externa a través de un conector IPEX. Para mejorar el alcance de la cobertura inalámbrica se adicionó un transceptor lora SX1278 y para el caso de nodos Gateway se agregó un puerto ethernet para conectividad por cable al router de acceso a internet. La implementación de estos circuitos electrónicos es fundamental en el despliegue masivo de dispositivos, dado que los costos se han reducido significativamente frente a sensores comerciales actuales y permite implementar soluciones a la medida de los clientes futuros que se vayan integrando en la plataforma.

En este contexto, vale la pena destacar 2 proyectos que se han desarrollado para integrar en estas plataformas, aprovechando el uso de tecnologías IoT y además orientados hacia soluciones en el área agrícola.



Fig. 5. Vista superior pasera automatizada

Se destaca este caso de desarrollo de un sistema portátil automatizado para el secado eficiente del café llevado a cabo por el grupo Alianza E Innovación Tecnológica. En este proyecto se implementó una marquesina portátil con mecanismo automatizado para el volteo de café con conectividad Lora, Bluetooth y wifi mesh. Consiste en una conexión de una o múltiples paseras automatizadas para el volteo de café, un proyecto orientado a la tecnificación del sector rural cafetero de nuestro departamento (figura 11).

Otro proyecto a destacar es el “desarrollo de un kit tecnológico, que permite el manejo eficiente del agua en las explotaciones agrícolas en el departamento del Tolima”. El proyecto se enfoca en la automatización de los sistemas de riego para controlar los tiempos de suministro de agua y reducir los costos de producción, al mismo tiempo que se aporta a las políticas de reducción del impacto ambiental en actividades agrícolas, siendo este otro aporte importante de estas tecnologías a la agricultura del departamento.

CONCLUSIONES

La plataforma permite una gestión más eficiente de dispositivos que a su vez representan recursos agrícolas, proporcionando datos en tiempo real sobre condiciones climáticas y otros factores críticos. Esto ayudaría a los agricultores a optimizar prácticas, como el riego y la fertilización, promoviendo la sostenibilidad ambiental al reducir el desperdicio de agua y productos químicos, lo que se traduce en un aumento de la productividad.

Al permitir automatizar y monitorear ciertos procesos agrícolas, típicos de los cultivos, la plataforma contribuye a la reducción de costos operativos. Los agricultores pueden utilizar los recursos de manera más precisa y eficiente, lo que disminuye los gastos.

El proyecto destaca la viabilidad económica de estas soluciones al utilizar tecnología asequible, como la tecnología LoRaWAN. Esto hace que la adopción de IoT sea accesible para un mayor número de agricultores en zonas rurales.

La plataforma fomenta la innovación en la agricultura al integrar tecnología de vanguardia en las prácticas agrícolas tradicionales. Esto no solo aumenta la competitividad de la agricultura rural, sino que también brinda oportunidades de desarrollo tecnológico en la región.

REFERENCIAS

1. R. Yasmin, J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, and A. Pouttu, “Large and dense LoRaWAN deployment to monitor real estate conditions and utilization rate,” in 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2018.
2. C. Briciu-Burghina, J. Zhou, M. I. Ali, and F. Regan, “Demonstrating the potential of a low-cost soil moisture sensor network,” *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 3, p. 987, 2022.
3. S. Sobhi, A. Elzanaty, A. M. Ghuniem, and M. F. Abdelkader, “Vehicle-mounted fog-node with LoRaWAN for rural data collection,” in 2022 IEEE 33rd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2022.
4. MileSight Network Technology Co and Ltd, “Semi-industrial LoRaWAN Gateway,” Milesight. [Online]. Available: <https://www.milesight-iot.com/LoRaWan/Gateway/ug65/>. [Accessed: 27-Oct-2023].
5. A. Pinto-Erazo, L. Suárez-Zambrano, F. Cuzme-Rodríguez, and E. Jaramillo-Vinueza, “Study case: LPWAN propagation power estimation in outdoor scenarios, based on the Okumura-Hata model,” in *Intelligent Technologies: Design and Applications for Society*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 113–123.
6. A. I. Tecnologica, “kit tecnológico, que permita el manejo eficiente del agua en las explotaciones agrícolas en el departamento del Tolima,” <https://alianzatic.org>, 2020. [Online]. Available: <https://alianzatic.org/proyectos>. [Accessed: 2023].
7. A. I. Tecnologica, “Calle Inteligente,” <https://alianzatic.org>, 2023. [Online]. Available: <https://alianzatic.org/proyectos>. [Accessed: 2023].
8. S. Sendra, L. García, J. Lloret, I. Bosch, and R. Vega-Rodríguez, “LoRaWAN network for fire monitoring in rural environments,” *Electronics (Basel)*, vol. 9, no. 3, p. 531, 2020.
9. M. Fragkopoulou, S. Panagiotakis, M. Kostakis, E. K. Markakis, N. Astyrakakis, and A. Malamos, “Experimental assessment of common crucial factors that affect LoRaWAN performance on suburban and rural area deployments,” *Sensors (Basel)*, vol. 23, no. 3, p. 1316, 2023.

2°

FORO

INNOV AGRO



Tecnoparque
Tolima



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



20 23