



3^{er} FORO INNOV AGRO

2024



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



**Tecnoparque
Tolima**

ISSN: 2981 - 3824



3°

FORO INNOVACIÓN EN EL AGRO

MEMORIAS 2024



Tecnoparque
Tolima



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

3° FORO

INNOVACIÓN EN EL AGRO

NÚMERO: 03

AGOSTO 2024

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, PhD 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

9 AGOSTO 2024

ISSN: 2981 - 3824

Memorias para la Identificación
y divulgación del
3° 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.
2024

EDITORIAL

El Tercer Foro de Innovación en el Agro, organizado por Tecnoparque Tolima y llevado a cabo en el municipio del Líbano, ha sido una oportunidad trascendental para fortalecer nuestro compromiso con el avance y la modernización del sector agropecuario. En esta edición, hemos logrado reunir a empresarios, investigadores, estudiantes, docentes, y agricultores, quienes con sus conocimientos y experiencias nos inspiran a construir un agro más eficiente, sostenible y tecnológicamente avanzado.

En un contexto donde los desafíos globales nos exigen soluciones innovadoras, este foro ha permitido, una vez más, que la ciencia, la tecnología y el conocimiento converjan en beneficio de nuestra comunidad. Agradezco profundamente la participación de cada uno de los asistentes y el apoyo de las instituciones y universidades aliadas, así como de los tres centros del SENA de la regional Tolima. La interacción y el aprendizaje compartido en cada ponencia y actividad son el motor para que la región del Tolima sea reconocida como un epicentro de innovación agropecuaria en el país.

Quiero extender una invitación a todos los que forman parte de la comunidad educativa y del sector productivo a continuar aprovechando las oportunidades que ofrece Tecnoparque Tolima, impulsando con creatividad y dedicación un futuro prometedor para nuestro sector agrícola. Seguiremos trabajando juntos para que las ideas disruptivas y las prácticas sostenibles se conviertan en el nuevo estándar en el agro, haciendo de Tolima un referente en innovación y desarrollo.

Juan Camilo Soto Díaz
Subdirector (e)
Centro Agropecuario La Granja
Espinal - Tolima



ÍNDICE

ARTÍCULOS



KUMQUAT: UNA OPORTUNIDAD PARA LA INNOVACIÓN AGROINDUSTRIAL

Yefri Jhoan Machado Pinzon

Esmeralda Becerra Vega

Rafael Mauricio Bahamon Salazar _____ 15



LARVA HERMETIA ILLUCENS: UN ENFOQUE INNOVADOR PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU TRANSFORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Maggy Estefany González Vanegas

Diana Palacios Arrieta

Diego Fernando Velandia Cabrera _____ 21



TENDENCIAS EN EMPAQUES DE FRUTAS: UN ANÁLISIS A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Juan Sebastián Peláez Zúñiga

Julián Garzón Quiroga

Joaquin Eduardo Carrillo Orjuela _____ 27



DESARROLLO DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE PLÁTANO PARA LA EXPORTACIÓN DE FRUTAS A LA UNIÓN EUROPEA

Angie Natalee Naveros Celis

Miguel Ángel Quintero

Flor Alba Sánchez

John Kennedy Díaz _____ 34



ÍNDICE

ARTÍCULOS



SEMBRANDO MARCAS: DESING THINKING PARA LA CO-CREACIÓN DE VALOR EN ECONOMÍAS POPULARES Y CAMPESINAS

Julio Cesar Morales Pardo

Kelly Yuliana Villanueva Andrade

Rafael Augusto Bermudez Rozo _____ 41



EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EN LA COSECHA SOBRE LAS PROPIEDADES SENSORIALES DEL AGUACATE cv.HASS DE EXPORTACIÓN

Andrea Del Pilar Sánchez _____ 45



DESARROLLO DE PASERA INTELIGENTE PARA EL SECADO DEL CAFÉ

Oscar Briñez

Juliana Urueña

Santiago Rodriguez _____ 50



IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL EN CULTIVO DE CHAMPIÑÓN PARÍS EN EL CAÑÓN DEL COMBEIMA

Juan Carlos Garcia Rubio

Alisson Andrea Rodriguez Rodriguez _____ 55



ÍNDICE

ARTÍCULOS



RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES BASADO EN IA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MONILIOPHTHORA ROERI EN GRANOS DE THEOBROMA CACAO

César Augusto Campos Rodríguez

65



ELABORACIÓN DE UN ADITAMENTO, EN 3D PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS A COMPRESIÓN ESTÁTICA PARALELA A LAS FIBRAS SOBRE NÚCLEOS DE MADERA (TARUGOS) EN EL EQUIPO VERNIER STRUCTURES & MATERIALS TESTER (VSTM)

Andrés Felipe Acero Quitiaquez

Julio Cesar Bermúdez Escovar

Jhoanna Magaly García Andrade

Carol Liliana Fajardo García

Sandra Liliana Castellanos Franco

71



ÍNDICE DE FIGURAS

Artículo:

KUMQUAT: UNA OPORTUNIDAD PARA LA INNOVACIÓN AGROINDUSTRIAL

Figura 1. Medición de Condiciones Climáticas	16
Figura 2. Tabla de Color y Maduración del Kumquat	17
Figura 3. Grados Brix según el Nivel de Maduración del Kumquat	18
Figura 4. Mermelada de Kumquat Artesanal	18
Figura 5. Investigadores en Laboratorio Tecnoparque	19
Figura 6. Cerveza DOIMUNA de Kumquat en Punto de Venta	19

Artículo:

LARVA HERMETIA ILLUCENS: UN ENFOQUE INNOVADOR PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU TRANSFORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Figura 1. Etapas del ciclo de la mosca	23
Figura 2. Mosca en tablilla	24
Figura 3. Huevos de mosca	24
Figura 4. Larvas en alimentación	24
Figura 5. Larvas en estado de prepupa	25
Figura 6. Larvas en pupas	25

Artículo:

TENDENCIAS EN EMPAQUES DE FRUTAS: UN ANÁLISIS A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Tabla 1. Palabras claves seleccionadas	28
Tabla 2. Agrupación de ecuaciones de búsqueda	28
Tabla 3. Ecuación de búsqueda	29
Ilustración 1. Mapa temático en la prospectiva de empaques de frutas con la palabra nodo gestión de cadena de suministro	29
Ilustración 2. Documentos por año	31

Artículo:

DESARROLLO DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE PLÁTANO PARA LA EXPORTACIÓN DE FRUTAS A LA UNIÓN EUROPEA

Figura 1. Prueba de Absorción de Humedad. Muestra con almidón de yuca (M1), muestra con cera de abejas (M2), muestra con parafina (M3) y muestra control (M4)	37
Figura 2. Prueba de Resistencia a la Compresión, método del anillo	37
Figura 3. Prototipo desarrollado en el laboratorio de Biotecnología y Nanotecnología del Tecnoparque Nodo Tolima, para la exportación de frutas a la Unión Europea	39



ÍNDICE DE FIGURAS

Artículo:

EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EN LA COSECHA SOBRE LAS PROPIEDADES SENSORIALES DEL AGUACATE cv.HASS DE EXPORTACIÓN

Tabla 1. Precipitaciones mensuales en Colombia	46
Figura 1. Efecto de la precipitación de dos regiones sobre la cremosidad de aguacate	48
Figura 2. Efecto de la precipitación de dos regiones sobre el amargor de aguacate	48

Artículo:

DESARROLLO DE PASERA INTELIGENTE PARA EL SECADO DEL CAFÉ

Figura 1. Marquesina Convencional	51
Figura 2. Secado de Café Tradicional	51
Figura 3. Diseño de piezas mecánicas de pasera inteligente	52
Figura 4. Diseño de sistema de tracción de pasera inteligente	52
Figura 5. Sistema Electrónico diseñado en implementado en pasera inteligente	53
Figura 6. Pasera Inteligente	53

Artículo:

RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES BASADO EN IA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MONILIOPTHTORA ROERI EN GRANOS DE THEOBROMA CACAO

Imagen 1. Aprendiz Semillerista en sesión de captura de imágenes con medios digitales	68
Imagen 2. Plataforma robótica ROBOMASTER S1	68
Imagen 3. Diagrama de flujo de funcionamiento la red neuronal propuesta	69
Imagen 4. Interfaz hombre maquina del robot AGROT en funcionamiento	69
Imagen 5. Imágenes de granos de cacao infectados con monilia en diferentes fases	69
Tabla 1. Resultado de guía de selección	69

Artículo:

ELABORACIÓN DE UN ADITAMENTO, EN 3D PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS A COMPRESIÓN ESTÁTICA PARALELA A LAS FIBRAS SOBRE NÚCLEOS DE MADERA (TARUGOS) EN EL EQUIPO VERNIER STRUCTURES & MATERIALS TESTER (VSTM)

Figura 1. Vernier Structures & Material Tester	73
Figura 2. Diseño de aditamento para compresión paralela a las fibras	74
Figura 3. Aditamento para ensayos a compresión paralela de las fibras	74
Figura 4. Máxima resistencia a la compresión	75
Tabla 1. Máxima resistencia de la especie A. excelsum	74
Tabla 2. Máxima resistencia de la especie S.saman	74



ÍNDICE DE FIGURAS

Artículo:

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL EN CULTIVO DE CHAMPIÑÓN PARÍS EN EL CAÑÓN DEL COMBEIMA

Imagen 1. Productores de champiñón en el mundo frente a Colombia	56
Imagen 2. Controlador ON/OFF	58
Imagen 3. Controlador PID	58
Imagen 4. Sistema HVAC y tabla de parámetros de la granja	58
Imagen 5. Datos originales versus resultados del modelo NNARX usando 8 y 20 neuronas	59
Imagen 6. Etapas del cultivo	61
Imagen 7. Diseño CAD cuartos del cultivo	61
Imagen 8. Tarjeta electrónica diseñada para controlar la humedad y temperatura	61
Imagen 9. Actuadores del proceso	62
Imagen 10. Modelo matemático del proceso	63
Imagen 11. Comportamiento de la temperatura en el interior del invernadero a escala	63
Imagen 12. Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura en lazo cerrado	63
Imagen 13. Respuesta del sistema de control de temperatura	64
Tabla 1. Tamaño del mercado de champiñón	56
Tabla 2. Sensores empleados en el dispositivo	60
Tabla 3. Parámetros utilizados en el controlador	60
Gráfica 1. Prueba 1 muestreo de temperatura	61
Gráfica 2. Prueba 1 muestreo de humedad	61
Gráfica 3. Prueba 2 muestreo de temperatura	62
Gráfica 4. Prueba muestreo de humedad	62
Gráfica 5. Control en etapa de incubación	62
Gráfica 6. Control en etapa de crecimiento	62
Gráfica 7. Control en etapa de producción	63

PONENTES

Esmeralda Becerra Vega



Líder empresarial con más de 20 años de experiencia en administración, destacándose en los últimos 10 años por su enfoque en la sostenibilidad ambiental. Con una sólida formación en administración de empresas, ha demostrado su capacidad para liderar y asesorar a empresas hacia un crecimiento sostenible. Como fundadora y representante legal de la Reserva Natural La Esmeralda, combina su pasión por la conservación del entorno con una visión estratégica, promoviendo el desarrollo económico responsable. Actualmente, asesora emprendimientos, especializándose en modelos de negocios que fomentan el crecimiento empresarial, posicionándose como una figura referente en el ámbito empresarial ambiental.

Maggy Estefany González Vanegas

Ingeniera Agroindustrial de la Universidad del Tolima, con maestría en Innovación de la Universidad del Área Andina. Actualmente, instructora de investigación del SENA Regional Tolima, Centro de Industria y Construcción, adscrita a Sennova. Líder de semillero de investigación, con más de 8 años de experiencia en investigación y desarrollo de proyectos que integran el sector pedagógico, agrícola y agroindustrial.



PONENTES



Juan Sebastián Peláez Zúñiga

Magister en Gestión Industrial, Ingeniero Industrial, con experiencia profesional en formulación de proyectos económicos y financieros en el sector público, académico y empresarial, con amplia experiencia académica en la formulación y ejecución de proyectos de investigación.

Angie Natalee Naveros Celis

Profesional en Ingeniería Agroindustrial, egresada de la Universidad del Tolima con distinciones de Excelencia Académica y Grado de Honor Máximo. Desarrolladora de Software de la Universidad de Caldas. Magíster en Ciencia y Tecnología Agroindustrial con énfasis en Investigación, durante su formación en postgrado recibió el reconocimiento de Tesis Laureada por su significativo aporte al desarrollo del agro colombiano. Su trayectoria incluye cargos como Directora de la Unidad de Gestión de la Corporación Centro Provincial de Gestión Agroempresarial del Centro del Departamento del Huila y Jefe de Operaciones de Edutrack Colombia. Actualmente es Experta de la línea de Biotecnología y Nanotecnología del Tecnoparque Tolima.



PONENTES



Rafael Augusto Bermudez Rozo

Magíster en Negocios Internacionales de la Escuela de Administración de Negocios EAN, con tesis laureada Magna Cum Laude. Profesional en Mercadeo egresado de la Universidad de Ibagué, Especialista Tecnológico en Gestión de Proyectos del SENA. Con experiencia académica de 17 años como Instructor en Mercadeo y Ventas.

Andrea Del Pilar Sánchez

Ingeniera Agroindustrial con PhD en Ingeniería con énfasis en alimentos. Con orientación investigativa y enfoque de género para formular, desarrollar, innovar y mejorar productos y procesos en diferentes industrias. Experiencia de más de 8 años en áreas de la agroindustria alimentaria y no alimentaria como investigadora, coordinadora y formuladora de proyectos, analista de laboratorio, asesora e instructora.



PONENTES

Oscar Javier Briñez Moreno



Ingeniero Electrónico de profesión, empresario e investigador por vocación. Fundador y CEO de Casas Automáticas SAS BIC, una empresa con más de 15 años de experiencia ofreciendo soluciones tecnológicas en la región. Experto en IoT aplicado a domótica, agro y ciudades inteligentes. Ha ganado múltiples convocatorias nacionales de ciencia, tecnología e innovación. Apasionado por la Industria 4.0 en proyectos que integran inteligencia artificial (IA) e internet de las cosas (IoT). Se destaca por su liderazgo en equipos multidisciplinarios y su capacidad para innovar en el ámbito de la ingeniería y la tecnología.

Alisson Andrea Rodriguez Rodriguez

Ingeniera mecánica, tecnóloga en mantenimiento mecatrónico de automotores, estudiante de maestría en ingeniería de control, instructora del SENA por 5 años en el área automotriz en el Centro de Industria y Construcción, directora técnica de un centro de diagnóstico automotor.



PONENTES

César Augusto Campos Rodríguez



Técnico en implementación de sistemas de Internet de las Cosas y Piloto de Aeronaves no tripuladas del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Ingeniero en Mecatrónica egresado de la Universidad de Pamplona y pasante internacional en gobernanza de la Inteligencia Artificial en la Universidad Interamericana de Lima. Perteneciente al Grupo de Investigación GIDIS del Centrú de Industria y Construcción, con experiencia en desarrollo y divulgación de proyectos con tecnologías 4.0, innovación, desarrollo tecnológico y educación con enfoque STEAM. Investigador en el área de Robótica móvil, Internet de las cosas y programación de sistemas embebidos. Divulgador de proyectos de investigación formativa a nivel nacional e internacional y actualmente Facilitador de Robótica de la TecnoAcademia nodo Tolima.

Andrés Felipe Acero Quitiaquez

Ingeniero Forestal de la Universidad del Tolima, con opción de grado servicio social en el Laboratorio de Tecnología de la Madera. Investigador del Grupo de investigación en Gestión Ambiental, GIGA – UT.



KUMQUAT: UNA OPORTUNIDAD PARA LA INNOVACIÓN AGROINDUSTRIAL

KUMQUAT: AN OPPORTUNITY FOR AGRO-INDUSTRIAL INNOVATION

Yefri Jhoan Machado Pinzon (1) Esmeralda Becerra Vega (2) Rafael Mauricio Bahamon Salazar (3)

1. Ingeniero Agroindustrial, SENA. Experto Tecnoparque. SENAGROTIC, Espinal, Colombia. yjmachado@sena.edu.co 2. Técnico Veterinario, Reserva Natural La Esmeralda, Piedras, Colombia. esmeraldabecerravega@hotmail.com 3. Administrador Agropecuario, Reserva Natural La Esmeralda, Piedras, Colombia. mauriciobahamon

RESUMEN

Se realizó un análisis del cultivo, las características fisicoquímicas y la transformación agroindustrial de la naranja kumquat en la Reserva Natural La Esmeralda, Doima, Tolima, Colombia. Revisando las condiciones de crecimiento de la planta y la maduración de sus frutos, destacando su potencial como producto novedoso en el mercado colombiano. Los resultados indican que el kumquat tiene características organolépticas únicas, combinando notas ácidas y dulces, lo que lo convierte en una opción versátil para aplicaciones culinarias. Se desarrollaron productos como mermeladas y cerveza artesanal, cumpliendo con normativas de calidad y ofreciendo experiencias sensoriales distintivas. El estudio resalta la importancia de la caracterización fisicoquímica de la fruta, que contribuye a prácticas agrícolas sostenibles. Con el creciente interés internacional por el kumquat, este cultivo representa una oportunidad significativa para el desarrollo económico y la seguridad alimentaria en la región.

Palabras Claves:

Kumquat, Nutracéuticos, Poscosecha, Antioxidantes, Innovación Agroindustrial.

ABSTRACT

An analysis has been conducted on the cultivation, physicochemical characteristics, and agro-industrial transformation of kumquat orange in the La Esmeralda Natural Reserve, Doima, Tolima, Colombia. This study reviews the growth conditions of the plant and the maturation of its fruits, highlighting its potential as a novel product in the Colombian market. The results indicate that kumquat possesses unique organoleptic characteristics, combining acidic and sweet notes, making it a versatile option for culinary applications. Products such as jams and craft beer were developed, meeting quality standards and offering distinctive sensory experiences. The study underscores the importance of the physicochemical characterization of the fruit, contributing to sustainable agricultural practices. With the growing international interest in kumquat, this crop represents a significant opportunity for economic development and food security in the region.

Keywords:

Kumquat, Nutraceuticals, Postharvest, Antioxidants, Agro-industrial Innovation.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos, que provienen de las actividades agrícolas y pecuarias, son fundamentales para la economía primaria y la seguridad alimentaria de la población. Además de proporcionar nutrientes esenciales, estos productos constituyen una fuente vital de energía para las actividades diarias del ser humano.

En este contexto, la caracterización fisicoquímica del kumquat cultivado en Doima, específicamente en la Reserva La Esmeralda, adquiere una relevancia significativa. El análisis de las propiedades físicas y químicas de esta fruta no solo proporciona información crucial para mejorar su conservación y calidad, sino que también destaca su potencial en el procesamiento y desarrollo agroindustrial. El kumquat, conocido por su sabor distintivo y alto valor nutricional, se cultiva bajo las condiciones climáticas y edáficas únicas de esta región **Figura 1**, lo que influye en sus características específicas y beneficios nutricionales.

El objetivo principal de este artículo es presentar la caracterización fisicoquímica del kumquat cultivado en Doima, así como explorar los diversos productos agroindustriales que se han desarrollado a partir de esta fruta, resaltando su potencial en la industria alimentaria y su contribución a la economía local.

Figura 1. Medición de Condiciones Climáticas



ESTADO DEL ARTE

Origen y Distribución del Kumquat

Los kumquats (*Fortunella* spp.) son nativos del sureste de China, donde su cultivo ha sido apreciado desde las dinastías Tang (618-907) y Song (960-

1279). Su primera descripción en la literatura china data del año 1178 d.C (Morton, 1987). Actualmente, su cultivo se ha extendido más allá de Asia, encontrándose también en Japón (donde se registraron en una lista de plantas cultivadas en 1712), Argentina, Brasil, Florida, California, la región mediterránea, Australia y Sudáfrica, aunque representan un cultivo menor a nivel mundial (Huang G., 2011).

Entre las especies más cultivadas de kumquat se encuentran el Marumi o redondo (*Fortunella japonica*) y el kumquat Nagami u ovalado (*Fortunella margarita*), los cuales son fáciles de reconocer por su forma redondeada o alargada (Palma, 2018).

Según los registros de producción mundial de cítricos, el kumquat representa aproximadamente el 10% de la producción total, junto con pomelos sin semillas y otros cítricos menores. Esta estimación se basa en una producción global de cítricos de alrededor de 100 millones de toneladas (Ladaniya, 2008).

En América Latina, el kumquat ha comenzado a ganar popularidad, con registros de cultivos en países como Brasil, Argentina y Guatemala. En Colombia, aunque no existen registros confiables o verificables sobre el establecimiento de cultivos a gran escala, se ha identificado el cultivo local de un árbol adulto en el municipio de Piedras, corregimiento de Doima, en el departamento del Tolima. Además, se ha iniciado la reproducción de árboles jóvenes que ya se encuentran en producción.

Características del Kumquat

El kumquat es un pequeño fruto cítrico que se distingue por su exocarpio carnoso, comestible y de sabor dulce, un mesocarpio reducido, y un endocarpio de sabor ácido. Su tamaño varía entre 3 y 4 centímetros de longitud y de 2 a 3 centímetros de ancho, con un peso que oscila entre los 5 y 20 gramos. A diferencia de otros cítricos, el kumquat se consume entero, lo que permite disfrutar tanto de la dulzura de su cáscara como de la acidez de su pulpa (Razeto Pavez, 2007).

Los frutos cítricos se caracterizan por ser no climatéricos, lo que significa que su maduración

ocurre principalmente en el árbol. A medida que maduran, experimentan un cambio gradual de color, comenzando con un tono verde, pasando por amarillo y alcanzando finalmente un color naranja. Durante este proceso, los azúcares se concentran progresivamente en la cáscara, contribuyendo al desarrollo del sabor y la dulzura del fruto (Palma, 2018).

La característica del sabor dulce localizado principalmente en la cáscara de la fruta, se componen principalmente de sacarosa, y es complementado por glucosa y fructosa (Schirra, 2011).

Consumo del Kumquat: En fresco y procesado

El Kumquat se distingue entre los cítricos por ser consumido en su totalidad, lo que permite apreciar plenamente sus características organolépticas. A diferencia de otros cítricos, presenta un contraste único entre el sabor ácido de su pulpa y el dulzor de su cáscara. Esta combinación produce una experiencia sensorial compleja, en la que se destaca un prolongado frescor en el paladar, similar a una nota mentolada, que realza su perfil distintivo.

El Kumquat, cortado en rodajas, es un acompañante versátil que puede emplearse en una amplia variedad de aplicaciones culinarias. Se utiliza en repostería, para la decoración de platos, como guarnición en recetas con carnes y pescados, en la elaboración de helados, caramelos y mermeladas, e incluso en la preparación de postres, aportando un toque cítrico distintivo (Palma, 2018).

En el caso de las bebidas alcohólicas, el Kumquat puede utilizarse en macerados con licores como vodka y aguardiente, aportando su característico sabor durante el periodo de reposo y almacenamiento prolongado. Esto permite que los productos resultantes sean aptos para su comercialización en mercados distantes de su lugar de fabricación (Small, 2012).

RESULTADOS

Caracterización del Kumquat

El presente estudio se deriva de la experiencia obtenida durante el proceso de cultivo experimental de Kumquat en la Reserva Natural La Esmeralda, ubicada en Doima, corregimiento del municipio de Piedras, en el centro-orienté del departamento de Tolima, Colombia, a 47 km de la ciudad de Ibagué. La altitud de la reserva es de 403 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de aproximadamente 28 °C.

En 2019 se plantaron los dos primeros árboles de Kumquat, con el objetivo de evaluar su capacidad de adaptación a las condiciones agroclimáticas de la región. Los resultados iniciales fueron satisfactorios, mostrando un comportamiento similar al de otros cítricos presentes en la zona. A partir de estos resultados, en 2021 se ampliaron los ensayos con la siembra de 70 árboles adicionales, con el fin de profundizar en el estudio del cultivo y explorar su potencial para la transformación agroindustrial.

El análisis de las frutas obtenidas en la Reserva La Esmeralda comienza con la evaluación de sus características fisicoquímicas. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo en el laboratorio de Biotecnología y Nanotecnología del Tecnoparque Nodo La Granja (actualmente Tecnoparque Nodo Tolima), donde se determinaron parámetros clave como pH, acidez titulable y grados Brix. Este estudio proporcionó información valiosa sobre la fruta, comparando sus características con las especificaciones establecidas en la NTC 4086 (ICONTEC, 1997).

Figura 2 Tabla de Color y Maduración del Kumquat



El proceso de maduración del Kumquat se observa claramente a través de su cambio de color **Figura 2**. Inicialmente, el fruto presenta un tono verde oscuro, que gradualmente se transforma en verde claro.

Posteriormente, aparecen matices amarillos a medida que el color verde desaparece. A continuación, se desarrollan tonalidades anaranjadas hasta que, finalmente, la fruta adquiere un color naranja intenso, indicando su plena madurez.

El análisis del pH mostró una variación en el potencial de hidrógeno a lo largo de las etapas de maduración del fruto. En el estado de madurez 0, el pH inicial es de 2, y conforme el fruto avanza hacia el estado de madurez 5, el pH aumenta progresivamente hasta alcanzar un valor de 4. La medición de la acidez titulable, que representa el porcentaje de ácido cítrico presente en la fruta, reveló que el estado de madurez 0 presenta la concentración más alta, con un 1,017% de ácido cítrico. En contraste, el estado de madurez 5 muestra una disminución notable, alcanzando solo un 0,251% de ácido cítrico.

Para completar esta caracterización, se analizó por separado el zumo de la fruta entera, confirmando la presencia de azúcares en la cáscara. A través de mediciones realizadas con pruebas de refractometría, se observó que el zumo en el estado de madurez 0 presenta un contenido de 4,7 °Brix, que aumenta a 8,2 °Brix en el estado de madurez 5. En cuanto al fruto completo, que incluye tanto la cáscara como el zumo, se registró un contenido de 5,8 °Brix en el estado de madurez 0, alcanzando 14,8 °Brix en el estado de madurez 5 **Figura 3**.

Figura 3 Grados Brix según el Nivel de Maduración del Kumquat



Productos desarrollados de Kumquat

En la búsqueda de oportunidades de mercado para esta fruta exótica, se plantea la necesidad de desarrollar productos que complementen la comercialización en fresco del Kumquat. Desde la

Reserva Natural La Esmeralda, se proponen dos innovadoras alternativas de transformación agroindustrial: la elaboración de mermelada y la producción de cerveza artesanal. Estas propuestas no solo diversifican la oferta del Kumquat, sino que también buscan aprovechar al máximo su potencial culinario y nutricional.

Mermelada de Kumquat

En el mercado colombiano, la mermelada de Kumquat no está disponible debido al escaso conocimiento sobre el cultivo y las propiedades de esta fruta. Sin embargo, la transformación del Kumquat en mermelada comercial ha permitido avanzar en la fase de comercialización del producto. Los prototipos definitivos lograron resaltar el sabor cítrico característico de la fruta, alcanzando una textura adecuada y notas mentoladas muy agradables que la distinguen. Como resultado, se ha obtenido un producto de alta calidad dentro de las mermeladas artesanales, con un sabor único y bien definido.

La mermelada de Kumquat ha cumplido con los estándares establecidos en la Resolución 3929 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (Resolución 3929, 2013). Las características del prototipo definitivo se evidencian en un contenido de 61,2 °Brix, lo que supera el mínimo requerido de 60 °Brix. El pH de la mermelada se midió en 3,22, lo que se encuentra por debajo del límite máximo establecido de 3,4. Además, el porcentaje de ácido cítrico calculado en la mermelada fue del 2,7%, superando el mínimo requerido del 0,5%. Estos resultados reflejan no solo el cumplimiento de las normativas vigentes, sino también la calidad del producto final **Figura 4**.

Figura 4 Mermelada de Kumquat Artesanal



Cerveza artesanal de Kumquat

La elaboración de cerveza artesanal a partir de Kumquat presenta un perfil organoléptico distintivo, caracterizado por un sabor cítrico y refrescante. Esta fruta aporta una acidez y un aroma que interactúan de manera sinérgica con las maltas y lúpulos utilizados en el proceso de fermentación, resultando en una experiencia de degustación única. Los análisis sensoriales revelan la presencia de notas de naranja, limón y mandarina, acompañadas de un ligero amargor. En términos de maridaje, esta cerveza se complementa adecuadamente con productos del mar y quesos de textura suave. Además, su acidez permite una adecuada interacción con frutas cítricas cuando se les añade sal y pimienta. En conjunto, la cerveza de Kumquat ofrece una experiencia sensorial que se caracteriza por su frescura y suavidad.

Con el objetivo de evaluar la viabilidad de la cerveza de Kumquat en condiciones reales, se llevaron a cabo procesos a pequeña escala en laboratorio **Figura 5**, donde se desarrollaron tres prototipos de cerveza. A partir de estas elaboraciones, se seleccionó el prototipo con el sabor más apreciado por los jueces para su posterior producción a gran escala. Los prototipos presentaron características de alcohol final de 2,58%, 2,71% y 3,22%, respectivamente.

Figura 5 Investigadores en Laboratorio Tecnoparque



Para llevar la cerveza de Kumquat a una producción a gran escala, comparable a la de una cervecería artesanal, se implementó un proceso de escalado de las condiciones de elaboración y formulación. Esto permitió desarrollar un producto bajo la marca Doimuna de Pura Cepa, manteniendo las características distintivas obtenidas en el laboratorio. En la planta de producción, se lograron parámetros fisicoquímicos de 3° de alcohol, una

densidad de 1,010 g/ml y un contenido de 4,5° Brix. La cerveza resultante se comercializó en formato de barril y en botellas de 330 ml **Figura 6**.

Figura 6 Cerveza DOIMUNA de Kumquat en Punto de Venta



CONCLUSIONES

La caracterización fisicoquímica de la naranja kumquat en el municipio de Piedras no solo proporciona conocimientos científicos relevantes, sino que también tiene el potencial de influir en prácticas agrícolas y de conservación más sostenibles. Al resaltar las propiedades únicas de esta fruta, se pretende incentivar su producción y consumo, lo que a su vez contribuirá a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico de la región.

El kumquat se posiciona como una opción innovadora en el mercado colombiano, destacándose por su singularidad y precio competitivo. La creciente demanda de este fruto en mercados internacionales como Francia y Alemania abre oportunidades significativas para la exportación, además de sus múltiples aplicaciones en la gastronomía colombiana, que van desde su consumo en fresco hasta su incorporación en mermeladas, salsas y cervezas artesanales. Esta versatilidad convierte al kumquat en un producto atractivo y lucrativo para la agroindustria.

Además, cultivar kumquat no solo representa una estrategia viable desde el punto de vista comercial y ambiental, sino que también es una elección que promueve la salud del consumidor. La producción de kumquat ofrece un potencial considerable para quienes buscan innovar en el sector agrícola. Es importante destacar que en una hectárea se pueden

sembrar aproximadamente 833 árboles, cada uno de los cuales puede generar alrededor de 20 kilogramos de fruto al año, lo que sugiere un rendimiento significativo para los agricultores interesados en este cultivo.

REFERENCIAS

1. Huang G., L. G. (2011). Genetic relationship analysis of Fortunella germplasm resources from China and Vietnam by ISSR markers. *J. Fruit Sci.*
2. ICONTEC. (1997). *NTC 4086 Frutas Frescas. Naranja Valencia. Especificaciones.*
3. Ladaniya, M. (2008). Commercial fresh citrus cultivars and producing countries. *Citrus Fruit. Academic Press.*
4. Morton, J. (1987). Kumquat In: . *Fruits of Warm Climates.*
5. Palma, A. &. (2018). Kumquat Fortunella japonica. *In Exotic Fruits.*
6. Razeto Pavez, C. (2007). *Desarrollo de kumquat (Fortunella margarita) appertizada en almíbar y evaluación de sus características físicas, químicas y sensoriales.*
7. Resolución 3929, M. d. (2013). *Resolución 3929 de 2013.*
8. Schirra, M. A. (2011). Effects of postharvest hot water and hot air treatments on storage decay and quality traits of kumquat (Fortunella japonica Lour. Swingle, cv. Ovale). *fruit. J. Agric. Sci. Technol.*
9. Small, E. (2012). Kumquat. In: Small. *Top 100 Exotic Food Plants.*

-LARVA HERMETIA ILLUCENS: UN ENFOQUE INNOVADOR PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU TRANSFORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Maggy Estefany González Vanegas, ⁽¹⁾ Diana Palacios Arrieta ⁽²⁾, Diego Fernando Velandia Cabrera ⁽³⁾

1. Ingeniero Agroindustrial, Magister en Innovación 2. Ingeniera ambiental y saneamiento 3. Ingeniero forestal. Sena - Centro de Industria y construcción, Instructor Sennova. Grupo de investigación Gidis, Ibagué, Colombia. Correo electrónico 1, megonzalez@sena.edu.co 2, dpalacios@sena.edu.co 3, dfvelandia@sena.edu.co

RESUMEN

Este proyecto propone un enfoque sostenible mediante la economía circular, utilizando residuos orgánicos sólidos (ROS) para dos alternativas: la producción de harina alimenticia y compost a través de larvas de *Hermetia illucens*, conocida como mosca soldado-negra, se basa en una investigación aplicada que busca obtener un compost de calidad adecuado para el suelo. La metodología inicia mediante la cuantificación y caracterización de los residuos orgánicos generados; los resultados del experimento se centran en variables como temperatura, humedad, tiempo, pH y condiciones de las larvas, determinando la mejor calidad del compost mediante pruebas de laboratorio. Como parte del seguimiento a la economía circular, las larvas se utilizarán para producir harina, que será caracterizada y evaluada según su calidad y valor nutricional. Mediante el desarrollo del proyecto se pudo concluir que contribuye a la gestión eficiente de residuos, sino que también promueve la sostenibilidad alimentaria.

Palabras Claves:

Biodegradador, Compost, Harina, *Hermetia Illucens*.

ABSTRACT

This project proposes a sustainable approach through circular economy by utilizing solid organic waste (SOW) for two alternatives: the production of food flour and compost through *Hermetia illucens* larvae, commonly known as the black soldier fly. It is based on applied research aimed at obtaining high-quality compost suitable for soil application. First, the organic waste generated is quantified and characterized. The experimental results focus on variables such as temperature, humidity, time, pH, and larval conditions, determining the best compost quality through laboratory testing. As part of the circular economy approach, the larvae will also be used to produce flour, which will be characterized and evaluated based on its quality and nutritional value. This approach not only contributes to efficient waste management but also promotes food sustainability.

Keywords:

Compost, Biodegrader, Flour, *Hermetia illucens*

INTRODUCCIÓN

La acumulación de residuos orgánicos representa un desafío ambiental y de salud pública en áreas urbanas y rurales. Estos residuos contaminan el entorno, favorecen la propagación de enfermedades y generan gases de efecto invernadero, como el metano, que contribuyen al cambio climático (Leonardo, 2024). Para abordar este problema, se están explorando soluciones innovadoras, como el uso de larvas de *Hermetia illucens* (mosca soldado negra), que pueden descomponer hasta el 90% de los residuos en poco tiempo, mejorando la eficiencia del compostaje y produciendo harina proteica de alta calidad. Este estudio propone un enfoque que utiliza estas larvas para la descomposición de residuos orgánicos, con el objetivo de obtener compost y harina proteica. A través de un sistema piloto, se busca gestionar los residuos eficientemente y generar productos valiosos que contribuyan a la sostenibilidad económica y ambiental, reduciendo la contaminación y mejorando la calidad del suelo (Volta, 2019). Este proyecto promueve una gestión integral que beneficia al medio ambiente y a la economía local.

En este contexto, es crucial implementar enfoques sostenibles para el manejo de residuos sólidos, como la economía circular que aprovecha los residuos orgánicos a través de alternativas como la producción de harina y compost. Esto contribuye a minimizar el impacto ambiental y promover prácticas responsables y sostenibles en la disposición de desechos, hace necesario un estudio detallado y controlado para verificar sus propiedades y su incorporación a la cadena de valor y como uso potencial en la economía circular.

ESTADO DEL ARTE

El manejo de residuos sólidos es una de las problemáticas más importantes en términos de sostenibilidad ambiental, diversos estudios como el de (Durand, 2011), destaca las falencias institucionales, técnicas, económicas, de salud, ambientales, sociales y comunitarias que reducen el impacto de los residuos en países en vía de desarrollo como lo es la región latinoamericana.

A nivel mundial, el aumento de los desperdicios alimenticios y residuos sólidos genera repercusiones

en los ámbitos social, económico y ambiental citado por (Urrea et al., 2022). Esto conlleva a la necesidad de identificar y diagnosticar los diferentes tipos de desechos. Por ejemplo, un estudio realizado en Alemania encontró que entre el 14 y el 20% de las cargas ambientales resultan de las pérdidas de alimentos a lo largo de la cadena de valor, y que el consumo fuera del hogar es responsable del 8 al 28% del impacto ambiental total. (Eberle y Fels, 2016). Según (Bustanza et al., 2023), analiza la gestión de residuos sólidos en el contexto de la educación ambiental allí se destaca la importancia de implementar estrategias integradas para reducir, reutilizar y reciclar residuos, así como la necesidad de concienciar a la población sobre el impacto ambiental de sus acciones.

Este estudio muestra que la mayoría de los docentes proveniente de los resultados de las encuestas determinaron que no practican el reciclaje de manera óptima y que solo un pequeño porcentaje de ellos frecuentemente cuida el medio ambiente. El artículo concluye que el manejo de residuos sólidos es un problema global de gran importancia y que la educación ambiental es fundamental para reducir el impacto ambiental y brindar soluciones a los problemas relacionados.

Es así como se aborda el concepto de mejoramiento de los procesos mediante diferentes enfoques como lo es una de ellas el uso de tecnologías emergentes que mitiguen el impacto de los residuos sólidos y generen conocimiento a los ciudadanos.

Actualmente se está trabajando con microorganismos eficientes para la descomposición de residuos orgánicos, produciendo compost como lo menciona (Bejarano y Delgadillo, 2007). Este proceso biológico termofílico implica la descomposición de la materia orgánica por una gran cantidad de microorganismos aerobios o anaerobios, que digieren los compuestos orgánicos transformándolos en otros más simples. En el proceso de degradación controlada, se ha identificado a la mosca soldado (*Hermetia illucens* L, Dip.: Stratiomyidae) como un insecto que, debido a sus grandes cualidades en degradación, conservación y generación de subproductos amigables al medio ambiente, como lo expresa Arango et al. (2004), la mosca soldado se encuentra en la naturaleza en una amplia variedad de hábitats y no se le ha registrado como transmisor de enfermedades, lo que la hace un insecto promisorio en la transformación de materiales orgánicos.

Gómez y Guerrero 2021. Así mismo, Arango et al. (2004) realizó un estudio sobre la harina proveniente de larvas de *Hermetia illucens* con el fin de revisar su valor nutricional, este trabajo se relaciona con la investigación planteada, ya que concluyeron que es un alimento de alto valor proteínico y que podría ser utilizado en la alimentación animal. En 2017, la industria avícola Rockford abordó el tema de los insectos, como la larva de *Hermetia illucens*, desde el lenguaje de la sustentabilidad y legalidad en países como Estados Unidos, donde se permite el uso de la harina proveniente de las larvas como alimentos altamente nutricionales para los peces. Los insectos desempeñan un papel crucial en el ciclo alimentario como procesadores naturales de desperdicios orgánicos, al hacer esto, se multiplican con rapidez y no necesitan la cantidad de tierra que necesitan los cultivos o la producción animal. (González et al., 2017) citando a (Yepes et al., 2008), indica que el aprovechamiento de los residuos, dependiendo de su procedencia y composición, puede ser reutilizado para generar productos para el consumo humano y animal, producción de energías renovables, obtención de biocombustibles y algunos productos químicos, así como recuperadores de la tierra o abonos. En países como Colombia, las fuentes de proteína para alimentación animal son muy costosas y en su mayoría importadas. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su prospectiva a 2030 propone reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.

Metodología

1. Cuantificación y caracterización de los residuos orgánicos generados.

Se utilizó una encuesta mediante entrevistas estructuradas que constó de 17 preguntas, las cuales analizaron el manejo y la disposición de residuos sólidos de la comunidad de la comuna 9 de los barrios Tunjos 1, Tunjos 2 y portal de los tunjos, así como la cantidad y disponibilidad de estos para su utilización en el proyecto.

Para la cuantificación y caracterización de los residuos, se diseñó una muestra representativa que abarcara diferentes sectores de los barrios Tunjos 1 y 2, así como del Portal de los Tunjos. La muestra

se seleccionó utilizando un muestreo estratificado, que permite garantizar que diferentes subgrupos de la población, como hogares, comercios y centros comunitarios, estén adecuadamente representados; se utilizó una guía de entrevista estandarizada para asegurar la coherencia y la validez de los datos.

Para el análisis de la información recolectada, se implementó una estrategia mixta que combinó tanto análisis cualitativo como cuantitativo, en primer lugar, se realizaron análisis descriptivos para identificar tendencias generales en el manejo de residuos, como la cantidad de residuos generados y las prácticas de disposición más comunes, posteriormente, se llevó a cabo un análisis cualitativo para profundizar en las percepciones y actitudes de la comunidad hacia la gestión de residuos. La tabulación de los datos se realizó utilizando herramientas tecnológicas para agilizar y facilitar la organización y representación visual de la información, generándose tablas y gráficos que ilustran las principales tendencias y hallazgos, permitiendo una interpretación clara de los resultados.

2. Obtención compost.

Para la obtención de compost, se utilizó una metodología desarrollada por (Morales, 2021) que fue implementada en las etapas iniciales del proyecto como se ve en la figura 1. y gracias a la vigilancia científica se implementó una mejora en el proceso con la metodología de (Dortman, 2021.).



Figura 1. Etapas del ciclo de la mosca

RESULTADOS

1. Cuantificación y caracterización de los residuos orgánicos generados.

Se realizaron 315 encuestas en dos barrios de la comuna 9 de Ibagué: Los Tunjos y Portal de Los Tunjos. Los datos obtenidos son significativos: 3 familias producen compost, 49 familias separan residuos orgánicos y 182 familias se comprometieron a entregar los residuos generados en sus hogares. La encuesta revela que las familias son conscientes de la necesidad de separar y reutilizar estos residuos, lo que indica un interés creciente en la gestión adecuada de desechos.

2. Obtención compost.

Mediante un enfoque basado en la vigilancia científica, se lograron mejoras notorias en los procesos, lo que incrementó la eficiencia y optimizó la disposición de las larvas para la producción de compost, como se ilustra en la figura 2. Se observó que las moscas depositaban sus huevos en tablillas de madera, donde se notaron cambios notables en la recolección de los huevos. Este proceso pasó de una situación en la que había un desperdicio considerable de larvas a una recolección abundante de crías, tal como menciona (Dortmans, 2021) en su investigación. Estos avances permitieron iniciar una mejora sustancial en el proceso. En la figura 3 se puede apreciar los huevos en cantidad donde 01, g de huevos equivalen a 15.000 huevos en unidad: además, en la fase de etapa de pre pupa como se ve en figura 4. (Dortmans, 2021) se mejora el proceso con una cama de mejores condiciones ambientales para las larvas como lo es el capacho del coco, permitiendo que ellas con su movimiento estén allí y permitan un menor stress y puede pasar a la siguiente fase del ciclo figura 5. En esta etapa la larva deja de tener movimiento y su color se vuelve gris oscuro, en esta etapa la larva debe estar en un lugar fresco y oscuro, para luego emerger la mosca. En la figura 6. Las larvas en pupas donde se da el apareamiento y depósito de huevos. A continuación, se presenta todo el ciclo de obtención de compost.

ETAPAS DEL CICLO DE LA MOSCA

Como se aprecia en la figura 1. Se muestra el ciclo completo de la vida de la mosca soldado negro, para entender mejor su proceso biológico.

MOSCA

5 a 9 días



Figura 2. Mosca en tablilla

Luego de emerger la mosca está en el día 4 inicia su proceso de apareamiento, en el día 5 o 6 la mosca coloca los huevos en tablillas cerca de residuos orgánicos, los cuales son recogidos y almacenados para iniciar el ciclo.

HUEVOS

3 a 4 días para eclosionar

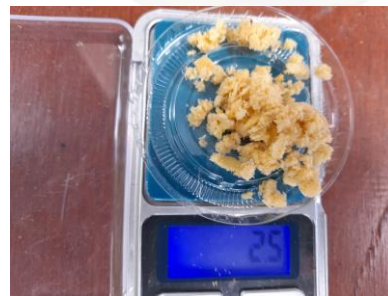


Figura 3. Huevos de mosca

ETAPA LARVARIA

25 a 30 días



Figura 4. Larvas en alimentación

En esta etapa las larvas se alimentan de residuos orgánicos sólidos, los cuales descomponen y son convertidos a abono.

En esta etapa la larva se deja de alimentar de residuos orgánicos, la larva se vuelve de un color

marrón y busca un espacio más seco para entrar a la siguiente fase

ETAPA DE PRE PUPA

6 a 7 días

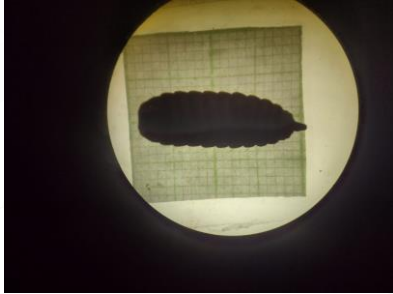


Figura 5. Larvas en estado de pre pupa

ETAPA DE PUPAS

8 a 10 días



Figura 6. Larvas en pupas

CONCLUSIONES

Los procesos implementados en la elaboración de compost han demostrado ser altamente efectivos. Se ha determinado que la descomposición de 1 kilogramo de residuos orgánicos requiere aproximadamente 0,1 gramos de huevos, lo que equivale a cerca de 15,000 larvas. Este dato subraya la eficiencia del uso de larvas en la aceleración del proceso de compostaje.

El proceso de compostaje, en condiciones óptimas, presenta un periodo de 25 a 30 días; para lograr estos resultados, es esencial mantener niveles de humedad alrededor del 30% y temperaturas que oscilen entre 23°C y 27°C. Estas condiciones son fundamentales para garantizar una descomposición efectiva y un desarrollo adecuado de las larvas.

Se observó que el contenido de proteína en el compost alcanza su punto máximo entre los días 18 y 21 del proceso, coincidiendo con el estado larvario. Posteriormente, a medida que las larvas se alimentan y se convierten en pupas, su contenido proteico disminuye. Esta dinámica es crucial para entender el valor nutricional del compost en relación con su periodo de maduración.

Los resultados obtenidos evidencian que es posible aprovechar los residuos sólidos orgánicos urbanos no solo para la producción de compost de alta calidad, sino también para fomentar prácticas agrícolas sostenibles. El compost generado ofrece un alto valor nutricional, lo que lo convierte en un recurso valioso para la producción de hortalizas.

Además, el proceso de compostaje de los residuos estudiados se ha demostrado como una alternativa eficiente, rápida y viable para la gestión de residuos orgánicos. Este enfoque no solo contribuye a la reducción de desechos, sino que también promueve la fertilidad del suelo, destacándose como una estrategia efectiva para impulsar la agricultura ecológica y la sostenibilidad ambiental en la comunidad.

REFERENCIAS

1. Arango Gutiérrez, G. P., Vergara Ruiz, R. A., & Humberto Mejía Vélez. (2004). Análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de hermetia illuscens L (diptera:Stratiomyidae) en angelópolis-antioquia, Colombia. Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín, 57(2), 2491-2499. Retrieved from <https://login.bdigital.sena.edu.co/login?url=http://www.proquest.com/scholarly-journals/análisiscomposicional-microbiológico-y/docview/1677563504/se-2>
2. Bejarano Bejarano, E. P., & Delgadillo Acosta, S. M. (2007). Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá" la modelo" por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM).
3. Dormanst (2021), Procesamiento de residuos biológicos Black Soldier Fly
4. Durand, M. (2011). La gestión de los residuos sólidos en los países en desarrollo: ¿cómo obtener beneficios de las dificultades

- actuales?. *Espacio Y Desarrollo*, (23), 115-130. Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/3502>
5. Elieser, Escalona Guerra. (2014). Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili , Timor Leste. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(2), 270-277. Recuperado en 23 de septiembre de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000200011&lng=es&tlng=es.
 6. Gomez Arturo Santiago y Jaimes Guerrero Jose Julian- Evaluación de la inclusión de harina de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) en la dieta para juveniles del pez ángel (*Pterophyllum scalare*). Tomado http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/7430/1/Jaimes_Gomez_2021_TG.pdf 2021
 7. Gonzalez, L. V. P., Gómez, S., Patricia Montenegro, & Abad, P. A. G. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. [Exploitation of agroindustrial waste in Colombia Exploração de resíduos agroindustriais na Colômbia] *Revista De Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 141-150. Retrieved from <https://login.bdigital.sena.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/scholarlyjournals/aprovechamiento-de-residuos-agroindustriales-en/docview/1963138129/se-2>
 8. Leonardo GR; (2024). La importancia de una gestión adecuada de los residuos para la salud pública y el medio ambiente. (2024, abril 25). Leonardo Gestores de Residuos. <https://www.leonardo-gr.com/es/blog/la-importancia-de-una-gesti-n-adecuada-de-los-residuos-para-la-salud-p-blica-y-el-medio/>
 9. Sumarriva-Bustinza, Liliana Asunción, Zela-Payí, Nelly Olga, Ticona-Arapa, Haydee Clady, Condori, Nancy Chambi, & Chávez-Sumarriva, Nadia Lys. (2023). Manejo de residuos sólidos para el cuidado del medioambiente: una necesidad para la calidad de vida. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 408-417. Epub 20 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.224>
 10. Volta, 2019, impactos ambientales de un mal manejo de residuos. (2019, mayo 8). VOLTA <https://www.voltachile.cl/4-impactos-ambientales-de-un-mal-manejo-de-residuos/>
 11. Zambrano Armando. 2023, Manejo de desechos sólidos y sostenibilidad ambiental Solid waste management and environmental sustainability Gestão de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade Ambiental. Pol. Con. (Edición núm. 84) Vol. 8, No 7 Julio 2023, pp. 97-104 ISSN: 2550 - 682X DOI: 10.23857/pc.v8i7

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas e instituciones de la comuna 9 que hicieron posible la realización de este proyecto de investigación Sennova 2024, así como al Sena Centro de Industria y de la Construcción. Agradecemos especialmente al equipo de trabajo Sennova 2024: Angie Muñoz, Yeison Ramírez, Jonathan Gutiérrez, Camilo Martínez y Johan Olaya.

TENDENCIAS EN EMPAQUES DE FRUTAS: UN ANÁLISIS A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

TRENDS IN FRUIT PACKAGING: AN ANALYSIS THROUGH THE TECHNOLOGICAL MONITORING TOOL

Juan Sebastián Peláez Zúñiga (1), Julián Garzón Quiroga (2) y Joaquín Eduardo Carrillo Orjuela (3)

1. Ingeniero Industrial – Magister en Gestión Industrial. Investigador Experto. Grupo de Investigación GESICOM, Ibagué, Colombia. Correo electrónico: jpelaez@sena.edu.co
2. Ingeniero Industrial – Magister en Gestión Industrial. Instructor e Investigador. Grupo de Investigación GESICOM, Ibagué, Colombia. Correo electrónico: jagarzonq@sena.edu.co
3. Contador Público, Investigador Experto, Gestión Empresarial, Servicios e Innovación Comercial GESICOM, Ibagué, Colombia. Correo electrónico: jcarrilloo@sena.edu.co

RESUMEN

Las tendencias logísticas en empaques de frutas están experimentando una transformación significativa, impulsadas por la demanda de eficiencia, sostenibilidad y calidad del producto. Las innovaciones incluyen el uso de materiales biodegradables, tecnologías de seguimiento y trazabilidad, así como el diseño de empaques inteligentes para prolongar la vida útil de los productos y mantener su calidad durante el transporte. Además, la logística está siendo optimizada mediante sistemas de transporte más eficientes y la implementación de cadenas de suministro ágiles y flexibles. Estas tendencias están remodelando el sector, promoviendo prácticas más responsables y garantizando la calidad y frescura de las frutas desde el campo hasta el consumidor final.

Palabras Claves:

Gestión de la cadena de suministro; Almacenamiento de fruta; Envasado de Alimentos; Calidad de la fruta; Poscosecha

ABSTRACT

Logistics trends in fruit packaging are undergoing a significant transformation, driven by the demand for efficiency, sustainability and product quality. Innovations include the use of biodegradable materials, tracking and tracing technologies, as well as the design of smart packaging to extend shelf life and maintain product quality during transportation. In addition, logistics is being optimized through more efficient transportation systems and the implementation of agile and flexible supply chains. These trends are reshaping the sector, promoting more responsible practices and ensuring the quality and freshness of fruit from the field to the final consumer.

Keywords:

Supply Chain Management; Fruit Storage; Food Packaging; Fruit Quality; Postharvest.

INTRODUCCIÓN

En un contexto global cada vez más consciente de la sostenibilidad y la eficiencia, las tendencias logísticas en el empaquetado de frutas es un tema de gran interés a nivel mundial teniendo en cuenta que es una de las metas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, de las inversión agrícola y desarrollo rural son necesarias para acabar con el Objetivo de Hambre Cero de manera sostenible para 2030 (FAO et al., 2016).

De acuerdo a la teoría de la cadena de suministro se refiere a varias etapas de la producción que va desde la elaboración de la materia prima hasta la distribución en tiendas minoristas (Yadav et al., 2022). El establecimiento de modelos de negocios colaborativos en la cadena de suministro agroalimentarias se ha vuelto más importante que nunca (Hernandez et al., 2021).

El diseño de empaques inteligentes se presenta como una respuesta eficaz para prolongar la vida útil de los productos y mantener su frescura durante el transporte. Estos avances no solo benefician a los productores y distribuidores, sino que también fortalecen la confianza del consumidor, quien exige productos frescos y de alta calidad.

El presente documento se aplicó la metodología de revisión tecnológica; el primer paso es determinar las palabras claves, segundo paso la agrupación de búsqueda, tercer paso estructuración de la ecuación de búsqueda, cuarto paso inteligencia y prospectiva, análisis de resultados y discusión.

METODOLOGÍA

PRIMER PASO: PALABRAS CLAVES

En primer lugar, el equipo investigador definió la lista de palabras claves a utilizar en la ecuación de búsqueda. Las cuales se establecieron en español e inglés como se muestra a continuación:

Tabla 1. Palabras claves seleccionadas

Palabras en español	Palabras en inglés
Gestión de la cadena de suministro	Supply Chain Management
Almacenamiento de fruta	Fruit Storage
Envasado de Alimentos	Food Packaging
<i>Calidad de la fruta</i>	Fruit Quality
Poscosecha	Postharvest

Fuente: Autores

Posterior a la selección de palabras claves, se procedió a realizar la construcción de ecuaciones de búsqueda de las cuales se analizó hasta llegar a una ecuación que permitiera evidenciar la tendencia de crecimiento de las publicaciones existentes referentes a empaques de frutas.

Segundo paso: Agrupación de búsqueda

En el segundo paso del estudio, se identificaron las temáticas relacionadas que presentaban un alto grado de afinidad, a partir de las cuales se establecieron las ecuaciones de búsqueda. Además, se identificaron los principales criterios de análisis y delimitación de búsqueda, los cuales se basaron en las áreas de interés específicas, como se muestra en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Agrupación de ecuaciones de búsqueda

Criterio de búsqueda I	Criterio de búsqueda II	Criterio de búsqueda III
"Fruit Storage" AND "Fruit Harvesting" OR "fruit" / "CONTROLLED STUDY" / "FOOD STORAGE" / "SHELF LIFE" / "ethylene" / "storage" / "FOOD QUALITY" / "POSTHARVEST PERIOD" / "FOOD PRESERVATION" / "FRUIT RIPENING" / "FRUIT FIRMNESS" / "ANTIOXIDANT ACTIVITY" / "STORAGE TEMPERATURE" / "FRUIT COLOR" / "postharvest" / "QUALITY CONTROL" / "FRUIT QUALITY" /	<u>LIMIT-TO (PUBYEAR):</u> 2017 - 2025	<u>AND EXCLUDE SUBJAREA:</u> "ENVI", "MEDI", "COMP", "PHYS", "ENER", "SOCI", "PHAR", "HEAL", "EART", "NURS", "MATH", "MULT", "DECI", "VETE", "ECON", "BUSI", "ARTS". <u>AND EXCLUDE DOCTYPE:</u> "ed", "sh", "ch", "re". <u>AND EXCLUDE EXACTKEYWORD:</u> "Controlled Study", "Nonhuman", "Metabolism", "Biochemistry", "Carbon Dioxide", "Carotenoid", "Cellulase", "DPPH Radical Scavenging Assay", "Escherichia Coli", "Essential Oils", "Flavor", "Hardness", "Humidity", "Lycopersicon Esculentum", "Nutritional Value", "Oxidative Stress", "Permeability", "Anti-Bacterial Agents", "Antioxidant Activities", "Atmosphere", "Botrytis Cinerea", "Breathing Rate", "Chlorophyll", "Ethylene Derivative", "Ethylenes", "Mass

"COLD STORAGE" / "FOOD PROCESSING" / "FOOD PACKAGING" / "ripening".		Spectrometry", "Senescence", "Sensory Evaluation", "Tensile Strength", "Titrimetry", "Transcriptome", "Transcriptomics", "Upregulation", "Fungi", "Gas Chromatography", "Growth, Development And Aging", "Lipid Peroxidation", "Ascorbate Peroxidase", "Real Time Polymerase Chain Reaction", "X Ray Diffraction", "Antifungal Activity", "Concentration (parameter)", "Digital Storage", "Fatty Acid", "Mass Fragmentography", "Antifungal Agent", "Cytology", "Pectinesterase", "Volatile Organic Compounds", "Gene Expression Regulation, Plant", "Catalase".
---	--	--

Fuente: Autores

Tercer paso: Estructuración de la ecuación de búsqueda

Se creó una ecuación de búsqueda que consideró los temas seleccionados por el equipo de investigación y los criterios establecidos, lo que resultó en un total de 353 publicaciones científicas relevantes. Esta información se utilizó para definir los indicadores cuantitativos y proyectar futuras áreas de investigación en la creación de las tendencias logísticas en empaques de frutas.

Tabla 3. Ecuación de búsqueda

Ecuación de Búsqueda	Número de Documentos
"Fruit Storage" AND "Fruit Harvesting" OR "Fruit" OR "Fruits" OR "Controlled Study" OR "Food Storage" OR "Shelf Life" OR "Ethylene" OR "Storage" OR "Food Quality" OR "Postharvest Period" OR "Food Preservation" OR "Fruit Ripening" OR "Fruit Firmness" OR "Antioxidant Activity" OR "Storage Temperature" OR "Fruit Color" OR "Postharvest" OR "Quality Control" OR "Fruit Quality" OR "Cold Storage" OR "Food Processing" OR "Food Packaging" OR "Ripening" AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2025 AND (EXCLUDE (SUBJAREA,"VETE") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"MEDI") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"ENVI") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"COMP") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"PHYS") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"ENER") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"SOCI") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"PHAR") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"HEAL") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"EART") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"NURS") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"MATH") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"MULT") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"DECI") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"ECON") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"ARTS") OR EXCLUDE (SUBJAREA,"BUSI")) AND (EXCLUDE (DOCTYPE,"sh") OR EXCLUDE (DOCTYPE,"re") OR EXCLUDE (DOCTYPE,"ed"))	353 Publicaciones científicas.

Fuente: Autores

Cuarto paso: Inteligencia y Prospectiva

La prospectiva en tendencias de enfoques de frutas, se realizó un análisis bibliométrico utilizando la herramienta Bibliometrix para generar un mapa temático permitiendo visualizar las relaciones entre los diferentes conceptos clave en el área de estudio (Aria & Cuccurullo, 2017). Teniendo en cuenta la identificación de la palabra nodo "Gestión de la cadena de suministro" con la conexión de las palabras puente: almacenamiento de fruta, envasado de alimentos, calidad de fruta y poscosecha, se realiza el mapa temático que se encuentra categorizado de la siguiente forma:

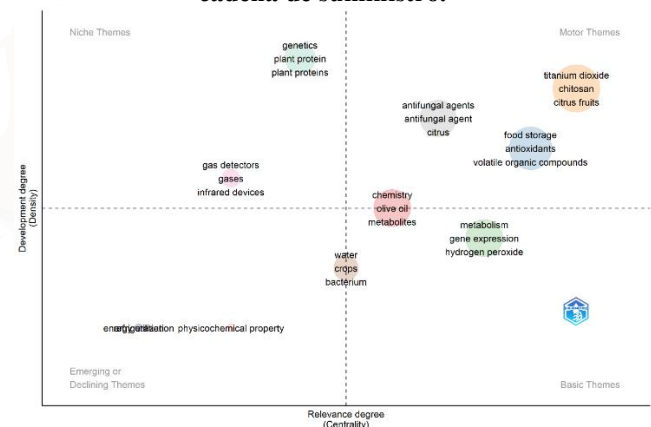
Temas básicos: Representa fundamento en el campo de estudio con un desarrollo consolidado.

Nicho de temas: Áreas que cuentan con un desarrollo limitado que puede representar oportunidades para investigaciones más específicas.

Temas motores: Temáticas con un alto grado de relevancia que impulsa el campo de estudio mostrando fuerte conexión con otros temas.

Temas emergentes: Investigaciones recientes que cuentan con un potencial alto para convertirse en futuras líneas de investigación.

Ilustración 1. Mapa temático en la prospectiva de empaques de frutas con la palabra nodo gestión de cadena de suministro.



Fuente: Elaborado por bibliometrix a través de datos Bid.

• Nicho de temas:

En el mapa temático generado, uno de los nichos identificados es "Innovación en la modificación genética para la optimización de proteínas vegetales y control de gases mediante dispositivos infrarrojos".

Este tema integra avances en la genética para la mejora de proteínas vegetales con tecnologías de vanguardia en la detección y monitoreo de gases teniendo en cuenta que la modificación genética de plantas permite optimizar la calidad de proteínas vegetales, mientras que el uso de detectores de gases y dispositivos infrarrojos facilita el control de las condiciones ambientales que son cruciales para mantener la calidad de los productos durante el almacenamiento y transporte (Nxumalo & Fawole, 2022) (Mastilović et al., 2022).

De esta manera, se concibe técnicas de envasado con tratamientos de CO₂ donde las bolsas de microperforaciones puede mejorar significativamente la calidad de frutas maduras durante la distribución que permita generar controles de choques térmicos para mejorar la integridad de las frutas por medio de una capa de cera que logra una mayor conservación del frío (Ge et al., 2023).

Adicionalmente, la exposición a la radiación solar afecta la susceptibilidad al daño por frío poscosecha donde se encuentra que una mayor exposición al sol, combinada con temperaturas de almacenamiento más bajas incrementa el daño por frío (Ruiz et al., 2023). Este conjunto de estudios refleja la importancia de integrar tecnologías avanzadas en la modificación genética que permita contar con una mayor duración en el almacenamiento y calidad de las frutas.

• Temas motores:

La línea de investigación "Aplicaciones de dióxido de titanio y quitosano como agentes antifúngicos en el almacenamiento de alimentos" la cual se enfoca en explorar cómo el dióxido de titanio y el quitosano pueden ser utilizados como agentes antifúngicos para mejorar la conservación y seguridad de los alimentos durante su almacenamiento. Teniendo en cuenta que estos elementos pueden inhibir el crecimiento de hongos prologando la vida útil de diversos productos alimenticios (Hutauruk et al., 2024).

Consecuentemente, la eficacia de recubrimientos comestibles de quitosano enriquecidos con extractos de plantas medicinales para la preservación de frutos demuestra que estos recubrimientos reducen la producción de etileno y la pérdida de peso manteniendo la calidad de la fruta durante el almacenamiento (Nxumalo & Fawole, 2022).

A su vez, la aplicación de recubrimientos en capas de quitosano combinados con otros biopolímeros cuenta con mejoras significativas en la calidad de las frutas logrando una mayor concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante durante el almacenamiento en frío (Jurić et al., 2023).

• Temas emergentes:

Propiedades ficocímicas emergentes en cultivos: Innovaciones en el desarrollo y mejora de plantas agrícolas: Esta línea de investigación se centraría en el estudio de las propiedades ficocímicas, como compuestos bioactivos y antioxidantes con el fin de caracterizar estos compuestos para mejorar la calidad nutricional, la resistencia a enfermedades y el rendimiento de los cultivos que permitiría evaluar el potencial de estas propiedades para desarrollar nuevas variedades de plantas que se adapten mejor a los desafíos ambientales y agrícolas emergentes.

De la misma manera, la evolución de metabolitos primarios y secundarios, así como en la actividad antioxidante durante el proceso de maduración que permite mantener la actividad antioxidante teniendo como resultado que los metabolitos podrían servir como marcadores para determinar la calidad óptima en el proceso poscosecha en términos de almacenamiento y distribución (Choi et al., 2022).

Adicionalmente, es de vital importancia comprender las propiedades fisicoquímicas de los cultivos para optimizar su manejo poscosecha que permitiría beneficiarse al enfocarse en cómo la estructura textural y la calidad fisiológica, pueden ser utilizados para mejorar la conservación y comercialización de diferentes frutas (Jia et al., 2022).

Resultados y Discusión

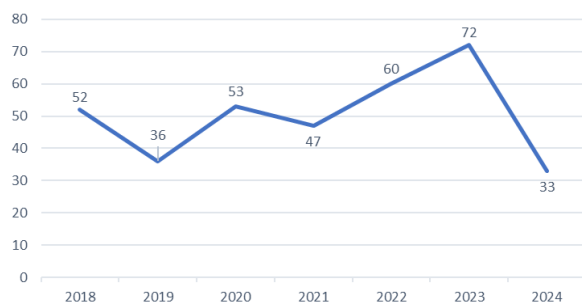
En el desarrollo de la vigilancia tecnológica, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de 353 publicaciones científicas, con el objetivo de identificar los estudios relevantes a nivel internacional y local, con respecto al enfoque de tecnologías disponibles emergentes (Andrade et al., 2017). La búsqueda permitió determinar los elementos y temáticas de mayor interés para la comunidad científica, lo que contribuyó a generar una prospectiva para la generación de conocimiento y proyectar líneas futuras de investigación para el mejoramiento de diseño de empaques.

Para este fin, se llevó a cabo un análisis de la evolución de publicaciones científicas y autores líderes en la temática, asimismo, permiten desarrollar nuevas estrategias y prácticas innovadoras para la optimización de los procesos y el aumento de la competitividad.

Evolución por año

La tendencia para la presente vigilancia tecnológica revisando la gráfica muestra fluctuaciones con varios altibajos en los documentos por año, para los años del 2018 al 2021, para el periodo de 2021 al 2023 tiende al crecimiento continuo.

Ilustración 2. Documentos por año



Fuente: Autores

De los autores que lideran el tema de Investigación de los empaques con seis artículos están los científicos Harren, F.J.M, Jahromi, K.E. y Pan Q., con estudios de almacenamiento con atmósfera controlada, en dichos empaques se aumenta los niveles de dióxido de carbono y se reduce el oxígeno, el objetivo de realizar esos empaques de almacenamiento con atmósfera controlada es eliminar el hongo de *Botrytis cinerea* que se presenta en diferentes cultivos como hortalizas, viña, frutales y plantas ornamentales (Jahromi et al., 2019).

El autor Randolph Beaudry y Chopra S. investigó sobre las cámaras frigoríficas en las explotaciones agrícolas, se trata de una propuesta difícil en muchos países en desarrollo, a pesar de que se ha utilizado para el almacenamiento de frutas y verduras durante las últimas tres década, para las horas del día se trabaja con energía solar y una "batería de agua" para la refrigeración nocturna, se evita la sobrecarga con el cambio de sistema de acuerdo a la insolación (Chopra et al., 2023).

Para el caso del autor Khodabakhsh A. y Nematollahi M., para el almacenamiento de frutas realiza estudios interesantes de sensor de gases así

como su aplicación para medir volátiles producidos en frutas en diferentes condiciones atmosféricas (Jahromi et al., 2020). Posteriormente en un estudio se investigó sobre el monitoreo de manera confiable sobre el estado fisiológico y patológico de las frutas almacenadas, la medición continua de los volátiles producidos por la fruta en la atmósfera de almacenamiento y señales de estrés del mismo (Jahromi et al., 2024).

Por otra parte el autor Neuwald, Daniel A. se ha interesado por estudiar la fruta de la manzana donde concluye en su estudio que los productores deben desarrollar nuevas estrategias de protección vegetal para cumplir con las demandas legales y sociales y al mismo tiempo ofrecer manzanas de alta calidad (Büchle et al., 2022).

Finalmente el autor Florido, M.C. se ha interesado por trabajar con los frutos de olivo en lo concerniente a estudiar la temperatura del campo pasa a primer plano como estrategia necesaria para garantizar la calidad de las aceitunas antes de su procesamiento, como la mayoría de los frutos que se recolectan a temperaturas excesivas, así mismo el daño irreversible que las altas temperaturas diurnas pueden producir durante el tiempo previo al procesamiento de la fruta (Plasquy et al., 2021).

El estudio investigó el efecto de la temperatura en el almacenamiento y la atmósfera inicial del envasado en la calidad y vida útil en la fruta de naranja, se monitorearon los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y nutricionales (Schenck et al., 2024).

El uso de los empaques para la recolección de la fruta de kiwi que tiene un inconveniente durante la recolección en la piel que se raya fácilmente, el investigador Wang Ruiyuan diseñó un nuevo tipo de pinza de bolsa de aire envolvente basada en el control neumático de la expansión y contracción de la bolsa de aire para lograr el almacenamiento y encapsulación de la fruta (Wang et al., 2024).

CONCLUSIONES

La investigación permitió identificar que las tendencias logísticas en empaques de frutas a partir del estudio de vigilancia tecnológica mediante el método de ecuaciones de búsqueda, de que la producción científica y tecnológica se concentra en

los países de la China, Estados Unidos, Brazil e India.

En los diferentes artículos se muestran avances como modificación genética, conservación del frío, almacenamiento con atmósfera controlada, uso de materiales biodegradables, tecnologías de seguimiento y trazabilidad, así como el diseño de empaques inteligentes para prolongar la vida útil de los productos y mantener su calidad durante el transporte.

El desarrollo de la vigilancia tecnológica nos permite identificar una gran variedad de propuestas innovadoras de empaques, que permiten llegar al consumidor final de una manera más eficiente y amigable con el medio ambiente y de forma rentable para el productor.

La investigación en este ámbito ha abordado una amplia gama de temas, entre los que se consideran los empaques de aplicaciones inteligentes que permiten el desarrollo de componentes químicos para inhibir la proliferación microbiana.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrade, J. M., Plazas, E. R., & Quintero, A. (2017). Technological surveillance of the agro-industrial sector Vigilancia tecnológica del sector agroindustrial. In *ENTORNOS* (Vol. 30, Issue 2).
2. Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
3. Büchele, F., Neuwald, D. A., Scheer, C., Wood, R. M., Vögele, R. T., & Wünsche, J. N. (2022). Assessment of a postharvest treatment with pyrimethanil via thermo-nebulization in controlling storage rots of apples. *Agronomy*, 12(1).
<https://doi.org/10.3390/agronomy12010034>
4. Choi, H. R., Baek, M. W., Cheol, L. H., Jeong, C. S., & Tilahun, S. (2022). Changes in metabolites and antioxidant activities of green ‘Hayward’ and gold ‘Haegeum’ kiwifruits during ripening with ethylene treatment. *Food Chemistry*, 384, 132490.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132490>
5. Chopra, S., Müller, N., Dhingra, D., Pillai, P., Kaushik, T., Kumar, A., & Beaudry, R. (2023). Design and performance of solar-refrigerated, evaporatively-cooled structure for off-grid storage of perishables. *Postharvest Biology and Technology*, 197.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112212>
6. FAO, FIDA, & PMA. (2016). *Objetivo hambre cero. El papel decisivo de las inversiones en la protección social y la agricultura. Segunda edición*. www.fao.org/publications
7. Ge, S., Wang, R., Yang, L., Kong, H., Chang, X., Fu, X., Shan, Y., & Ding, S. (2023). Transcriptomics and gas chromatography-mass spectrometry metabolomics reveal the mechanism of heat shock combined with 1-methylcyclopropene to regulate the cuticle wax of jujube fruit during storage. *Food Chemistry*, 408, 135187.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135187>
8. Hernandez, J. E., Mortimer, M., & Panetto, H. (2021). Operations management and collaboration in agri-food supply chains. In *Production Planning and Control* (Vol. 32, Issue 14, pp. 1163–1164). Taylor and Francis Ltd.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1796141>
9. Hutaeruk, V. H. D., Rakhmirianti, S. T., Simanjuntak, M., Hakim, M. N., Joni, I. M., Faizal, F., Panatarani, C., Esyanti, R. R., & Dwivany, F. M. (2024). Application of nanoparticles blue-TiO₂-x and chitosan coating to delay ripening and suppress ethylene-related gene expression of Cavendish banana. *Scientia Horticulturae*, 338, 113457.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113457>
10. Jahromi, K. E., Khodabakhsh, A., Harren, F. J. M., Rokx, E., Nodop-Kruse, J., Köpcke, D., & Nematollahi, M. (2024). Fruit quality control by

- mid-infrared multi-species trace gas sensing. In *Acta Horticulturae* (Issue 1386). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1386.44>
11. Jahromi, K. E., Pan, Q., Khodabakhsh, A., Sikkens, C., Assman, P., Cristescu, S. M., Moselund, P. M., Janssens, M., Verlinden, B. E., & Harren, F. J. M. (2019). A broadband mid-infrared trace gas sensor using supercontinuum light source: applications for real-time quality control for fruit storage. *Sensors (Switzerland)*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/s19102334>
 12. Jahromi, K. E., Pan, Q., Nematollahi, M., Abbas, M. A., Khodabakhsh, A., & Harren, F. J. M. (2020). Multi-species trace gas sensor based on a mid-infrared supercontinuum source for monitoring of fruit storage. *Optics InfoBase Conference Papers*.
 13. Jia, C., Sun, S., Bao, A., Han, Z., & Wang, Z. (2022). Comparison of postharvest physiology and storage tolerance of four characteristic small apples. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 38(12), 308–316. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.12.035>
 14. Jurić, S., Bureš, M. S., Vlahoviček-Kahlina, K., Stracenski, K. S., Fruk, G., Jalšenjak, N., & Bandić, L. M. (2023). Chitosan-based layer-by-layer edible coatings application for the preservation of mandarin fruit bioactive compounds and organic acids. *Food Chemistry: X*, 17, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100575>
 15. Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Milović, M., Kovač, R., Milić, B., Magazin, N., Plavšić, D., & Kalajdžić, J. (2022). Effects of ripening stage and postharvest treatment on apricot (*Prunus armeniaca* L.) cv. NS4 delivered to the consumers. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16399>
 16. Nxumalo, K. A., & Fawole, O. A. (2022). Effects of chitosan coatings fused with medicinal plant extracts on postharvest quality and storage stability of purple passion fruit (*Passiflora edulis* var. Ester). *Food Quality and Safety*, 6. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac016>
 17. Plasquy, E., Florido, M. C., Sola-Guirado, R. R., García Martos, J. M., & García Martín, J. F. (2021). Effect of temperature and time on oxygen consumption by olive fruit: Empirical study and simulation in a non-ventilated container. *Fermentation*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/fermentation7040200>
 18. Ruiz, V. E., Reutemann, A. G., Derita, M. G., Ferrero, L., Martínez, G. A., & Bouzo, C. A. (2023). Radiation and temperature conditions during crop determine tomato fruit susceptibility to postharvest chilling injury. *Horticultura Brasileira*, 41. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-2023-e2434>
 19. Schenck, S., Barrios, S., & Lema, P. (2024). Preserving freshness and nutrients: the impact of passive and active modified atmosphere packaging on ready-to-eat orange (var. Navel) segments. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 9(2), 146–166. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2024.138700>
 20. Wang, R., Wang, J., Yan, Y., Zhu, G., & Ye, H. (2024). Design and experiment of pneumatic non-destructive picking mechanism for coated kiwi fruit | 包覆式猕猴桃气动无损采摘机构设计与试验. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 45(6). <https://doi.org/10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.06.005>
 21. Yadav, V. S., Singh, A. R., Gunasekaran, A., Raut, R. D., & Narkhede, B. E. (2022). A systematic literature review of the agro-food supply chain: Challenges, network design, and performance measurement perspectives. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 29, pp. 685–704). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.019>

DESARROLLO DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE PLÁTANO PARA LA EXPORTACIÓN DE FRUTAS A LA UNIÓN EUROPEA

DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE PACKAGING FROM BANANA CROP WASTE FOR THE EXPORT OF FRUIT TO THE EUROPEAN UNION

Angie Natalee Naveros Celis (1 Miguel Ángel Quintero; Flor Alba Sánchez; John Kennedy Díaz

1. Magister en Ciencia y Tecnología Agroindustrial, Sena Regional Tolima, Tecnoparque Nodo Tolima. Experta de la línea de Biotecnología y Nanotecnología. SENAGROTIC, Espinal, Colombia. annaverosce@gmail.com

RESUMEN

Este estudio aborda el desarrollo de envases biodegradables a partir de residuos de pseudotallos de musáceas, específicamente de "*Musa acuminata Cavendish*" y "*Dominico-Hartón*". Se formuló y validó un prototipo de lámina biodegradable, evaluando propiedades fisicoquímicas, mecánicas y de absorción de humedad. Las láminas de "*Dominico-Hartón*" demostraron mayor rendimiento (7.60%) frente a las de "*Cavendish*" (4.66%) y presentaron menor contenido de cenizas (5.20% comparado con 18.50%), lo que garantiza mejor durabilidad y calidad estructural. Las pruebas de resistencia a la tracción y compresión destacaron la capacidad de estas láminas para soportar fuerzas significativas, validando su viabilidad en la industria de envases biodegradables. Esta investigación se alinea con la Directiva Europea 2019/904, respondiendo a la demanda de soluciones sostenibles para la exportación de frutas, ofreciendo alternativas viables al uso de plásticos convencionales.

Palabras Claves:

Calidad Estructural, Directiva Ambiental, Fibras Naturales, Residuos Agrícolas, Sostenibilidad.

ABSTRACT

This study addresses the development of biodegradable packaging from pseudostem residues of Musaceae, specifically "*Musa acuminata Cavendish*" and "*Dominico-Hartón*." A prototype of a biodegradable sheet was formulated and validated, evaluating its physicochemical, mechanical, and moisture absorption properties. The "*Dominico-Hartón*" sheets showed higher yield (7.60%) compared to "*Cavendish*" (4.66%) and lower ash content (5.20% vs. 18.50%), ensuring better durability and structural quality. The tensile and compression strength tests highlighted these sheets' ability to withstand significant forces, validating their viability in the biodegradable packaging industry. This research aligns with the European Directive 2019/904, addressing the demand for sustainable solutions for fruit exports, offering viable alternatives to conventional plastics.

Keywords:

Sustainability, Agricultural Waste, Structural Quality, Natural Fibers, Environmental Directive.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la creciente preocupación por el impacto ambiental de los plásticos ha generado una búsqueda de alternativas sostenibles en la industria de envases. Los plásticos de un solo uso, ampliamente utilizados en sectores como el de alimentos, son responsables de una parte significativa de los desechos sólidos que contaminan los océanos y los ecosistemas terrestres. En respuesta a esta problemática, han surgido iniciativas tanto en el ámbito regulatorio como en el industrial para reducir el uso de plásticos convencionales y promover el desarrollo de materiales biodegradables. En este contexto, el aprovechamiento de residuos agrícolas como fuente de materia prima ha ganado atención como una solución prometedora (Blasi et al., 2023).

Uno de estos residuos con mayor potencial para esta transformación es el pseudotallo del plátano. El plátano es un cultivo de gran importancia en muchas regiones tropicales y subtropicales, como América Latina, donde grandes volúmenes de desechos son generados anualmente por la cosecha de la fruta. Estos residuos, que incluyen pseudotallos, hojas y cáscaras, tienen un alto contenido de fibra y otros componentes que los hacen aptos para el desarrollo de materiales alternativos. En particular, el pseudotallo ha demostrado tener propiedades mecánicas y estructurales adecuadas para la creación de láminas biodegradables, las cuales pueden utilizarse en aplicaciones como envases para productos alimenticios (Cipriani Schirmacher, 2021).

Este estudio se enfoca en el desarrollo de envases biodegradables a partir de los pseudotallos evaluando dos variedades de musácea: "Musa acuminata Cavendish" y "Dominico-Hartón" (Musa AAB Simmonds). Estas dos variedades fueron seleccionadas no solo por su alta disponibilidad en regiones productoras, sino también por las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de sus pseudotallos. Mientras que la variedad "Cavendish" es una de las más cultivadas a nivel mundial, el "Dominico-Hartón" es una variedad tradicional de América Latina, con características estructurales que se espera aporten ventajas significativas en la producción de envases biodegradables (Merais et al., 2022).

El desarrollo de este prototipo tiene importantes implicaciones ambientales y económicas. Por un lado, contribuye a la reducción de residuos agrícolas y la disminución del uso de plásticos convencionales, que tardan siglos en degradarse. Por otro lado, ofrece una nueva fuente de ingresos para los productores, quienes pueden valorizar subproductos de su actividad agrícola. Además, los envases biodegradables son una alternativa alineada con las normativas internacionales, como la Directiva Europea 2019/904, que busca prohibir el uso de ciertos productos plásticos de un solo uso en la Unión Europea y promover soluciones más sostenibles (European Commission, 2019).

En este sentido, la investigación aborda no sólo la formulación y fabricación de láminas biodegradables, sino también su caracterización a través de pruebas fisicoquímicas y mecánicas que permitan evaluar su viabilidad industrial. Las pruebas incluyen mediciones de resistencia a la tracción, compresión y absorción de humedad, factores clave para garantizar la funcionalidad de los envases en aplicaciones comerciales. Los resultados preliminares muestran que las láminas obtenidas a partir de pseudotallos de "Dominico-Hartón" presentan una mayor resistencia a la tracción en comparación con las de "Cavendish", lo que sugiere que esta variedad podría ofrecer ventajas competitivas en la fabricación de envases para la exportación de productos agrícolas, como frutas frescas.

La implementación de estos envases en la industria de exportación de alimentos, especialmente en mercados como la Unión Europea, representa una oportunidad significativa para cumplir con las crecientes exigencias regulatorias y de sostenibilidad. La Directiva Europea sobre plásticos de un solo uso y la Estrategia de Plásticos del Pacto Verde Europeo están impulsando la transición hacia una economía circular, donde los residuos agrícolas pueden ser una fuente clave de materias primas sostenibles (Plastics Europe, 2024). Esto no solo permite a las empresas cumplir con las regulaciones, sino también mejorar su competitividad en un mercado donde los consumidores valoran cada vez más las soluciones ecológicas.

ESTADO DEL ARTE

En las últimas décadas, el desarrollo de materiales biodegradables a partir de fuentes renovables ha experimentado un crecimiento significativo. Diversas investigaciones han explorado el uso de residuos agrícolas como alternativa para la producción de envases sostenibles, siendo uno de los enfoques más recientes y prometedores el aprovechamiento de pseudotallos de musáceas y otros subproductos agrícolas.

Un estudio de Siracusa et al., (2008) describen las propiedades mecánicas y de barrera de biopolímeros derivados de almidones vegetales, destacando su potencial como envases alimentarios. Además, Shah et al., (2008) exploraron la biodegradabilidad y compatibilidad de bioplásticos, estableciendo parámetros clave para mejorar su desempeño en condiciones reales.

Por otro lado, Sin et al., (2012) definen que el ácido poliláctico (PLA) es un termoplástico que se obtiene de materias primas vegetales, y puede ser procesado con tecnologías convencionales. Es el polímero biodegradable más producido a nivel industrial, utilizado en aplicaciones biomédicas, envases compostables y botellas, y se investiga para la ingeniería de tejidos. Su producción en masa ha reducido los costos, haciéndolo una opción económica para contenedores y bolsas de plástico. Según Bezirhan & Bilgen, (2015) ante el aumento de preocupaciones ambientales y la presión legislativa sobre los desechos plásticos, ha crecido el interés por los bioplásticos como materiales "ecoamigables". Este artículo evalúa su sostenibilidad, ventajas y desventajas, y el crecimiento del mercado global, que se estima entre un 20% y un 25% anual. Si bien ofrecen beneficios como una menor huella de carbono, también enfrentan desafíos, como altos costos y problemas de reciclaje. Es esencial desarrollar tecnologías de producción y estándares internacionales para su gestión.

Scarfato et al., (2015) realizaron un análisis integral de los avances en la mejora de la barrera de difusión y la interacción entre alimentos y envases en polímeros biológicos y biodegradables, centrándose en PLA, almidón y PHA. Se exploran formulaciones con micro y nano-rellenos para mejorar procesabilidad y rendimiento. Aunque estas mezclas mejoran propiedades como la barrera contra agua y oxígeno, muchos estudios se limitan a simulantes, sin

evaluar adecuadamente la migración en alimentos reales. Se requiere más investigación sobre la seguridad de estos materiales en contacto con alimentos y la migración de sustancias nocivas para cumplir con normativas legales. Niaounakis, (2015) en su revisión sobre polímeros biodegradables, subraya la creciente importancia del uso de biopolímeros en la industria del embalaje, destacando el papel de residuos agrícolas en la transición hacia envases más sostenibles.

Más recientemente, Temitayo Oyewo et al., (2023) estudiaron la viabilidad de utilizar pseudotallos de plátano para la producción de biopolímeros, mostrando resultados prometedores en términos de resistencia a la tracción y biodegradabilidad en condiciones compostables. Yilmaz, (2014) analizaron las propiedades mecánicas de envases biodegradables fabricados a partir de celulosa de residuos agrícolas, destacando su potencial para aplicaciones en la industria alimentaria.

En el campo normativo, Hopewell et al., (2009) realizaron una revisión sobre el impacto de las regulaciones ambientales en la adopción de envases biodegradables. Finalmente, Song et al., (2009) estudian el impacto ambiental de la transición a bioplásticos en la industria de embalaje, concluyendo que los polímeros biodegradables desempeñarán un papel creciente en el embalaje, siendo inapropiados para vertederos por su potencial de liberar metano. Además, son mejores para compostaje, por lo que deben separarse en los hogares. Sin embargo, se necesita certificación clara y etiquetado para asegurar su biodegradación en sistemas industriales y domésticos. Concluyen que la conciencia pública y una infraestructura adecuada son esenciales para maximizar sus beneficios.

METODOLOGÍA

El desarrollo de láminas biodegradables a partir del vástago de plátano se llevó a cabo en varias etapas, que incluyeron la recolección, procesamiento, caracterización y validación de las láminas obtenidas. Se trabajó con dos variedades: *Musa acuminata Cavendish* y *Dominico-Hartón*, seleccionadas por su disponibilidad y propiedades estructurales. La metodología se divide en las siguientes fases:

Recolección y Preparación de Materia Prima

Los pseudotallos fueron recolectados de cultivos locales, asegurando que estuvieran frescos y libres de contaminantes. Una vez recolectados, se cortaron en secciones de aproximadamente 30 cm y se transportaron a las instalaciones del laboratorio de Biotecnología y Nanotecnología del Tecnoparque Nodo Tolima.

Posteriormente, los pseudotallos fueron sometidos a un proceso de limpieza con agua corriente para eliminar residuos de tierra y partículas. Luego se dejaron secar al aire durante 24 horas.

Secado y Tratamiento Químico

Los pseudotallos limpios se secaron en un horno de convección forzada a 105°C durante 2 a 4 horas, dependiendo del tamaño y grosor de los cortes. Este proceso fue esencial para reducir el contenido de humedad de la materia prima.

Una vez secos, los pseudotallos se sometieron a un tratamiento químico con una solución de NaOH al 1.2% para facilitar la separación de las fibras. Posteriormente, se realizó un blanqueo con NaClO al 50-60%, que permitió mejorar las propiedades estéticas y de biodegradabilidad de las fibras obtenidas.

Formación de Láminas Biodegradables

Las fibras extraídas de los pseudotallos se sometieron a un proceso de molienda y tamizado, seguido por la adición de carbonato de calcio (CaCO_3) en una proporción del 6%. Esta mezcla se moldeó y prensó en moldes a una presión y temperatura controladas para obtener las láminas biodegradables.

Las láminas obtenidas se dejaron secar a temperatura ambiente controlada y en condiciones de baja humedad para asegurar su estabilidad estructural.

Caracterización Fisicoquímica

Las láminas resultantes fueron sometidas a pruebas fisicoquímicas para evaluar sus propiedades. Se midió el pH, contenido de humedad y color. La pureza de las láminas se determinó a través de la prueba de cenizas, la cual cuantificó el material inorgánico presente en cada muestra.

Pruebas de Higroscopicidad y Mecánicas

La higroscopicidad, es decir, la capacidad de absorción de humedad de las láminas, fue evaluada en un ambiente controlado con una humedad relativa del 95% y una temperatura de 10°C. Se realizó un recubrimiento de las láminas haciendo uso de almidón de yuca, cera de abejas, parafina y una muestra control (Figura 1). Los cambios en el peso de las muestras fueron registrados durante un período de tiempo.

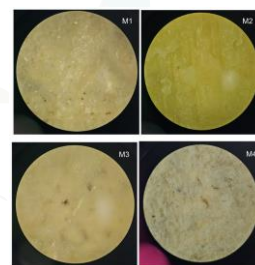


Figura 1. Prueba de Absorción de Humedad. Muestra con almidón de yuca (M1), muestra con cera de abejas (M2), muestra con parafina (M3) y muestra control (M4).

Las pruebas mecánicas incluyeron la medición del grosor de las láminas utilizando el método ISO 534 y pruebas de resistencia a la tracción según la norma ISO 1924-2. Esto permitió evaluar la capacidad de las láminas para soportar tensiones y cargas mecánicas sin romperse.

a) Medición del Grosor

El grosor de las láminas se midió según la norma ISO 534, utilizando un micrómetro digital con precisión de 0.01 mm (Figura 2). Esta medición se realizó en varios puntos de cada muestra para obtener un valor promedio.



Figura 2. Prueba de Resistencia a la Compresión, método del anillo.

b) Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión se evaluó siguiendo la norma ISO 9895, aplicando una carga constante sobre las láminas hasta que se produjera una deformación significativa o la fractura de la muestra. El valor de resistencia se calculó dividiendo la fuerza aplicada por el área de la sección transversal.

c) Resistencia a la Tracción

Para la resistencia a la tracción RT , se utilizó la norma ISO 1924-2. La resistencia se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$1) \quad RT = \frac{F}{A}$$

Donde:

- F es la fuerza aplicada en Newtons (N),
- A es el área de la sección transversal de la probeta en mm^2

d) Elongación Total (ε)

La elongación total se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$2) \quad \varepsilon = \frac{(L_f - L_0)}{L_0} * 100$$

Donde:

- L_f es la longitud final de la probeta después del ensayo de tracción (mm),
- L_0 es la longitud inicial de la probeta (mm).

e) Cálculo de la Energía de Absorción de Tracción (EAT)

La energía absorbida por la probeta hasta su fractura se calculó integrando la curva de tensión-deformación. La ecuación utilizada fue:

$$3) \quad EAT = \int (F * \Delta L)$$

Donde:

- F es la fuerza aplicada en cada punto de la curva de tensión-deformación,
- ΔL es el cambio de longitud de la probeta a lo largo del ensayo.

Las láminas fueron preparadas en probetas siguiendo las dimensiones estándar, y sometidas a las pruebas descritas utilizando una máquina de tracción universal equipada con celdas de carga para registrar la fuerza aplicada. Las pruebas de tracción se realizaron a una velocidad constante de deformación, registrando los datos de fuerza y elongación para calcular las propiedades mecánicas mencionadas.

RESULTADOS

• Caracterización de la Materia Prima

Se analizaron dos muestras: pseudotallos de banano (*Musa acuminata Cavendish*) y pseudotallos de plátano (*Dominico-Hartón*). Las muestras mostraron diferencias significativas en términos de peso, humedad y pH. El plátano presentó mayor peso (24,000 g) y menor contenido de humedad (91.399%) en comparación con el banano (12,010 g, 95.470%). El pH fue más elevado en el pseudotallo de plátano (5.37 frente a 4.92 en el banano), lo que sugiere diferencias en la estabilidad química que pueden influir en el tratamiento posterior.

• Caracterización de las Láminas Resultantes

Las láminas de plátano *Dominico-Hartón* mostraron un rendimiento superior (7.60%) en comparación con las láminas de banano (4.66%), lo que indica mayor eficiencia en el proceso de conversión de material en láminas. Sin embargo, las láminas de plátano podrían requerir ajustes para garantizar su estabilidad en condiciones de alta humedad, ya que presentan una mayor susceptibilidad a la absorción de agua (6.60% de humedad).

• Prueba de Cenizas

El contenido de cenizas es un indicador de la pureza del material. Las láminas de banano presentaron un contenido de cenizas del 18.50%, significativamente más alto que las láminas de plátano, que alcanzaron un 5.20%. Un menor contenido de cenizas en las láminas de plátano sugiere una mayor integridad estructural, lo cual es deseable para aplicaciones donde se requiere resistencia mecánica.

• Prueba de Higroscopicidad

Una de las conclusiones más destacadas de este estudio es que las láminas de plátano *Dominico-Hartón* no requieren ningún tratamiento previo para

mantener una excelente resistencia frente a la absorción de humedad. A pesar de haberse evaluado varios tratamientos superficiales, como cera de abejas, parafina y almidón, las láminas sin tratamiento demostraron un comportamiento higroscópico adecuado. Las muestras sin tratamiento presentaron un aumento de peso mínimo del 1.53%, comparado con el 3.52% de las láminas tratadas con parafina. Este resultado sugiere que las láminas de *Dominico-Hartón* pueden ser utilizadas directamente, sin necesidad de aplicar recubrimientos adicionales, lo que simplifica significativamente el proceso de producción. Al eliminar estos tratamientos, se logra una reducción de costos y tiempos de fabricación, mejorando la eficiencia del proceso sin comprometer la calidad del producto final, especialmente en aplicaciones donde la exposición a la humedad es limitada.

• Pruebas Mecánicas

Las pruebas de resistencia a la tracción, según la norma ISO 1924-2, demostraron que las láminas de plátano *Dominico-Hartón* superaron significativamente a las de banano en términos de resistencia (5.176 N/mm² frente a 1.943 N/mm²). Además, el plátano presentó un mejor comportamiento en resistencia a la compresión (ISO 9895), con un valor de 200 N/mm², lo que indica que este material podría ser más adecuado para aplicaciones donde se requiere soportar cargas pesadas sin deformarse (Figura 3).

CONCLUSIONES

Las láminas biodegradables desarrolladas a partir de pseudotallos de plátano *Dominico-Hartón* demostraron un rendimiento superior en términos de resistencia mecánica y eficiencia de producción. Con un 7.60% de rendimiento frente al 4.66% de las láminas de banano *Musa acuminata Cavendish*, las láminas de plátano también mostraron una mayor resistencia a la tracción, alcanzando 5.176 N/mm² en comparación con 1.943 N/mm² para las láminas de banano. Además, el contenido de cenizas fue significativamente menor en las láminas de plátano (5.20% frente a 18.50%), lo que indica una mayor pureza del material y, por ende, una mejor durabilidad estructural. Las pruebas de higroscopicidad evidenciaron que las láminas de plátano no requieren tratamientos adicionales, como cera o parafina, para mantener una absorción de humedad aceptable. Estos resultados, junto con su destacada resistencia a la compresión (200 N/mm²), confirman que las láminas de plátano son una alternativa eficiente y sostenible para envases biodegradables, simplificando el proceso de producción y reduciendo costos, todo mientras se cumplen las normativas internacionales de sostenibilidad.

REFERENCIAS

1. Bezirhan, E., & Bilgen, H. D. (2015). A Review: Investigation of Bioplastics. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9, 188-192. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2015.02.007>
2. Blasi, A., Verardi, A., Lopresto, C. G., Siciliano, S., & Sangiorgio, P. (2023). Lignocellulosic Agricultural Waste Valorization to Obtain Valuable Products: An Overview. *Recycling*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/recycling804006>
3. Cipriani Schirmacher, I. (2021). *Assessment of different EU policies to reduce the environmental impact of single-use plastics: A German perspective* [Thesis, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg]. <https://reposit.haw-hamburg.de/handle/20.500.12738/11105>
4. European Commission. (2019). *Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment*. | FAOLEX. <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/L-EX-FAOC187670/>



Figura 3. Prototipo desarrollado en el laboratorio de Biotecnología y Nanotecnología del Tecnoparque Nodo Tolima, para la exportación de frutas a la Unión Europea.

5. Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
6. Merai, M. S., Khairuddin, N., Salehudin, M. H., Mobin Siddique, M. B., Lepun, P., & Chuong, W. S. (2022). Preparation and Characterization of Cellulose Nanofibers from Banana Pseudostem by Acid Hydrolysis: Physico-Chemical and Thermal Properties. *Membranes*, 12(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/membranes12050451>
7. Niaounakis, M. (2015). *Biopolymers: Applications and Trends*.
8. Plastics Europe. (2024, septiembre 4). *Plastics Europe • Enabling a sustainable future*. Plastics Europe. <https://plasticseurope.org/>
9. Scarfato, P., Di Maio, L., & Incarnato, L. (2015). Recent advances and migration issues in biodegradable polymers from renewable sources for food packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(48). <https://doi.org/10.1002/app.42597>
10. Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246-265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
11. Sin, L. T., Rahmat, A., & Rahman, W. (2012). *Polylactic Acid: PLA Biopolymer Technology and Applications*.
12. Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Rosa, M. D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 634-643. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003>
13. Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R., & Davies, G. B. H. (2009). Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2127-2139. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0289>
14. Temitayo Oyewo, A., Olugbemiga Oluwole, O., Olufemi Ajide, O., Emmanuel Omoniyi, T., & Hussain, M. (2023). Banana pseudo stem fiber, hybrid composites and applications: A review. *Hybrid Advances*, 4, 100101. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100101>
15. Yilmaz, N. D. (2014). Agro-Residual Fibers as Potential Reinforcement Elements for Biocomposites. En *Lignocellulosic Polymer Composites* (pp. 231-270). John Wiley & Sons,

Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9781118773949.ch11>

SEMBRANDO MARCAS: DESING THINKING PARA LA CO-CREACIÓN DE VALOR EN ECONOMÍAS POPULARES Y CAMPESINAS

Julio Cesar Morales Pardo ¹, Kelly Yuliana Villanueva Andrade ², Rafael Augusto Bermudez Rozo ³

1. Profesional en Diseño Gráfico, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de Comercio y Servicios – Regional Tolima. Grupo de Investigación GESICOM (Gestión Empresarial, Servicios e Innovación Comercial, Investigador Experto, Ibagué, Colombia.
2. Profesional en Comercio Internacional, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de Comercio y Servicios – Regional Tolima. Grupo de Investigación GESICOM (Gestión Empresarial, Servicios e Innovación Comercial, Investigadora Experta, Ibagué, Colombia.
3. Profesional en Mercadeo, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de Comercio y Servicios – Regional Tolima. Grupo de Investigación GESICOM (Gestión Empresarial, Servicios e Innovación Comercial, Instructor Investigador, Ibagué, Colombia.

RESUMEN

El artículo "Sembrando Marcas: Design Thinking para la Co-creación de Valor en Economías Populares y Campesinas" examina la problemática de la baja generación de valor agregado en la comercialización de productos campesinos, lo cual afecta la economía local y la contribución al PIB regional. Se utiliza la metodología Design Thinking como un enfoque colaborativo para abordar esta situación, integrando las necesidades de los actores involucrados. Entre las principales acciones planteadas destacan el diagnóstico de oportunidades de innovación y el diseño participativo de estrategias de marca para mejorar la competitividad de los productos campesinos. Este enfoque se basa en la co-creación, donde las comunidades campesinas desempeñan un rol activo en la formulación de soluciones. El artículo propone un modelo que busca impulsar el desarrollo sostenible y el empoderamiento de las comunidades rurales mediante la implementación de estrategias innovadoras de marca.

Palabras Claves:

Design Thinking, co-creación, valor agregado, economías campesinas, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

The article "Sowing Brands: Design Thinking for the Co-creation of Value in Popular and Peasant Economies" examines the problem of low added value generation in the marketing of peasant products, which affects the local economy and the contribution to the regional GDP. The Design Thinking methodology is used as a collaborative approach to address this situation, integrating the needs of the actors involved. Among the main actions proposed are the diagnosis of innovation opportunities and the participatory design of brand strategies to improve the competitiveness of peasant products. This approach is based on co-creation, where peasant communities play an active role in the formulation of solutions. The article proposes a model that seeks to promote sustainable development and the empowerment of rural communities through the implementation of innovative brand strategies.

Keywords:

Design Thinking, co-creation, added value, peasant economies, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

En el Departamento del Tolima, se afronta un desafío crítico relacionado con la generación de valor agregado, que ha experimentado una disminución en los últimos años. Esta situación tiene repercusiones directas en la contribución del departamento al Producto Interno Bruto, con una proyección futura alrededor del -1 o -2 % (PIDARET, 2020).

La generación de valor agregado se presenta como un factor fundamental (CRAWFORD, 1997), ya que ejerce una influencia significativa en el desarrollo del sector agroindustrial. Abordar este problema requiere el fortalecimiento de los procesos de transformación de productos agropecuarios, la mejora de la productividad y la logística de comercialización eficiente. Estos elementos son vitales para impulsar la competitividad y se alcanzarán a través de la creación de productos innovadores y diferenciados de alta calidad, capaces de comunicar de manera efectiva y única su propuesta de valor en los mercados (PIDARET, 2020).

Para crear productos innovadores debemos remitirnos al concepto propuesto. La innovación (Minciencias, 2020) se refiere a la incorporación en el uso de un producto (bien o servicio), un proceso nuevo o significativamente mejorado, o la implementación de un método de comercialización u organización novedoso en las prácticas empresariales, la organización del trabajo o las relaciones externas. La innovación requiere, como requisito mínimo, que el producto (bien o servicio), el proceso, el método de comercialización o el método de organización sean nuevos o muestran mejoras significativas para la empresa. En el contexto de las actividades innovadoras, la creación de la identidad de marca se reconoce como una actividad generadora de valor.

En cuanto a una rúbrica medible, podemos hacer referencia al índice departamental de innovación para Colombia (2021), que destaca la posición del departamento del Tolima en cuanto a la Sofisticación de Negocios, valor que mide la disposición de las empresas a emprender actividades innovadoras. Aquí el departamento se encuentra en un rango medio bajo a nivel nacional, con un puntaje promedio de 21.25. Situación que hace eco con los adelantos en materia de innovación en los que aún se deben trabajar dentro de la región.

En el departamento del Tolima en Colombia, históricamente ha habido una falta de innovación en la transformación de productos y la incorporación de valor agregado en su oferta económica. Esta carencia ha tenido un impacto significativo en las economías campesinas de la región, que enfrentan dificultades para promocionar y valorizar sus productos y servicios. Estas comunidades rurales se enfrentan a desafíos considerables, ya que carecen de una estrategia de marca sólida y tienen una limitada innovación en la comunicación de sus ofertas. Esto dificulta su crecimiento económico y su participación en el mercado. Por consiguiente, el valor agregado, determinado por el valor de marca, se convierte en una variable estratégica crítica para las comunidades campesinas en el departamento del Tolima.

ESTADO DEL ARTE

El Design Thinking, según Serrano y Blanquez (2016) se ha convertido en una herramienta esencial para promover el trabajo colaborativo. Este puede contribuir a crear valor en el desarrollo social y económico ya que se destaca como una forma efectiva para la resolución de problemas, reduciendo riesgos y aumentando las posibilidades de éxito. Su enfoque inicial se centra en comprender las necesidades humanas como punto de partida pues es un proceso que involucra la observación, la creación de prototipos rápidos y su prueba. Además, busca conectar conocimientos provenientes de diversas disciplinas e involucrados dentro del proceso, con el fin de llegar a una solución que sea deseable desde una perspectiva humana, técnicamente viable y económicamente rentable.

Cabe destacar que el Design Thinking es inherentemente participativo, lo que significa que fomenta la colaboración y la toma de decisiones conjuntas. La base de esta metodología reside en la premisa de que las buenas ideas emergen de un proceso creativo en conjunto, en el que contribuyen los diversos actores dentro de un proceso (Keller, 1993). Este enfoque no solo fortalece la creatividad para crear soluciones a problemas reales, sino que también garantiza que las soluciones sean coherentes con las necesidades y perspectivas diversas de los involucrados en la búsqueda de soluciones (Ansell & Torfing, 2014).

Así mismo Jamienson et al. (2022, Design Thinking to Integrate Community Development and Product Innovation) en un proceso que se llevó a cabo en Pathum Thani, provincia de Tailandia, menciona que el desarrollo de talleres comunitarios a partir de la metodología desempeñó un papel fundamental en el proceso de ayudar a comprender con mejor amplitud las necesidades de la comunidad al establecer conexiones significativas entre las diferentes comunidades agrícolas. Esto fue especialmente relevante en el contexto de la generación de ideas para productos innovadores, donde la participación de la comunidad se consideró esencial en el proceso.

Los investigadores Yi, Y., Irvine, K., Jamieson, I., & Ratchadawan, Ngoen-Klan. (2022), cuentan con una tipología usada dentro de la metodología corresponde a “Double Diamond”, herramienta esencial para vincular el desarrollo de la comunidad y la innovación de productos en el proyecto. El marco de desarrollo comunitario basado en activos se fundamenta en los recursos disponibles en la comunidad y establece conexiones para movilizar tanto los activos individuales como las asociaciones e instituciones existentes.

A nivel local estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana desarrollaron un proceso que se enfocó en la creación de identidades gráficas de marca que buscaban conectar el diseño con la realidad, (López et al., 2022). Su desafío fue trabajar con comunidades campesinas que se han enfrentado a la realidad del conflicto en el campo colombiano. El reto principal radicaba en crear marcas que identificaran los productos y servicios que desarrollaban desde sus territorios. Las marcas debían contemplar principios de percepción para brindar valor a los productos y así mismo oportunidades de un futuro más prometedor mediante el lanzamiento de estos.

Otro proceso llevado a cabo en el país sucedió en la población rural del bajo Sumapaz, (LEAL, 2020) allí se realizaron sesiones que brindaron la capacidad de estimular la creatividad para empresas de comunidades que se dedican al cultivo de plantas aromáticas. Como propósito se exploró a partir de la consideración de la variedad de perfiles de consumidores y las tendencias actuales del mercado para el mejoramiento de estrategias de marca que estuvieran más alineadas a los perfiles descubiertos.

Se puede concluir que estas experiencias respaldan la idea de que el Design Thinking puede ser una

metodología poderosa para abordar desafíos complejos, involucrar a diversas partes interesadas y contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades. Su enfoque participativo y su capacidad para conectar conocimientos de diversas disciplinas lo convierten en una herramienta valiosa en la resolución de problemas del mundo real.

RESULTADOS

El proceso de investigación se divide en dos etapas: la etapa preliminar de preparación y formulación de trabajo, y la etapa de desarrollo, que se estructura en cuatro fases, en ambos casos, se co-creará para construir definiciones conjuntas entre la comunidad campesina, instructores e investigadores. Así mismo se irán redefiniendo los retos en la medida que los hallazgos brinde información de valor para crear una ruta de trabajo.

En primer lugar, se indicarán los retos específicos que enfrentan estas comunidades y se recopilarán datos y referentes teóricos relacionados, esta se llevará a cabo a de la literatura acabo a partir de literatura académica y los enfoques teóricos relevantes para fundamentar el proyecto. Esto incluirá la revisión de conceptos relacionados con el Design Thinking, la co-creación de valor de marca y las economías campesinas.

Por otro lado, se definirá y documentará la metodología de desarrollo a seguir en el proyecto, basada en los principios del Design Thinking. Esto incluirá la identificación de las etapas clave del proceso, los métodos de investigación que se utilizarán y las herramientas específicas para la construcción de las condiciones necesarias en los talleres participativos.

Finalmente, un análisis de mercados potenciales ayudará a identificar oportunidades de innovación y comunicación que en las sesiones permitirán guiar una ruta de trabajo de definición para la construcción de valor de marca con los actores interesados.

En cuanto a la etapa de desarrollo se realizará un diagnóstico se aplicarán los instrumentos en cada una de las etapas del proceso de design thinking. Previo a esto se realizarán análisis bibliométricos y una caracterización detallada de las comunidades a seleccionar. Se buscará comprender su funcionamiento y necesidades. A partir de las sesiones colaborativas se empatizará, definirá,

prototipará las soluciones innovadoras para la creación de valor de marca.

CONCLUSIONES

El proyecto puede beneficiar a las comunidades campesinas a través de una serie de acciones detalladas y puntuales que aborden directamente sus necesidades y desafíos. Cabe destacar que sólo mediante la aplicación de la metodología podremos conocer con certeza las necesidades reales que promuevan mediante la participación acciones cercanas a las problemáticas que se descubran en las sesiones para empatizar con las mismas. A continuación, se presentan algunas de estas posibles acciones que pueden beneficiar a las comunidades:

- Capacitación en Comunicación y Estrategias de Marca, que proporcionar herramientas sobre cómo mejorar sus habilidades de comunicación y crear estrategias de marca efectivas para sus productos agrícolas. Esto les permitirá destacarse en el mercado y comunicar mejor el valor de sus productos a los consumidores.
- Diseño de Envases y Etiquetado Atractivo, a través de la diferenciación a partir de marcas y empaques distintivos. Esto ayudará a las comunidades a reconocer en el diseño de envases y etiquetas atractivas el aumento en la atracción de los productos en el mercado y transmitir confianza en la calidad.
- Acceso a plataformas de comercialización en línea que facilitan el acceso de las comunidades campesinas a plataformas de comercio electrónico o aplicaciones móviles que les permitan vender sus productos en línea. Esto amplía su alcance y les da la oportunidad de llegar a nuevos mercados, incluso fuera de su región.

REFERENCIAS

1. Ansell, C., & Torfing, J. (Eds.). (2014). Public Innovation through Collaboration and Design. Nueva York: Routledge.
2. Crawford, I. M. (1997). Agricultural and Food Marketing Management. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
3. Departamento Nacional de Planeación (2021) IDIC 2021 Índice Departamental de Innovación para Colombia.
4. Keller, K. L. (1993). Conceptualizing, measuring, and managing customer-based brand equity. *Journal of Marketing*, 57, 1-22.
5. Leal Guerrero, M. P. (2020). Modelo Design Thinking dirigido a la población campesina colombiana. Cadenas productivas agro sostenibles. *Revista Estrategia Organizacional*, 9(2). doi: <https://doi.org/10.22490/25392786.4046>
6. López, B. E., et al. (2022). Experiencias de evaluación de los aprendizajes en la Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/10479>
7. MinCiencias (2020) ANEXO 3 La Investigación + Creación: Definiciones y Reflexiones. OECD. Recommendation of the Council on Open Government, OECD/LEGAL/0438.
8. Ortega, S. M., et al. (2016). Design thinking: Lidera El Presente, Crea El Futuro. México, D.F.: Alfaomega.
9. Yi, Y., Irvine, K., Jamieson, I., & Ratchadawan, Ngoen-Klan. (2022). Design Thinking to Integrate Community Development and Product Innovation: Case Study of a Pandan Farming Collective, Pathum Thani.
10. Zurbriggen, C., & González Lago, M. (2020). INNOVACIÓN Y CO-CREACIÓN: NUEVOS DESAFÍOS PARA LAS POLÍTICAS PÚBLICAS. *Revista De Gestión Pública*, 3(2), 329–361. <https://doi.org/10.22370/rgp.2014.3.2.2245>.

EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EN LA COSECHA SOBRE LAS PROPIEDADES SENSORIALES DEL AGUACATE cv.HASS DE EXPORTACIÓN

EFFECT OF PRECIPITATION DURING HARVEST ON THE SENSORY PROPERTIES OF EXPORT AVOCADO cv. HASS

Andrea Del Pilar Sánchez ¹

1. Ingeniera Agroindustrial con Doctorado en Ingeniería, SENA. Dinamizadora de oferta rural. Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura Tropical, Ibagué, Colombia
andreadpsanchez@gmail.com

RESUMEN

El aguacate cv. Hass (*Persea americana* Mill) se ha consolidado como una fruta tropical de gran valor en el mercado global, especialmente en Colombia, donde se cultiva extensamente. Este estudio muestra que las precipitaciones influyen significativamente en sus características sensoriales: los aguacates cosechados en épocas de alta lluvia presentan mayor cremosidad y menor amargor, atribuible al aumento del ácido oleico y cambios en la composición química. La investigación destaca la necesidad de gestionar adecuadamente las condiciones de cultivo, especialmente la precipitación, para asegurar la calidad del aguacate en el mercado internacional. Comprender la relación entre clima y propiedades organolépticas es esencial para mejorar la producción y mantener la competitividad de Colombia en el sector agroexportador.

Palabras Claves:

Aguacate, amargor, calidad sensorial, cremosidad, cv. Hass, precipitación.

ABSTRACT

The Hass avocado (*Persea americana* Mill) has established itself as a highly valued tropical fruit in the global market, especially in Colombia, where it is extensively cultivated. This study shows that precipitation significantly influences its sensory characteristics: avocados harvested during periods of high rainfall exhibit greater creaminess and lower bitterness, attributed to increased oleic acid and changes in chemical composition. The research highlights the need to properly manage cultivation conditions, particularly precipitation, to ensure the quality of avocados in the international market. Understanding the relationship between climate and organoleptic properties is essential for improving production and maintaining Colombia's competitiveness in the agro-export sector.

Keywords:

Avocado, bitterness, creaminess, cv. Hass, precipitation, sensory quality.

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill) se ha consolidado como una de las frutas tropicales más valoradas en el ámbito mundial, no solo por su destacada calidad organoléptica y su riqueza nutricional, sino también por sus múltiples aplicaciones en la industria alimentaria y cosmética. Esta fruta, originaria de las regiones montañosas de México y Guatemala, ha encontrado un terreno fértil en Colombia, donde se cultivan diversas variedades, destacando la cv. Hass, que representa el 50% del área de cultivo nacional, y del cual el 31% está destinado a la exportación (Rincón, 2021).

Desde su primera exportación en 2009, el aguacate cv. Hass ha visto un crecimiento exponencial en su demanda, convirtiéndose en la segunda fruta más exportada del país, después del banano (Torres & Trochez, 2023). En términos de producción, Colombia se posiciona como el segundo mayor productor de aguacate, con una participación del 11.3% a nivel mundial, solo superada por México (FAO, 2023). Este aumento en la producción ha llevado a que, en 2022, el área sembrada alcanzara las 79,832 hectáreas, evidenciando el interés creciente por este cultivo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Sin embargo, factores externos como la precipitación pueden tener un impacto significativo en la cosecha **Tabla 1**. Precipitaciones mensuales en Colombia y, por ende, en las propiedades sensoriales del aguacate. La calidad de la fruta, que incluye atributos como sabor, textura y apariencia, es fundamental para satisfacer las exigencias del mercado internacional. Investigaciones previas han sugerido que la variabilidad en las condiciones climáticas, especialmente en términos de lluvias, puede influir en el desarrollo de estas propiedades (Rincón, 2021).

Por tanto, este estudio se propone analizar el efecto de la precipitación en la cosecha del aguacate cv. Hass, enfocándose en cómo estas variaciones pueden afectar sus características sensoriales. Comprender esta relación es esencial no solo para optimizar la producción y calidad de la fruta, sino también para garantizar la competitividad del aguacate colombiano en el mercado global.

Tabla 1. Precipitaciones mensuales en Colombia

ZONAS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Época	época seca			época lluviosa			época seca			época lluviosa		
Oriente de Antioquia												
Norte del Tolima												
Eje Cafetero												
Suroeste Antioquia												
Meseta Popayán												
Norte del Valle												

Fuente: Fuente: Modificado de Pavas (2015).

ESTADO DEL ARTE

El aguacate cv. Hass, reconocido por su calidad y sabor, sufre transformaciones significativas durante la poscosecha, lo que afecta sus propiedades sensoriales. Este proceso de maduración involucra un aumento en la producción de etileno y la tasa de respiración, así como cambios en la textura y el desarrollo de compuestos de sabor (Esquivel et al., 2022). Durante esta etapa, la fruta experimenta cambios fisiológicos y bioquímicos que son fundamentales para la formación de sus características organolépticas, las cuales son esenciales para la aceptación en el mercado internacional.

El contenido de materia seca se considera un indicador crucial de la madurez del aguacate. Se ha establecido que un contenido óptimo de materia seca para el aguacate cv. Hass es de alrededor del 23% en Colombia (Rodríguez & Henao, 2016). Cosechar los frutos con un contenido inferior puede dar lugar a pulpas con textura acuosa y un sabor deficiente, lo que afecta directamente la calidad del producto en el mercado. Por otro lado, un contenido superior puede resultar en encogimiento y una textura gomosa, lo que también disminuye su atractivo (Kassim, 2013; Zapata et al., 2014). Estos efectos subrayan la importancia de monitorear y controlar el contenido de materia seca durante las distintas etapas de cultivo y cosecha.

A medida que el aguacate madura, también se producen cambios en el color de la cáscara, que pasa de verde a negro. Este fenómeno está relacionado con variaciones en el pH, la degradación de la clorofila y el aumento de antocianinas, compuestos que contribuyen a la coloración final del fruto (Dominguez, 2014). El

color no solo es un indicador visual de madurez, sino que también puede influir en la percepción del sabor por parte del consumidor, siendo un aspecto clave en la comercialización del aguacate.

La firmeza del aguacate es un atributo fundamental que determina su aceptación. Durante la maduración, esta firmeza disminuye debido a la actividad enzimática, principalmente de la pectinmetilesterasa (PME) y la poligalacturonasa, que degradan las paredes celulares y contribuyen al ablandamiento del fruto (Márquez et al., 2014). Un aguacate con una firmeza adecuada es preferido por los consumidores, ya que se asocia con una mejor experiencia sensorial.

La acidez y el contenido de sólidos solubles totales también son esenciales para el perfil sensorial del aguacate. La polifenoloxidasas (PPO) juega un papel crucial en la oxidación de fenoles, lo que puede afectar negativamente tanto el sabor como la apariencia del aguacate (Acosta, 2011). Además, se ha identificado que la D-manoheptulosa, un azúcar presente en el mesocarpio, contribuye a la estabilidad antioxidante del fruto; su disminución podría facilitar el deterioro y la aparición de defectos en la pulpa (Kassim, 2013).

Los daños que pueden ocurrir durante la poscosecha son un desafío significativo para la calidad del aguacate. Lesiones por frío y antracnosis son problemas comunes que impactan tanto la apariencia como el sabor del aguacate (Trinidad et al., 2017). Estas lesiones pueden afectar la capacidad de la fruta para resistir condiciones adversas durante el transporte y almacenamiento. Por lo tanto, una gestión adecuada de las condiciones de almacenamiento, incluyendo temperatura y ventilación, es crucial para mitigar estos daños y mantener la calidad del producto (Zapata et al., 2014).

La precipitación antes de la cosecha influye notablemente en la calidad del aguacate cv. Hass, afectando tanto la acumulación de materia seca como la producción de compuestos sensoriales (Pedreschi et al., 2016). Un aumento en la humedad puede favorecer el desarrollo de enfermedades, como la pudrición de pedúnculo, que comprometen la calidad del fruto y resultan en pérdidas económicas para los productores (Zapata et al., 2014). Las variaciones en las condiciones climáticas, especialmente en términos de lluvias,

han sido asociadas con alteraciones en el desarrollo de las propiedades sensoriales del aguacate (Rincón, 2021).

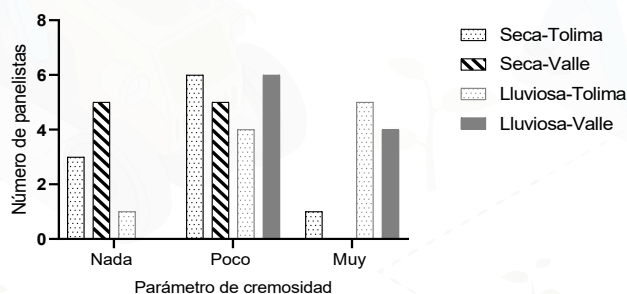
RESULTADOS

Para este trabajo investigativo se emplearon aguacates de la variedad 'cv. Hass' (Persea americana Mill) procedentes de dos regiones productoras de Colombia: Tolima y Valle del Cauca. Para obtener datos sobre la precipitación mensual, se seleccionaron árboles en fincas con estaciones meteorológicas. Se registraron las precipitaciones desde el año 2018, identificando meses con bajas precipitaciones (inferiores a 200 mm) y altas precipitaciones (superiores a 201 mm). Se realizaron dos cosechas, registrando la precipitación de los últimos 30 días. Las condiciones de almacenamiento fueron: Temperatura: $24 \pm 1^\circ\text{C}$ y Humedad relativa: $68 \pm 2\%$.

Se capacitó un panel sensorial para evaluar la cremosidad y el sabor amargo de la pulpa de aguacate cv. Hass en tres etapas. En la primera, se degustaron muestras de diferentes estados de madurez para una prueba diagnóstica. En la segunda, los panelistas identificaron las características de cada estado, describiendo sus sensaciones y la cantidad de bocados necesarios para detectar los sabores. En la tercera etapa, realizaron una degustación y una prueba Dúo-Trio para evaluar su capacidad de identificar las intensidades de cremosidad y sabor amargo.

Después de las pruebas de entrenamiento, se seleccionaron 10 panelistas, de los cuales el 53% eran mujeres y tenían entre 20 y 35 años. La evaluación sensorial mostró diferencias marcadas en la cremosidad de los aguacates entre las diferentes precipitaciones de cosecha. Las muestras de las menores precipitaciones fueron calificadas mayormente entre "nada" y "poco cremoso", mientras que las de mayor precipitación recibieron calificaciones de "poco" a "muy cremoso". **Figura 1.** Efecto de la precipitación de dos regiones sobre la cremosidad de aguacate. Esta variación podría atribuirse al mayor contenido de ácido oleico (omega 9) en los aguacates cosechados durante la temporada de altas precipitación, este ácido graso contribuye a una mayor cremosidad en comparación con otras variedades (Ortiz et al., 2022).

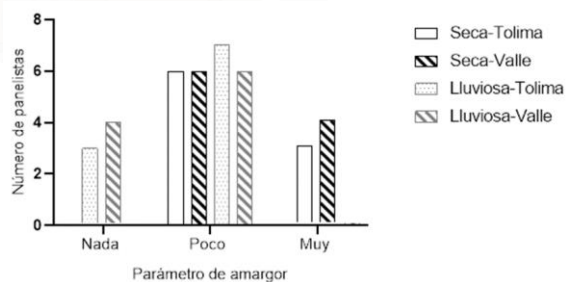
Figura 1. Efecto de la precipitación de dos regiones sobre la cremosidad de aguacate



En cuanto al sabor amargo, las muestras de la baja precipitación fueron calificadas entre "poco" y "muy amargo", mientras que las de mayor precipitación fueron evaluadas entre "nada" y "poco amargo" **Figura 2.** Efecto de la precipitación de dos regiones sobre el amargor de aguacate. Esta diferencia puede relacionarse con una mayor pérdida de agua en las muestras de época lluviosa, lo que favorece un mejor desarrollo del sabor (Hausch et al., 2020). Esta diferencia podría relacionarse con la mayor pérdida de agua en las muestras de época lluviosa, ya que un fruto con menor contenido de agua tiende a desarrollar mejor sabor y menos herbáceo (Hausch et al., 2020). Sin embargo, es importante señalar que el sabor amargo en el aguacate cv. Hass se atribuye principalmente a compuestos fenólicos, como catequinas y tanninos, así como a factores genéticos y de madurez del fruto (Aristizabal y Rodríguez, 2021).

La acumulación significativa del contenido de aceite durante periodos de altas precipitaciones, junto con cambios en la actividad enzimática y compuestos aromáticos, podría influir en la síntesis de compuestos aromáticos y fenólicos, impactando directamente la calidad sensorial del fruto con sabores y aromas más intensos y complejos. Además, la preservación de la integridad estructural del aguacate debido a la acumulación de lípidos puede tener un efecto positivo en la textura y en la percepción táctil del fruto, mejorando así la calidad sensorial en general.

Figura 2. Efecto de la precipitación de dos regiones sobre el amargor de aguacate.



CONCLUSIONES

El aguacate cv. Hass (*Persea americana* Mill) es una fruta valiosa en el mercado global, destacando por su calidad y valor nutricional. Un estudio revela que las precipitaciones influyen significativamente en las características sensoriales del aguacate, con frutos de épocas de alta precipitación mostrando mayor cremosidad y menor amargor, debido a un aumento en el ácido oleico y cambios en la composición química. La investigación enfatiza la necesidad de gestionar las condiciones de cultivo para asegurar la calidad y competitividad de Colombia en el sector agroexportador, destacando la importancia de entender la relación entre clima y propiedades organolépticas en un contexto de creciente demanda global.

REFERENCIAS

1. Acosta, M. (2011a). Evaluación y escalamiento del proceso de extracción de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático. Universidad Nacional de Colombia.
2. Aristizábal Manjarrés, L. M., & Gutiérrez Rojas, R. A. (2021). Sistema inteligente para evaluar la calidad del aguacate cv. Hass para exportación.
3. Domínguez, B. (2014). Proceso De Maduración Y Calidad De Fruto De Aguacate Cv. Carmen cv. Hass. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
4. Esquivel-Fajardo, E. A., Martínez-Ascencio, E. U., Oseguera-Toledo, M. E., Londoño-Restrepo, S. M., & Rodríguez-García, M. E. (2022). Influence of physicochemical changes of the avocado starch throughout its pasting profile: Combined extraction. *Carbohydrate Polymers*, 281, 119048. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119048>

5. FAO. (2023, September 27). Crops and livestock products. Food and Agricultural Organization. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
6. Hausch, B. J., Arpaia, M. L., Kawagoe, Z., Walse, S., & Obenland, D. (2020). Chemical Characterization of Two California-Grown Avocado Varieties (*Persea americana* Mill.) over the Harvest Season with an Emphasis on Sensory-Directed Flavor Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(51), 15301–<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05917>
7. Kassim, A. (2013). Evaluating the effects of pre - packaging , packaging and varying storage environment treatments on the quality of avocados (*Persea americana* mill .) (Issue November). University of kwazulu-Natal.
8. Márquez, C. J., Yepes, D. P., & Sanchez, L. (2014). Changes physical-chemical of avocado (*Persea americana* Mill . cv . “ cv. Hass ”) in postharvest for two municipalities of antioquia. *Temas Agrarios*, 19(1), 32–47.
9. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena productiva Aguacate. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2020-03-20Cifras%20Sectoriales.pdf>
10. Ortiz, A. D., Ochoa, C. I., Pasos, C. V., Ayala, A., Fernandez, A., Plaza, C., & Benitez, J. (2022). Alternativas de comercialización de aguacate cv. Hass en el Valle del Cauca.
11. Pavas, C. A. (2015). Organización de cadena productiva del aguacate. In Ministerio de Agricultura.
12. Rincon Gomez, M. E. (2021). Proceso de producción del aguacate cv. Hass en colombia y sus impactos en la distribución física internacional.
13. Rodríguez, P., & Henao, J. (2016a). Maduración del aguacate (*Persea americana* Mill . cv . cv. Hass) y calidad de los frutos. *Agronomía Colombiana*, 34, 914–917. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1sup.158101>
14. Trinidad, E., Ascencio, F., Ulloa, J., Ramírez, J., Sánchez, A., Calderón, M., & Bautista, P. (2017). Identification and characterization of *Colletotrichum* spp. causing anthracnose in avocado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 3953–3964.
15. Torres Madroñero, M. C., & Trochez Gonzalez, J. (2023). El mercado del aguacate en Colombia. *Apuntes Del Cenes*, 42(75). <https://doi.org/10.19053/01203053.v42.n75.2023.15286>
16. Zapata, E., Ochoa, S., Gomez, A., & Rios, A. (2014). Manual técnico de poscosecha del aguacate hass (*Persea americana* Mill. <https://es.slideshare.net/grupoterravocado/manual-tcnico-de-poscosecha-del-aguacate-hass>

DESARROLLO DE PASERA INTELIGENTE PARA EL SECADO DEL CAFÉ

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT PASSAGE FOR COFFEE DRYING

Bríñez Oscar(1), Yepes David(2), Urueña Juliana(3), Rodriguez Santiago(4).

1 Ing. Electrónico, Casas Automáticas SAS BIC. CEO. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia.
oscarbrinez@casasautomaticas.com

2 Ing. Electrónico, Casas Automáticas SAS BIC. Director de I+D+i. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia. davidyepes@casasautomaticas.com

3 Ing. Industrial, Casas Automáticas SAS BIC. Subdirector de I+D+i. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia. mariajulianaup@casasautomaticas.com

4 MSc. Ingeniería de Control, GI Senagrotic Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima - Tecnoparque Tolima. Espinal - Tolima, Colombia. srodriguezc@sena.edu.co

RESUMEN

El secado del café es una etapa clave del proceso de postcosecha que impacta directamente la calidad del producto final. La humedad residual en granos mal secos favorece el crecimiento de hongos y moho, ocasionando pérdidas significativas. Ante esta problemática, se desarrolló y validó la "Pasera Inteligente" en el Tolima, un sistema avanzado para el secado eficiente de café. Este utiliza tecnología IoT y sensores que monitorean variables críticas del proceso en tiempo real. Durante las pruebas, la Pasera demostró ser superior a los métodos tradicionales, logrando un secado uniforme y controlado que asegura la calidad ideal del café. Además, sus mecanismos electromecánicos facilitan el volteo eficiente de los granos, mejorando la uniformidad del secado. La monitorización en tiempo real permite determinar el momento óptimo para finalizar el proceso, reduciendo riesgos de moho y maximizando la calidad del producto final.

Palabras Claves:

Secado del Café, Sensores, Tecnología IoT, Volteo

ABSTRACT

Coffee drying is a key stage of the post-harvest process that directly impacts the quality of the final product. Residual moisture in poorly dried grains favors the growth of fungi and mold, causing significant losses. Faced with this problem, the "Smart Passera" was developed and validated in Tolima, an advanced system for the efficient drying of coffee. This uses IoT technology and sensors that monitor critical process variables in real time. During tests, Pasera proved to be superior to traditional methods, achieving uniform and controlled drying that ensures ideal coffee quality. In addition, its electromechanical mechanisms facilitate the efficient turning of grains, improving drying uniformity. Real-time monitoring allows determining the optimal moment to end the process, reducing mold risks and maximizing the quality of the final product..

Keywords: Coffee Drying, Sensors, IoT Technology, Tumbling

INTRODUCCIÓN

El secado del grano de café, un paso crucial en la cadena de valor de este producto agrícola, presenta retos asociados a la variabilidad de las condiciones ambientales y la necesidad de optimizar los procesos para garantizar la calidad del producto final (Orjuela, 2020).

Figura 01. Marquesina Convencional



La tradicional práctica de secado de café mediante métodos manuales, predominante en numerosas zonas cafeteras del país, se caracteriza por un proceso sujeto a varios factores cambiantes que ponen en riesgo la calidad del grano. La exposición a condiciones climáticas adversas y la demanda física que requiere el proceso representan amenazas significativas para la salud de los caficultores. Ante esta problemática, la presente investigación propone un innovador sistema de secado automatizado que no solo garantiza un proceso más eficiente y uniforme, sino que también resguarda la integridad de los productores, contribuyendo a una cadena de valor más protegida y durable (Soeswanto, 2021).

Figura 02. Secado de Café Tradicional



En este contexto, se presenta el desarrollo de una "Secadora Inteligente", un sistema innovador que automatiza y supervisa el proceso de secado del café, ofreciendo un control preciso y eficiente de las variables críticas. La Secadora Inteligente incorpora

tecnología de Internet de las Cosas (IoT), lo que permite una recolección continua de datos sobre la humedad relativa, la temperatura ambiente y la humedad del grano en proceso de secado. Estos datos son procesados por un control central que, a su vez, activa mecanismos de control como el volteo periódico del grano, asegurando así un secado homogéneo y evitando la degradación del producto agrícola. El diseño y puesta en marcha de esta tecnología buscan abordar las limitaciones de los métodos tradicionales de secado, ofreciendo una solución más precisa, confiable y adaptable a las condiciones cambiantes del entorno productivo agrícola. A través de la automatización y el monitoreo en tiempo real, se espera mejorar la calidad del café, reducir pérdidas post-cosecha y optimizar el uso de los recursos disponibles.

ESTADO DEL ARTE

Para la construcción de la secadora de café inteligente, denominada "Pasera Inteligente", se emplearon diversos materiales y técnicas. Esta tecnología se desarrolló utilizando un dispositivo de Internet de las Cosas (IoT) diseñado específicamente para este proceso productivo. Este dispositivo está equipado con sensores que miden la humedad relativa, la temperatura ambiente y la humedad del grano, además de contar con un controlador principal y un sistema para voltear el grano. La utilización de estos sensores permitió una medición precisa de las condiciones ambientales y del grano. Los sensores fueron calibrados y configurados meticulosamente siguiendo las instrucciones del fabricante para asegurar su precisión y correcto funcionamiento. De igual manera, el controlador principal posibilita la lectura de las variables y el envío de diversas alertas en tiempo real al operador del proceso de secado del café.

1. Haciendo uso del análisis de Ingeniería asistida por computadora (CAE), e determinan las dimensiones y sistemas mecánicos de la pasera, teniendo en cuenta 2 características principales: Primero se determina que la capacidad volumétrica adecuada para el bastidor usualmente es de 0,07m³, típicamente en las fincas cafeteras colombianas se suele hacer paseras de 1m a 1,5m de ancho por longitudes de 2m hasta 6m, con esto se puede

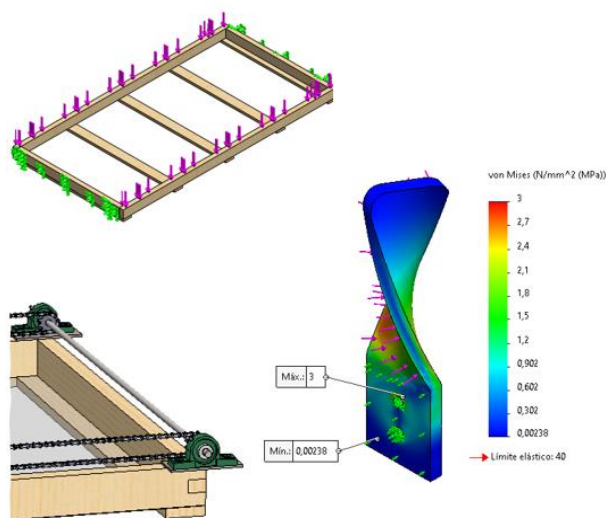
determinar un volumen cúbico e café en dimensiones de 1m x 2m x 3,5cm.

Con estas dimensiones y otras variables como densidad del café mojado (766.6Kgm³) y densidad del café seco (486.6Kgm³) es posible calcular la masa de café para diseñar un bastidor robusto para la pasera suponiendo una distribución de cargas homogénea.

2. Teniendo en cuenta el diseño de rastrillo de mezclado desarrollado por Cenicafe, se diseñó una estructura de madera en la cual se encuentran ensamblados unos dientes helicoidales, diseñados para reducir la posibilidad de dañar los granos (Oliveros, 2008). Los dientes helicoidales y los soportes de los extremos se fabrican en ácido poliláctico (PLA) mediante impresión 3D. Estos dientes helicoidales tienen un ángulo de ataque variable según la resistencia de la masa de café que se está secando. Cada diente helicoidal tiene una torsión de 120° a lo largo de una longitud de 50 mm y un ancho de 20mm y están dispuestos en el bastidor con una separación de 20 mm entre ellos (Oliveros, 2008).

3. Para el sistema de Tracción y Transmisión: Teniendo en cuenta que la longitud de la pasera es de 2 metros, el tiempo en que tarda el desplazamiento del rastrillo de extremo a extremo será: 6,2min, *Fuerza del sistema:* 6,97Kgf. *Velocidad de desplazamiento:* 5,37mm/s

Figura 03. Diseño de piezas mecánicas de pasera inteligente.



Continuando con la metodología del enfoque paso a paso, comenzamos a construir el modelo de rastrillo. La figura 4 muestra el sistema de tracción. El movimiento del rastrillo se transmite a través de

un sistema de engranajes y cadenas entre el eje del tractor y el eje motriz. Ambos ejes están fabricados en acero. Tienen dos camas, una en cada extremo. Los rodamientos están en el marco de la oruga y ambos ejes terminan en ruedas dentadas de 10 dientes impresas en 3D a partir de PLA. Estas ruedas dentadas están diseñadas para cadenas de paso de 1/2" y 1/8". Ancho del diente La rueda dentada consta de una cadena de 1/2" unida a cada lado de la barra guía a intervalos de 1/8".

Figura 04. Diseño de sistema de tracción de pasera inteligente.



El sistema electrónico tiene la responsabilidad de supervisar y controlar los mecanismos de la pasera a través del motorreductor eléctrico. Este control implica la generación de movimientos esenciales para el proceso de secado eficiente del café. El sistema en sí se compone de la tarjeta electrónica, una interfaz de usuario con tres pulsadores retroiluminados y varios componentes adicionales. Para medir con precisión el peso de la masa de café en la pasera, el sistema emplea cuatro celdas de carga en configuración de puente de Wheatstone (Parra, 2008), ubicadas en cada extremo de la estructura como las de la Figura 5. Asimismo, se utilizan sensores de final de carrera que detectan cuando el rastrillo alcanza el final de su recorrido, lo que resulta en la desactivación del motorreductor y el cambio de sentido de giro.

Para la interacción local con el sistema, se han integrado tres botones retroiluminados con LED. Estos botones permiten a los usuarios interactuar con el sistema sin necesidad de una aplicación móvil, lo que ofrece una opción de uso más sencilla.

Figura 05. Sistema Electrónico diseñado en implementado en pasera inteligente.



Los resultados obtenidos en la investigación han sido el desarrollo y validación de la pasera inteligente para el secado eficiente de café reflejan un avance significativo en la mejora de la calidad de producción de los granos y la rentabilidad de la explotación agrícola en el Tolima. El sistema final consiste en una pasera portátil basada en tecnología IoT, diseñada para apoyar el proceso de secado del café mediante la asistencia al volteo del grano y la identificación precisa de los tiempos óptimos para la recogida de los granos. Como se observa en la Figura 6.

Durante las pruebas de validación, se observó que la Pasera inteligente facilitaba un secado más uniforme y controlado del café en comparación con los métodos tradicionales. Los mecanismos electromecánicos incorporados en la Pasera demostraron una alta eficiencia en el volteo del grano, asegurando una exposición uniforme a la temperatura y la humedad requeridas para un secado óptimo.

Además, los sensores integrados en la Pasera permitieron una monitorización en tiempo real de variables clave como la humedad relativa, la temperatura ambiente y la humedad del grano. Esto proporcionó información valiosa para determinar el momento exacto en que los granos alcanzaban el

punto óptimo de secado, lo que contribuyó a la preservación de la calidad del café.

El sistema de comunicación entre la Pasera y la aplicación web y móvil desarrollada para este propósito funcionó de manera eficiente, asegurando una transmisión rápida y precisa de datos sobre el estado del proceso de secado. Esto permitió a los usuarios monitorear y controlar el proceso de secado desde cualquier ubicación, brindando flexibilidad y conveniencia.

Figura 06. Pasera Inteligente



CONCLUSIONES

El desarrollo y validación de la pasera inteligente para el secado eficiente de café, constituye un avance significativo en el proceso de modernización de la industria cafetalera en el departamento del Tolima. Esto ha demostrado que la aplicación de la tecnología IoT junto a mecanismos electromecánicos puede tener un impacto positivo en la calidad y la eficiencia del proceso de poscosecha del café.

Uno de los logros más destacados es la capacidad de la pasera inteligente para optimizar el proceso de secado del café, asegurando una exposición uniforme a la temperatura y la humedad requeridas para un secado óptimo. Así como, la integración de sensores que monitorean variables clave, lo que ha permitido una intervención precisa en el proceso de secado, y por ende una mejora significativa en la calidad del café producido.

Además, la implementación de una aplicación web y móvil para el monitoreo remoto y el control del proceso de secado ha proporcionado una mayor

flexibilidad y conveniencia para los productores de café. Esto no solo facilita la gestión operativa, sino que también abre la puerta a futuras aplicaciones y extensiones de esta tecnología en otros aspectos de la producción agrícola.

REFERENCIAS

1. Orjuela Garzón, W. A., Sandoval Aldana, A., Reyes-Parga, M. A., & Méndez Arteaga, J. J. (2020). Agenda Prospectiva De Investigación Y Desarrollo Tecnológico Para La Cadena Productiva De Café En El Departamento Del Tolima. December, 1–30.
2. Soeswanto, B., Wahyuni, N. L. E., & Prihandini, G. (2021). The Development of Coffee Bean Drying Process Technology – A Review. *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, 207(Issat), 164–170. <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.026>
3. Villalba Olmos, L. C., Duque Grisales, E. A., & Rodriguez, E. (2017). State of the art of coffee drying technologies in Colombia and their development. *ESPACIOS*, 38, 27. <https://revistaespacios.com/a17v38n29/a17v38n29p27.pdf>
4. GONZÁLEZ S., C.A. (2008). Control de temperatura y caudal de aire para la optimización del secado mecánico del café. Cali: Universidad del Valle. Escuela de ingeniería mecánica. 86 p. Tesis: Ingeniero mecánico.
5. OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; PEÑUELA M., A.E. (2008). Secador Parabólico Mejorado. Chinchiná: CENICAFÉ, (Avances Técnicos No. 376)
6. OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G.; LÓPEZ P., U. (2006). Nuevos rastrillos para revolver café en proceso de secado al sol. Chinchiná: CENICAFÉ, (Avances Técnicos No. 346).
7. MONTILLA P., J.; ARCILA P., J. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Cenicafé* 59(2):120-142.
8. PARRA C., A.; ROA M., G. (2008). SECAFÉ: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental* 12(4):428-434.

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL EN CULTIVO DE CHAMPIÑÓN PARÍS EN EL CAÑÓN DEL COMBEIMA

⁽¹⁾ Juan Carlos Garcia Rubio ⁽²⁾ Alisson Andrea Rodriguez Rodriguez

1. Ingeniero Electrónico, Servicio Nacional de Aprendizaje. SENNOVA, Espinal, Colombia.
jucgarciar@sena.edu.do
2. Ingeniera Mecánica, Servicio Nacional de Aprendizaje, Red Tecnoparque SENNOVA, Espinal, Colombia,
aarodriguezr@sena.edu.co

RESUMEN

El artículo propone implementar un sistema de control ambiental para mejorar el cultivo de champiñones en el Cañón del Combeima, Colombia. Los métodos actuales enfrentan problemas como la falta de tecnología y un control inadecuado de temperatura, humedad y CO₂. Se sugiere el uso de controladores ON/OFF y PID para regular estos factores de manera precisa. El controlador ON/OFF mantiene condiciones básicas dentro de rangos aceptables, mientras que el PID ofrece un control más avanzado, garantizando condiciones estables. Las pruebas confirmaron que los controladores PID mejoran la precisión y estabilidad del ambiente de cultivo, lo que incrementa la calidad y productividad de los champiñones. Esta solución es crucial para superar las limitaciones de la agroindustria de hongos en Colombia, optimizando la producción y adaptando el cultivo a las condiciones específicas de la región.

Palabras Claves:

Ambiental, champiñones, controlador, cultivo, PID.

ABSTRACT

The article proposes implementing an environmental control system to improve mushroom cultivation in the Cañón del Combeima, Colombia. Current methods face issues such as a lack of technology and inadequate control of temperature, humidity, and CO₂. The use of ON/OFF and PID controllers is suggested to regulate these factors precisely. The ON/OFF controller maintains basic conditions within acceptable ranges, while the PID controller offers more advanced control, ensuring stable conditions. Tests confirmed that PID controllers improve the accuracy and stability of the cultivation environment, resulting in higher quality and productivity of mushrooms. This solution is crucial for overcoming the limitations of the mushroom agroindustry in Colombia, optimizing production, and adapting cultivation to the region's specific conditions.

Keywords:

Controller, cultivation, environmental, mushrooms, PID.

INTRODUCCIÓN

La estimación de la diversidad de hongos ha variado desde 1991: algunos afirman que hay tan solo 500.000 especies en todo el mundo, mientras que otros afirman cifras tan altas como 9,9 millones. La propuesta de Hawksworth plantea la presencia de 1,5 millones de especies; sin embargo, este valor no es universalmente aceptado entre los micólogos actuales, ya que factores como la ubicación geográfica y tipo ambiente hacen que su proliferación aumenten. Hoy en día, se dice que el número total es de al menos 700.000 y más del 80% son microscópicos, (Aguirre, Ulloa, Aguilar, & Valenzuela, 2014).

Con lo que respecta a los hongos comestibles, se identifican seis tipos principales de hongos a nivel mundial, incluidos *Agaricus bisporus* y *Lentinula Auricularia*, *Volvarella Flamulina* y *Pleurotus*. El más reconocido entre ellos es *Agaricus bisporus*, comúnmente conocido como champiñón, (Cardona, 2001).

China es el líder indiscutible en el fascinante campo del cultivo de hongos. Cada año, este coloso asiático produce alrededor de 3 millones de toneladas de setas frescas. Esto representa el 60% de la producción mundial. Esta ventaja se extiende al comercio internacional, ya que China controla hasta el 65% de las exportaciones del popular de champiñón. (Boa, 2005)

Estados Unidos, Polonia y los Países Bajos también son actores importantes en la industria del cultivo de hongos y se ubican constantemente entre los cinco principales países productores de champiñón en el mundo como se ve en la imagen 1.

Colombia, por su parte, ofrece un panorama diferente en cuanto a la producción de hongos. El país produce alrededor de 850 toneladas de champiñones al mes, y esta producción corresponde principalmente a las pequeñas y medianas empresas. Un ejemplo notable es Setas de Cuivá, filial del Grupo Nutresa, cuyo cultivo mensual alcanza las 600 toneladas. Sin embargo, en el caso de la mayoría de los productores colombianos su tamaño es mucho menor, con una producción mensual de 45 a 11 toneladas. (Celis, 2015)

Imagen 1 Productores de champiñón en el mundo frente a Colombia



A pesar de estas diferencias en la producción, Colombia logra satisfacer su demanda nacional de consumo de hongos, que no supera los 200 gramos per cápita al año. Esto crea una interesante dinámica donde la producción local tiene un impacto crucial en el mercado interno, mientras que, a nivel internacional, el mercado de hongos está dominado por grandes productores mundiales.

Históricamente, el mercado colombiano de champiñones era poco conocido en la década de 1950, pero desde entonces ha experimentado un crecimiento sobresaliente, especialmente con el cultivo de champiñón París, que se derivan de la especie *Agaricus bisporus*. Estos cultivos tuvieron su origen en el municipio de *Cajicá-Cundinamarca* y se han concentrado en la región central del país donde se concentra la mayor parte de la producción.

Las estadísticas oficiales sobre el mercado interno de hongos en Colombia son limitadas, por lo que autores como Mauricio Reina contactan directamente a los productores para obtener estimaciones más precisas, como se detalla en la Tabla 1 en donde se observa el crecimiento exponencial de la producción.

Tabla 1 Tamaño del mercado de champiñón

Año	Toneladas
1991	800
1994	1.750
2001	3.826

(Reina, 2003)

En la actualidad, en Colombia, los departamentos líderes en la producción de hongos son Boyacá, seguido por Antioquia y Cundinamarca, que

representan la mayor fuerza productora del país en términos de cultivo de champiñones. En contraste, el departamento del Tolima está emergiendo en la implementación de este tipo de cultivo, lo que subraya la necesidad de implementar estrategias y tecnologías que permitan a los fungicultores locales competir a nivel nacional en la producción de champiñones, aprovechando las condiciones ambientales y geográficas favorables de la región.

El contexto rural del Tolima presenta tanto desafíos como potencialidades para mejorar el nivel de vida de sus habitantes. A pesar de las dificultades como la falta de diversificación económica y la exclusión de ciertos actores del mercado, desde el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) se promueve un proceso integral de desarrollo rural que incluye la modernización y especialización sectorial de la agroindustria colombiana. Existe un interés creciente en gremios como el de los fungicultores por la incorporación de herramientas tecnológicas en los cultivos de champiñones, dado que este producto ha ganado popularidad en el consumo nacional.

Uno de los principales problemas identificados es la falta de control adecuado de la temperatura y la humedad relativa en los ambientes de cultivo. Estas condiciones fluctuantes pueden crear un entorno propenso al desarrollo de enfermedades fúngicas y bacterianas, comprometiendo tanto la cantidad como la calidad de los champiñones cosechados.

La variabilidad en la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el aire también se ha señalado como un factor crítico que no se mantiene en niveles ideales para favorecer el crecimiento óptimo de los hongos. Además de estos desafíos ambientales, la infraestructura y la tecnología disponibles para el control ambiental en los cultivos de champiñones son limitadas en esta región, debido en parte a la novedad del cultivo en esta área específica, lo que implica una falta de experiencia local en la gestión y optimización de estos parámetros ambientales específicos para el cultivo de hongos.

La combinación de estas limitaciones ambientales y tecnológicas subraya la necesidad urgente de implementar un sistema efectivo de control ambiental. Este sistema no solo regularía y mantendría los niveles adecuados de temperatura, humedad y CO₂ en los ambientes de cultivo de

champiñones, sino que también ayudaría a mitigar los riesgos asociados con enfermedades y mejorar significativamente tanto la productividad como la calidad de los champiñones producidos en la región.

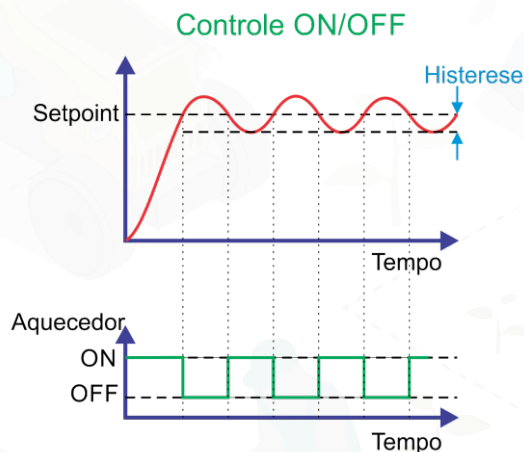
Es por esto que este artículo se centra en la implementación de un sistema de control ambiental para cultivo de champiñones en el Cañón del Combeima, una actividad agrícola relativamente nueva en la región, que presenta desafíos significativos que afectan la producción y la calidad de estos hongos. Estos desafíos están estrechamente relacionados con factores ambientales esenciales para el desarrollo óptimo de los champiñones.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente se puede decir que los controladores ambientales juegan un papel fundamental para asegurar condiciones óptimas que favorezcan el crecimiento y la productividad del hongo. Estos controladores no solo regulan variables como la temperatura, la humedad, sino que también garantizan la estabilidad ambiental necesaria para obtener cosechas consistentes y de alta calidad.

Existen varios tipos de controladores utilizados en la agricultura, especialmente en el contexto de cultivos bajo cubierta. Dos de los tipos más comunes son los controladores on/off y los controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo).

Los controladores On/Off, ver Imagen 2 son controladores básicos y funcionan con un principio binario, activa o desactiva el dispositivo de control basado en un umbral predefinido. En el cultivo de champiñones, un controlador on/off podría usarse, por ejemplo, para encender o apagar un sistema de calefacción cuando la temperatura alcance ciertos límites. Aunque simple, este método puede resultar efectivo para mantener condiciones estables dentro de rangos aceptables.

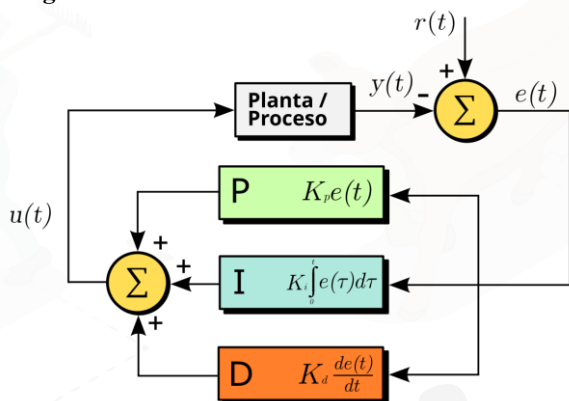
Imagen 2 Controlador ON/OFF



Grachten, E. (2022). Controle ON/OFF

Por otro lado, los controladores PID, ver Imagen 3, son más avanzados y se basan en ajustes continuos y automáticos de la salida del controlador según las diferencias entre la variable medida y la variable de referencia (setpoint). Tienen tres términos principales; proporcional (P) que Corrige el error proporcionalmente a la diferencia entre el setpoint y la medición actual, integral (I) que actúa sobre el error acumulado durante el tiempo para eliminar errores residuales, derivativo (D) que Predice la tendencia del error y mejora la respuesta del sistema. En el cultivo de champiñones, un controlador PID puede ser utilizado para mantener la temperatura.

Imagen 3 Controlador PID



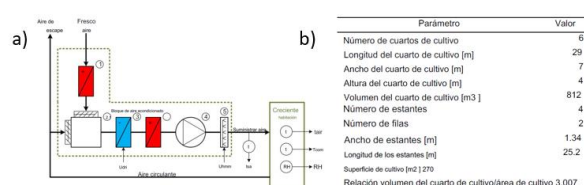
Gútiez, I. (2013). Control PID

ESTADO DEL ARTE

Como antecedentes a referenciar en el presente estudio, cuenta con los trabajos realizados por tesis de: doctorado, maestría, pregrado y artículos: de investigación, reflexión y revisión como se presenta a continuación:

Se implementó un modelo predictivo para la temperatura y humedad del aire en la producción de hongos en Nowosielec, Polonia, con el fin de desarrollar modelos de predicción ambiental para una sala de cultivo. El objetivo fue determinar el horizonte de predicción óptimo para integrarlo en un sistema de control del microclima. Los datos fueron recolectados del sistema HVAC de la sala de cultivo, con mediciones tomadas cada 10 minutos, y el diagrama del sistema muestra todos los puntos de medición. Los parámetros específicos de la granja de hongos se detallan en la imagen 4. El artículo desarrolló un modelo efectivo para predecir la temperatura y humedad relativa en una sala de cultivo de hongos. Las etapas I y II mostraron un buen ajuste, indicando una buena capacidad predictiva, mientras que la etapa III presentó dificultades debido a la variabilidad temporal del microclima. Se recomienda mejorar el modelo incorporando mediciones directas de la humedad del aire suministrado. (Awtonik, Daniun & Kimarchuk, 2019)

Imagen 4 sistema HVAC y tabla de parámetros de la granja

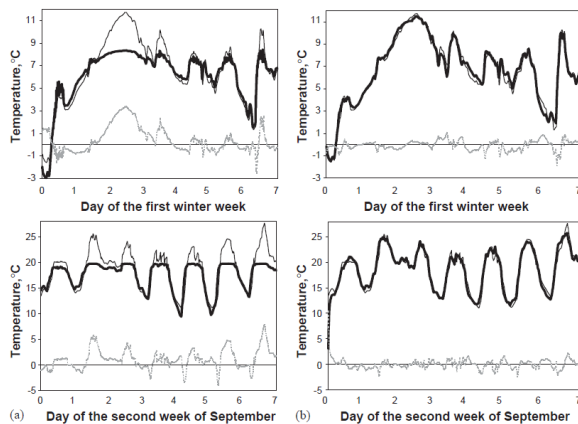


Awtoniuk, M. Daniun, M. Komarchuk, D. (2019). a) HVAC de la sala de cultivo de hongos y b) parámetros que describen la granja de hongos

Se utilizó modelos NNARX con datos simulados del modelo climático GDGCM para predecir la temperatura en invernaderos. En comparación con los modelos ARX tradicionales, el enfoque NNARX mostró mejor rendimiento, requiriendo menos recalibración. Usar solo ocho neuronas en la capa oculta resultó en un rendimiento insuficiente, especialmente en septiembre, con un R^2 inferior al 40%. En cambio, los modelos con 20 neuronas mantuvieron un rendimiento consistente, destacando

la importancia del número de neuronas en la capa oculta para mejorar la precisión frente a las variaciones climáticas. Se concluye que el sistema NNARX para modelar la temperatura interna del invernadero ha sido efectivo, mostrando un buen rendimiento a largo plazo sin necesidad de ajustes frecuentes de parámetros. Se identificó que la cantidad de neuronas en la capa oculta es crucial para lograr este rendimiento. Se sugiere que la introducción de estos modelos en los sistemas de control climático requiere más investigación, especialmente para encontrar el equilibrio óptimo entre el número de neuronas y las iteraciones en el entrenamiento. (Uchida & Pieters, 2004)

Imagen 5 Datos originales versus resultados del modelo NNARX usando 8 y 20 neuronas



Uchida, H. Pieters, G. (2004). (a) ocho neuronas en la capa oculta y (b) veinte neuronas en la capa oculta

Se compara el cultivo tradicional de *Agaricus bisporus* en bodegas adaptadas con ventilación natural frente al cultivo en cámaras climatizadas controladas. El método tradicional, aunque menos controlado en temperatura y humedad, es más productivo y requiere menos inversión inicial y operativa. En contraste, el cultivo en cámaras climatizadas ofrece control continuo de condiciones ambientales ideales durante todo el año, pero con mayores costos energéticos y operativos. El estudio detalla cómo estos factores afectan la eficiencia productiva, sostenibilidad económica y el impacto ambiental de cada método, ofreciendo una comparativa crítica para la industria del cultivo de hongos. (Lázaro, Blanco Fernández, Cámara, Biel, & Macías, 2016)

Se estudió el rendimiento, los diámetros y el número de cuerpos fructales de *Pleurotus ostreatus* en un ambiente controlado, evaluando el efecto de diferentes combinaciones de sustratos. Se utilizaron

residuos lignocelulósicos como hojas de avellano (LH), tilia (LT), álamo europeo (LEA), paja de trigo (WS), aserrín (S) y papel reciclado (WP). El mejor material para la productividad fue la paja de trigo (WS) y la combinación más efectiva de sustratos fue WS+WP (50%+50%). (Yildiz S, Yildiz U C & Temiz A, 2002)

Se incorporo redes de sensores inalámbricos (WSNs), se concluyo que pueden mejorar la agricultura al proporcionar información valiosa para los agricultores. Esta revisión analiza las aplicaciones recientes de WSNs en investigación agrícola, compara protocolos de comunicación, técnicas de eficiencia energética y recolección de energía, y evalúa trabajos previos en WSNs agrícolas. También explora desafíos y limitaciones en el sector agrícola, destacando técnicas de reducción de energía y gestión para monitoreo a largo plazo, además de las oportunidades para procesar datos del Internet de las Cosas (IoT). (H.Jawad, R. Nordin, S. Gharghan, A. Jawad & M. Ismail, 2020),

El modelo propuesto utiliza tecnología IoT para automatizar el monitoreo y control del crecimiento de las plantas en invernaderos, mejorando los sistemas tradicionales de cultivo. A través de microcontroladores, sensores y redes adecuadas, el sistema proporciona datos en tiempo real, permitiendo un monitoreo constante y la emisión de alertas en caso de fallos. Incluye características de seguridad y posibilita el monitoreo remoto mediante una aplicación web. Este modelo contribuye a mejorar la industria hortícola, incrementando la producción y reduciendo la necesidad de intervención humana. (V. Khavalko, S. Baranovska, & G. Geliznyak, 2019)

MATERIAL Y MÉTODOS

En el proceso de desarrollar e implementar un prototipo electrónico destinado al control automatizado de temperatura, humedad y niveles de CO₂ en un invernadero convencional ubicado en la zona rural del Cañón del Combeima en Ibagué dedica al cultivo de champiñón paris, se llevaron a cabo una serie de pruebas exhaustivas para evaluar la funcionalidad del dispositivo electrónico. Estas pruebas abarcaron aspectos clave relacionados con el sensado de variables, validación de la fase de control ON/OFF y PID. A continuación, se detalla cada una de las pruebas realizadas:

• Verificación de sensores

Se evaluaron los sensores del prototipo electrónico utilizados para medir temperatura, humedad y CO₂ en un ambiente controlado. Durante las pruebas, se modificaron tanto la temperatura como la humedad, y las mediciones obtenidas por los sensores fueron comparadas con las de un sensor patrón calibrado. Los resultados demostraron que los valores registrados por los sensores del prototipo eran muy cercanos a los del sensor patrón, lo que confirma la precisión y fiabilidad de las mediciones. Esta verificación es esencial para asegurar que el prototipo funcione correctamente. Aunque los sensores mostraron un alto grado de exactitud, es importante considerar posibles variaciones en sus resultados debido a cambios en las condiciones ambientales o el uso a largo plazo. Para garantizar que el prototipo mantenga su rendimiento óptimo, se recomienda realizar una verificación continua y recalibración periódica de los sensores, asegurando así mediciones confiables y precisas en todas las aplicaciones. Los sensores empleados en el dispositivo electrónico, se detalla en la Tabla 2:

Tabla 2 Sensores empleados en el dispositivo

Sensores implementados	Salida
Sensor de temperatura ds18b20	Analógico
Sensor de humedad DHT22	Analógico
Sensor de humedad y temperatura relativa SHT10	I2C

• Validación de la fase de control

Control ON/OFF: Se realizaron diversas pruebas para asegurar el correcto funcionamiento y precisión del control ON/OFF de temperatura y humedad. Para ello, se preparó un ambiente controlado utilizando cámaras climáticas que simulan diferentes escenarios ambientales. Tras calibrar los sensores de temperatura y humedad con un dispositivo patrón, se inicializó el sistema con los parámetros deseados. Luego, se ajustaron gradualmente las condiciones de temperatura y humedad en la cámara climática para evaluar la respuesta del sistema de control.

Durante las pruebas, se registraron las salidas de control de temperatura y humedad, y los resultados

mostraron que el sistema respondió adecuadamente a las variaciones. Las diferencias entre las lecturas de los sensores y el dispositivo patrón fueron mínimas, lo que indica una alta precisión del sistema. Las salidas de control activaron mecanismos de ventilación para regular la temperatura y un sistema de extracción para controlar la humedad. La Tabla 3 presenta los parámetros del controlador ON/OFF implementado.

Tabla 3 parámetros utilizados en el controlador

Etapas días	Rango mínimo (T-°C)	Rango máximo (T-°C)	Rango mínimo (H-%)	Rango máximo (H-%)
Incubación (menor 15)	23	27	80	90
Crecimiento (15 a 16)	10	22	90	95
Producción Mayor 30	18	22	90	95

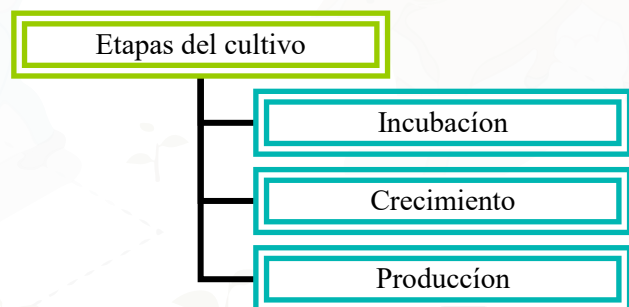
Control PID: En esta fase del proyecto, se validó el control PID de temperatura utilizando técnicas de identificación de sistemas. El objetivo fue asegurar la precisión y estabilidad del control térmico. Se identificó el sistema térmico aplicando señales de entrada y midiendo su respuesta, usando métodos paramétricos para obtener un modelo matemático. Con este modelo, se diseñó un controlador PID ajustando los parámetros (K_p, K_i, K_d) para optimizar la respuesta, minimizando el error y asegurando una respuesta rápida sin oscilaciones.

El controlador PID fue implementado en Matlab, donde se realizaron pruebas bajo diversas condiciones operativas. Los resultados mostraron que el controlador mantuvo la temperatura dentro de un rango estrecho con un mínimo error de seguimiento, asegurando una respuesta estable y fiable. La metodología de identificación permitió ajustar el controlador PID para diferentes condiciones, demostrando la flexibilidad del enfoque adoptado.

RESULTADOS

Considerando lo expuesto anteriormente, se reconoce que el cultivo tiene tres etapas, las cuales se ilustran en la Imagen 6.

Imagen 6 Etapas del cultivo



Cada una de estas etapas requiere condiciones específicas de temperatura, humedad y momento del proceso. Por lo tanto, es necesario controlar cuatro sistemas: calefactor, ventilación, humidificador y extractor, los cuales se activarán según los parámetros establecidos para cada etapa del cultivo (Tabla 3).

Como punto de partida, se proyectan cuartos de cultivo, cada uno equipado con una tarjeta electrónica que permitirá el control on/off o PID, ver imagen 7 y 8, Esta tarjeta proporciona información sobre las variables ambientales en cada etapa del proceso y permite su control correspondiente.

Imagen 7 Diseño CAD cuartos del cultivo

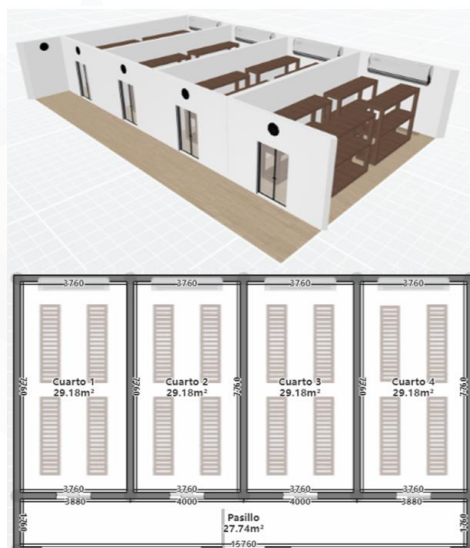
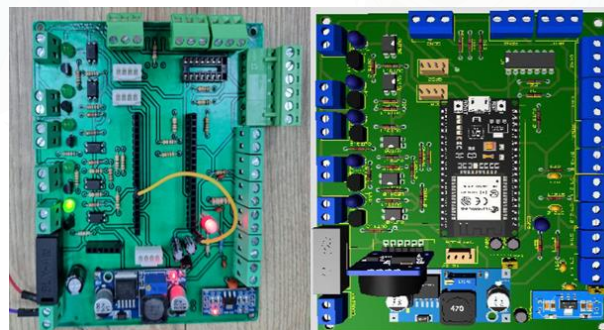


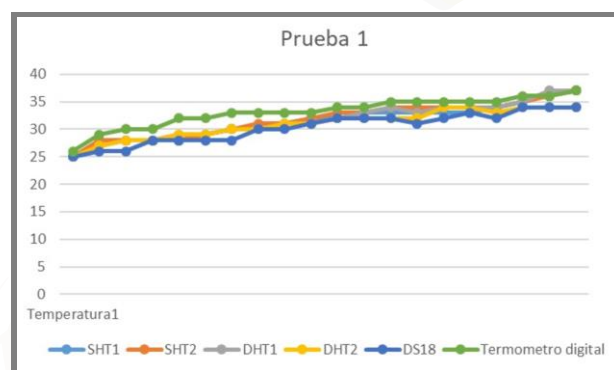
Imagen 8 Tarjeta electrónica diseñada para controlar la humedad y temperatura



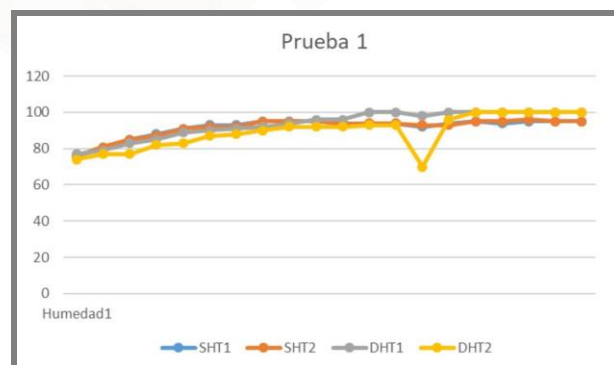
- Muestreó de temperatura y humedad de sensores

En la primera parte de los resultados obtenidos, se realizó el muestreó de los sensores empleados. Los valores registrados por cada sensor se graficaron, como se muestra en las Gráficas 1 a 4.

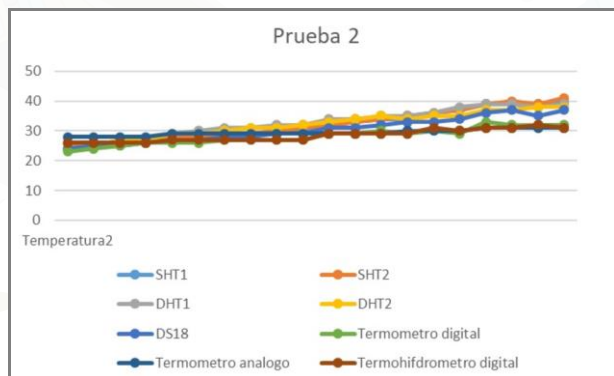
Grafica 1 Prueba 1 muestreó de temperatura



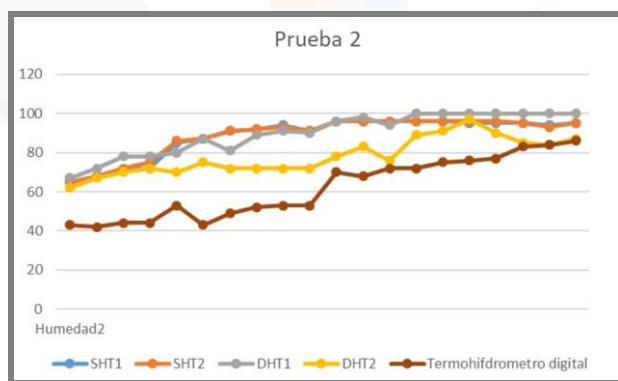
Grafica 2 Prueba 1 muestreó de humedad



Grafica 3 Prueba 2 muestreo de temperatura



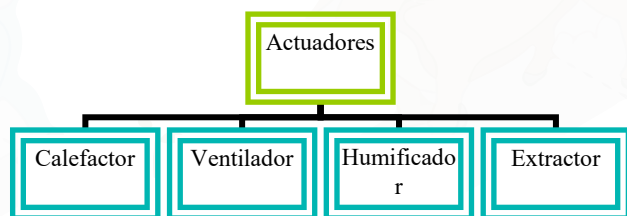
Grafica 4 Prueba muestreo de humedad



• Validación del Control ON/OFF

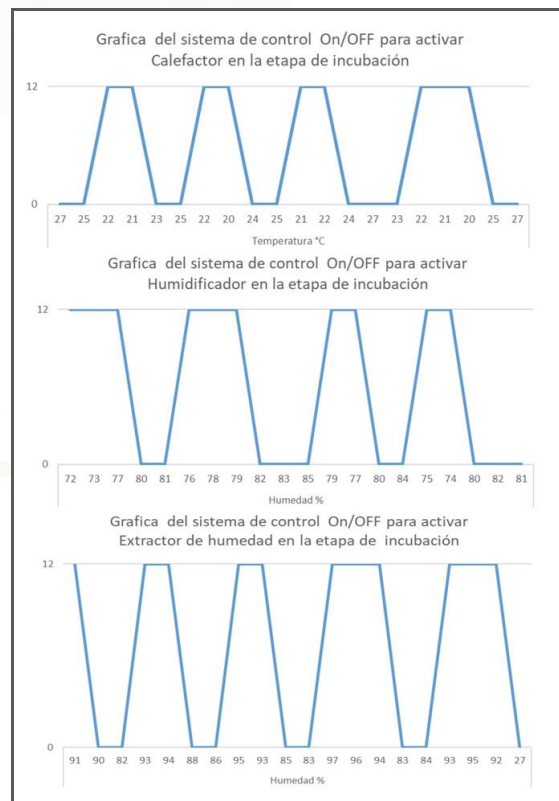
Para la validación del control on/off, se tiene en cuenta, los actuadores que interviene en el proceso, los cuales se evidencian en la Imagen 9

Imagen 9 Actuadores del proceso

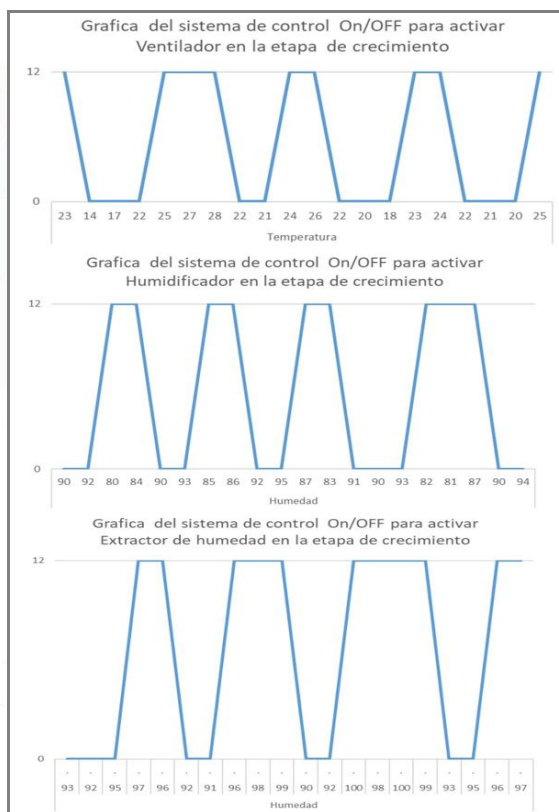


A continuación, se evidencian los resultados del control on/off del sistema calefacción, ventilación, humificador y extractor en las diferentes etapas del proceso de cultivo. Ver graficas de la 5 a la 7.

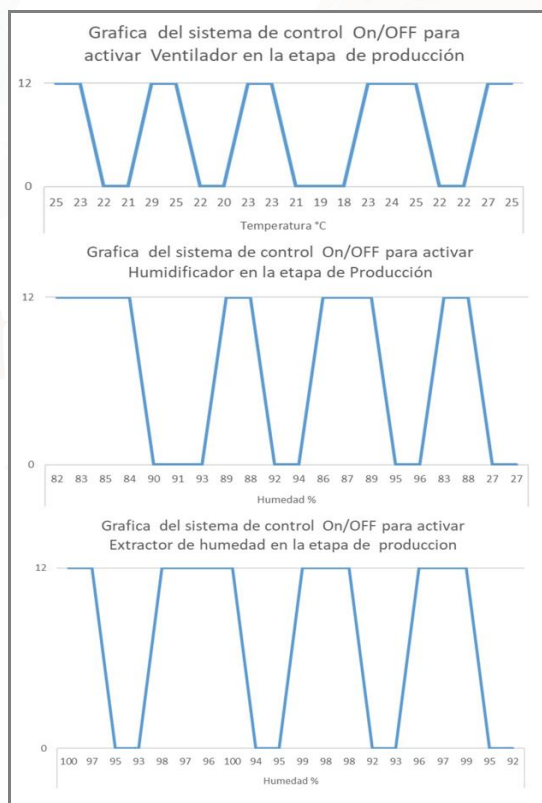
Graficas 5 Control en etapa de incubación



Graficas 6 Control en etapa de crecimiento



Graficas 7 control en etapa de producción



• Validación del control PID

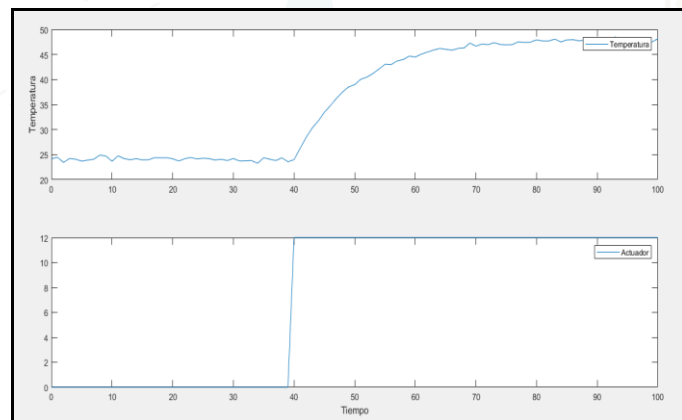
Para la implementación de este controlador, se identificó el modelo del invernadero utilizado en el cultivo de champiñones Paris, con un enfoque en la variable de temperatura. Se llevó a cabo la recopilación de datos experimentales de cada sensor en un invernadero a escala, garantizando que las mediciones se realizaran de manera continua para asegurar una mayor precisión.

Los datos experimentales fueron tomados de manera continua a lo largo del tiempo, permitiendo un análisis detallado de la dinámica del sistema. Una vez obtenidos los datos, se utilizó el software Matlab con el Toolbox Identification. Mediante el uso de esta herramienta, se obtuvo la función de transferencia que modela la dinámica del sistema presentado, proporcionando una representación precisa del comportamiento del invernadero en relación con la variable de temperatura.

Imagen 10: modelo matemático del proceso

$$\text{sys} = \frac{2}{10s + 1}$$

Imagen 11 Comportamiento de la temperatura en el interior del invernadero a escala

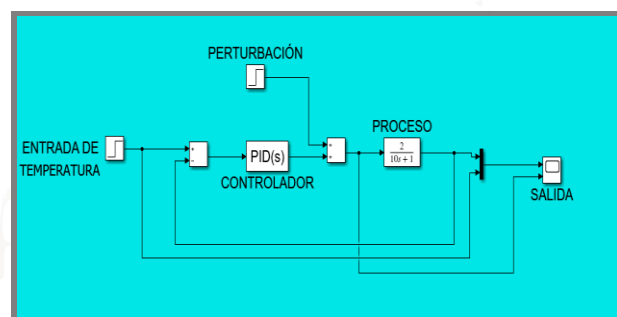


• Ajuste del controlador

En la simulación se realizaron pruebas del controlador en lazo cerrado con un setpoint de 29 °C, con perturbación, con el fin de comprobar la robustez del controlador PID diseñado para el control de la temperatura para el cultivo de champiñón parís, las constantes del controlador PID son las siguientes:

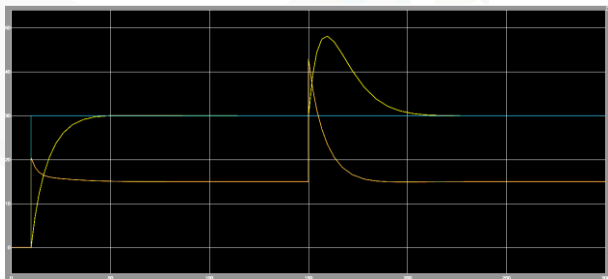
$$\begin{aligned} K_p &= 0.6016 \\ K_i &= 0.0653 \\ K_d &= 0.3044 \end{aligned}$$

Imagen 12 Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura en lazo cerrado



Los resultados del controlador en lazo cerrado, se evidencia en la imagen 11, donde la gráfica de color azul indica del set point al cual se quiere llegar por parte de controlador, la gráfica de color amarillo la respuesta del sistema y la gráfica de color rojo la acción de control. En la gráfica también se puede identificar el tiempo en que el sistema llega al setpoint requerido, el cual es aproximadamente 47 segundos, como también se aprecia en el tiempo 150 segundo una perturbación simulada con el fin de comprobar la robustez del controlador.

Imagen 13 Respuesta del sistema de control de temperatura



CONCLUSIONES

La validación de la fase de control PID de temperatura basada en identificación ha sido exitosa. El enfoque metodológico aplicado ha demostrado ser eficaz para el diseño y ajuste del controlador, garantizando un control preciso y estable de la temperatura en el sistema. Esta fase constituye un paso fundamental hacia la implementación completa del sistema de control climático en aplicaciones agrícolas.

REFERENCIAS

1. Aguirre, E., Ulloa, M., Aguilar, S. C., & Valenzuela, J. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *scielo*, 2.
2. Awtoniuk, M. (2019). Predictive modelling for air temperature and humidity in a mushroom. *iopscience*, 8.
3. Boa, E. (2005). Los hongos silvestres comestibles Perspectiva global de su uso e importancia EN LA POBLACION. *FAO*.
4. Cardona, L. (2001). *Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo de hongo comestible pleurotus ostreatus en cronica forestal y del medio ambiente*.

5. Celis, T. (10 de Marzo de 2015). *larepublica*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/archivo/el-cultivo-del-champinon-visto-en-seis-pasos-2229781>
6. Lázaro, L., Blanco Fernández, Cámara, M., Biel, L., & Macías, J. (2016). COMPARISON OF TRADITIONAL AND CLIMATE-CONTROLLED MUSHROOM. 5.
7. Reina, M. (2003). Caracterización del mercado de champiñón en Colombia. *Fundación para la educación superior y el desarrollo*, 4.
8. Uchida, H., & Pieters, J. (2004). Modelling greenhouse temperature using system. *ElSevier*, 6.
9. Yildiz S; Yildiz U C; Gezer E D; Temiz A (2002). Some lignocellulosic wastes used as raw material in cultivation of the *Pleurotus ostreatus* culture mushroom. *ProcessBiochemistry*, 38, 301–306.
10. H. Jawad, R. Nordin, S. Gharghan, A. Jawad and M. Ismail (2020), "Energy Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review Sensors" no. 17, p. 1781, 2017
11. V. Khavalko, S. Baranovska, and G. Geliznyak, (2019) "Investment Feasibility of Building the Architecture of Greenhouse Automated Control System Based on the IoT and CloudTechnologies", *InCMiGIN*, pp. 311-323.
12. Raneesha Madushanki, N. Malka, W. Halgamuge, A. H. Surangi Wirasagoda, A. AliSyed, (2019) "Adoption of the Internet of Things (IoT) in Agriculture and Smart Farming towards Urban Greening: A Review", *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 10, no. 4.
13. M. Zamora-Izquierdo, A. Skarmeta-Gómez, A. Ramallo-González, V. Tomat and P. Fernández-Ruiz, "Conceptualisation of an IoT framework for multiperson interaction with conditioning systems", *Energies*, vol.13, No. 12, p. 3094.
14. Janiszowski K (2015) Identyfikacja modeli parametrycznych w przykładach (Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT (in Polish))
15. M. N. Hrgaard, O. Ravn, N.K. Poulsen, L.K. Hansen, (2000) *Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems*, Springer, London.

RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES BASADO EN IA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE *MONILIOPHTHORA ROERI* EN GRANOS DE THEOBROMA CACAO

César Augusto Campos Rodríguez ⁽¹⁾

1. Piloto UAS, Técnico en IoT, Ingeniero en Mecatrónica, Servicio Nacional de Aprendizaje. Facilitador Robótica. Grupo de investigación GIDIS, Ibagué, Colombia.
ccamposr@sena.edu.co

RESUMEN

Este proyecto de la Tecnoacademia Tolima busca desarrollar un sistema de visión por computadora para la detección temprana de la plaga *Moniliophthora roreri*, que afecta los cultivos de cacao en la región. Utilizando tecnologías como drones, robots móviles y cámaras de alta resolución, los aprendices han explorado la adquisición y análisis de imágenes mediante inteligencia artificial (IA), específicamente redes neuronales convolucionales (CNN). Se ha generado un repositorio de imágenes y una guía tecnológica que identifica las plataformas más adecuadas para la implementación de un sistema de visión por computadora. El objetivo final es entrenar un modelo de IA con un conjunto robusto de imágenes, permitiendo una identificación precisa de la plaga y contribuyendo a la sostenibilidad del cacao en Colombia. El proyecto también resalta la necesidad de crear un repositorio público de imágenes que facilite el desarrollo de soluciones tecnológicas para el sector agrícola.

Palabras Claves:

Agricultura de precisión, cacao, inteligencia artificial, plagas agrícolas, visión por computadora.

ABSTRACT

This project by Tecnoacademia Tolima aims to develop a computer vision system for the early detection of the *Moniliophthora roreri* pest, which affects cacao crops in the region. Using technologies such as drones, mobile robots, and high-resolution cameras, the apprentices have explored image acquisition and analysis through artificial intelligence (AI), specifically convolutional neural networks (CNN). An image repository and a technological guide identifying the most suitable platforms for implementing a computer vision system have been created. The ultimate goal is to train an AI model with a robust set of images, enabling precise pest identification and contributing to the sustainability of cacao in Colombia. The project also highlights the need to create a public image repository to facilitate the development of technological solutions for the agricultural sector.

Keywords:

Agricultural pests, artificial intelligence, cacao, computer vision, precision agriculture.

INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo de gran relevancia para la economía agrícola de Colombia, especialmente en departamentos como Tolima, donde las condiciones climáticas y geográficas favorecen su producción (IGAC, 2019). Sin embargo, la plaga *Moniliophthora roreri*, conocida como "monilia", representa una amenaza significativa para la sostenibilidad de los cultivos de cacao. Esta plaga fúngica afecta los frutos, reduciendo la calidad y el rendimiento de la producción, con consecuencias económicas graves para los agricultores. Tradicionalmente, el control de esta plaga ha dependido de métodos manuales que son ineficaces y costosos, y que no permiten una detección temprana (Manejo, s.f.).

En este contexto, el uso de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y los sistemas de visión por computadora surge como una solución prometedora. Este proyecto, desarrollado por la **Tecnoacademia Tolima**, busca diseñar e implementar un sistema de detección temprana de la plaga utilizando drones, robots móviles y cámaras de alta resolución. A través del uso de redes neuronales convolucionales (CNN), se procesan imágenes para identificar la presencia de la plaga en etapas iniciales, lo que permitiría a los agricultores implementar medidas correctivas de manera oportuna.

El proyecto no solo apunta a mejorar la productividad y calidad del cacao, sino que también subraya la importancia de crear un repositorio público de imágenes que sirva de base para futuros desarrollos tecnológicos en la agricultura de precisión. Con ello, se espera contribuir de manera significativa a la sostenibilidad del cacao en Colombia, incorporando tecnologías innovadoras que optimicen los recursos y minimicen el impacto ambiental.

ESTADO DEL ARTE

El cacao es un cultivo fundamental para la economía colombiana, especialmente en departamentos como Tolima, que tienen un alto potencial agrícola debido a sus características climáticas y geográficas (IGAC, 2019). No obstante, la producción de cacao en Colombia ha sufrido altibajos, con una disminución del 10% en

2022, atribuida en parte a factores climáticos adversos, como las lluvias intensas que afectan las plantaciones (Revista SwissInfo, 2023; FEDECACAO, 2022). Estas condiciones adversas no solo afectan la producción, sino que también crean un entorno favorable para la proliferación de plagas, entre ellas la *Moniliophthora roreri*, comúnmente conocida como *Molinilla roeri*, que es una de las amenazas más importantes para el cacao (Manejo, s.f.).

Este contexto subraya la necesidad urgente de soluciones tecnológicas que permitan una identificación temprana y precisa de la plaga, de manera que los productores puedan implementar medidas de control eficaces. Una de las tecnologías emergentes con gran potencial en este ámbito es la inteligencia artificial (IA), aplicada en la detección y monitoreo de plagas mediante sistemas de visión por computadora. El uso de inteligencia artificial ha revolucionado la agricultura de precisión, permitiendo la automatización de procesos y optimizando la toma de decisiones a partir de grandes volúmenes de datos. En particular, el reconocimiento de imágenes, basado en técnicas avanzadas de IA como las redes neuronales convolucionales (CNNs), ha mostrado ser eficaz en la identificación de plagas en los cultivos (Awudzi et al., 2016).

Las CNNs son especialmente útiles para el análisis de imágenes, ya que tienen la capacidad de identificar patrones complejos en las imágenes mediante una serie de capas convolutivas que permiten extraer características relevantes (Barbedo, 2013). A medida que las capas procesan la información visual, el modelo "aprende" a reconocer patrones específicos, como las señales visuales características de infestación por *Molinilla roeri* en los granos de cacao. Estudios previos han demostrado que la aplicación de CNNs en la identificación de plagas puede ser particularmente exitosa en cultivos altamente vulnerables, como el cacao, debido a la capacidad de estos sistemas para diferenciar entre granos sanos y aquellos afectados por la plaga (Ferentinos, 2018). Además, la IA no solo ofrece precisión, sino también velocidad en el procesamiento de grandes cantidades de imágenes, lo que permite una detección temprana, crucial para el manejo de la plaga.

La moniliasis es una enfermedad devastadora causada por *Moniliophthora roreri*, un hongo que afecta los frutos del cacao, reduciendo drásticamente el rendimiento y la calidad del producto. El hongo se propaga en condiciones húmedas y lluviosas, lo que lo convierte en una amenaza persistente en regiones como Tolima, donde las condiciones climáticas pueden ser propicias para su expansión (Vázquez et al., 2022). Debido a su capacidad para propagarse rápidamente, los métodos tradicionales de control de plagas, como la inspección visual y la aplicación de fungicidas, suelen ser insuficientes. Además, estas prácticas conllevan riesgos ambientales y costos elevados. En este sentido, el uso de herramientas tecnológicas como drones y cámaras de alta resolución, combinadas con algoritmos de IA, ofrece una solución innovadora para el monitoreo de cultivos. Estas tecnologías permiten la captura de imágenes en tiempo real, que luego son procesadas por sistemas de IA para detectar signos tempranos de la enfermedad.

La implementación de IA para la identificación de plagas en el cacao se enmarca en el concepto de agricultura de precisión, que busca optimizar los recursos y minimizar el impacto ambiental mediante el uso eficiente de tecnologías avanzadas. En el caso de la identificación de plagas, el uso de drones equipados con cámaras de alta resolución permite capturar imágenes detalladas de las plantaciones. Estas imágenes son luego analizadas por sistemas de IA que utilizan CNNs para identificar áreas infestadas (Almeida & Valle, 2007). Por ejemplo, el estudio de Awudzi et al. (2016) destaca el uso de sistemas complementarios de monitoreo para optimizar el control de plagas en las plantaciones de cacao. Estos sistemas integran técnicas de reconocimiento de imágenes con datos adicionales, como la temperatura y humedad, lo que mejora la precisión en la detección de plagas y permite una intervención temprana. Este enfoque podría aplicarse directamente en el caso de la *Molinilla roeri*, utilizando CNNs entrenadas específicamente para detectar los signos visuales de esta plaga en los granos de cacao.

El reconocimiento de imágenes mediante IA ha evolucionado significativamente en los últimos años. En estudios recientes, Barbedo (2013) y Ferentinos (2018) demostraron que las CNNs pueden ser entrenadas para detectar de manera precisa diversas plagas y enfermedades en cultivos

como el cacao. Estos estudios resaltan la importancia de disponer de conjuntos de datos robustos y representativos que permitan al modelo aprender las características visuales de las plagas de manera efectiva. El estudio de Ferentinos (2018) mostró que los modelos de aprendizaje profundo, cuando se aplican al diagnóstico de enfermedades en las plantas, alcanzan tasas de precisión superiores al 90%. Esto sugiere que un modelo bien entrenado puede ser una herramienta poderosa para los agricultores, ayudándoles a tomar decisiones informadas sobre el manejo de sus cultivos.

En resumen, la aplicación de tecnologías de IA para el reconocimiento de imágenes en la agricultura representa un avance significativo en la lucha contra plagas como *Molinilla roeri*. La capacidad de las CNNs para analizar imágenes y detectar signos tempranos de infestación ofrece a los agricultores una herramienta valiosa para gestionar de manera más eficiente sus cultivos. Además, la adopción de estas tecnologías no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir el uso de pesticidas y minimizar el impacto ambiental. Es evidente que, dado el contexto de la producción de cacao en Colombia y los desafíos que enfrenta debido a las plagas y las condiciones climáticas, la implementación de estas innovaciones tecnológicas es fundamental para garantizar la viabilidad a largo plazo del cultivo del cacao en regiones como Tolima.

RESULTADOS

Este proyecto en curso de la Tecnoacademia Tolima ha sido una importante experiencia de investigación formativa para los aprendices del semillero IDEATEC pues además de abordar áreas de la tecnología como la visión por computadora, la robótica móvil y los drones, ha permitido explorar conceptos agro industriales propios de los cultivos de cacao de la región Tolimense, enriqueciendo así la cultura local de este cultivo y las posibilidades de aportar a soluciones, tales como la identificación temprana de plagas como la *M. Roeri* que tanto afectan a los granos de este cultivo.



Imagen 1. Aprendiz Semillerista en sesión de captura de imágenes con medios digitales.

Fuente: Sara Castro, semillerista IDEATEC.



Imagen 2. Plataforma robótica ROBOMASTER S1

Fuente: Juan Camilo Arboleda, Semillerista IDEATEC.

En un enfoque STEAM e implementando la metodología de aprendizaje basado en proyectos se han desarrollado actividades que buscan alcanzar los objetivos propuestos, el primero de ellos, se centró en apropiar los conceptos de imagen, su captura por medios digitales y la exploración tecnológica de diferentes escenarios en campo que permitieron adquirir de una manera práctica

conceptos propios de la visión por computadora en su fase de adquisición.

Estas actividades involucraron no solo dispositivos tecnológicos como cámaras digitales, sino que también involucraron otras tecnologías como robots móviles, drones y sistemas embebidos, dando la posibilidad de conocer una diversa gama de tecnologías que más adelante serían estudiadas en cuanto a su pertinencia para la implementación de un sistema de visión por computadora. Finalmente, el producto obtenido fue un repositorio digital de imágenes utilizando la plataforma didáctica ClassDojo la cual permite de manera interactiva alojar y socializar estos productos multimedia entre los miembros del semillero en el área de robótica para su posterior uso.

El segundo objetivo propuesto en el proyecto fue la generación de una guía de selección tecnológica para implementar el sistema de visión por computadora, en esta guía de selección los aprendices empezaron con la recopilación de antecedentes tecnológicos en el mundo y la región, estudiando las características técnicas de los dispositivos tecnológicos utilizados: Robomaster S1, Robomaster TT, Mavic Mini 3, Raspberry Pi 3, Robot AGROT basado en ESP32CAM y Tello rize.

Mediante prácticas en campo se logró determinar aspectos como: costo, facilidad de uso, procesamiento, detección de imágenes y adaptabilidad en terrenos agrícolas, para finalmente lograr su análisis, identificación y evaluación, concluyendo con la guía de selección que fue generada con estos insumos, obteniendo que de las plataformas utilizadas el drone Mavic mini 3, el robot AGROT basado en ESP32CAM y la Raspberry Pi 3 eran las plataformas más completas para la implementación futura de un sistema de visión por computadora que brindara fiabilidad para la identificación de la plaga en el grano de cacao.

Plataforma	Costo Aproximado	Facilidad de Uso	Capacidad de Procesamiento	Precisión en la Detección	Adaptabilidad a Entornos Agrícolas
RoboMaster S1	\$550 - \$600	Alta (soporte educativo)	Media (basada en Raspberry Pi 3)	Alta (cámara HD y sensores avanzados)	Media (limitado a terreno llano)
RoboMaster TT	\$240 - \$280	Alta (programación fácil)	Media (procesador de vuelo ligero)	Media (cámara de menor calidad)	Media (buena maniobrabilidad aérea)
DJI Mavic Mini 3	\$450 - \$500	Media (requiere algo de experiencia)	Alta (procesador potente para IA)	Alta (cámara 4K y sensores)	Alta (excelente para aéreas)
DJI Tello Ryze	\$100 - \$120	Alta (orientado a principiantes)	Baja (procesamiento limitado)	Baja-Media (cámara 720p)	Media (buena maniobrabilidad aérea)
Raspberry Pi 3 + Cámara	\$60 - \$100	Media (requiere conocimientos de programación)	Media-Alta (depende de la configuración)	Media (dependiente de cámara y software)	Alta (flexible en implementación)
ESP32-CAM	\$10 - \$15	Media (requiere conocimientos de programación)	Baja-Media (limitado procesamiento)	Baja-Media (cámara de menor calidad)	Media (adaptable, pero limitada)

Tabla 1. Resultado de guía de selección.

Fuente: Autores.

Las pruebas de campo fueron cruciales para la consecución de este objetivo, en ellas se logró conocer más a fondo la dinámica biológica tanto del cultivo como del hongo, el entorno de un cultivo de cacao y los desafíos de movimiento que para el caso específico del robot AGROT, logró superar de manera exitosa. El tercer objetivo, el cual al momento de escribir este artículo aún está en curso, se basa finalmente en implementar un modelo de código abierto de visión por computadora en las plataformas elegidas, para esto se estableció un diagrama de flujo con el funcionamiento de la red neuronal a implementar.

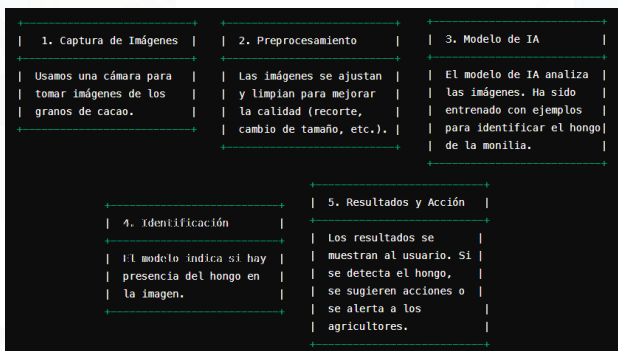


Imagen 3. Diagrama de flujo de funcionamiento la red neuronal propuesta.

Fuente: Autores

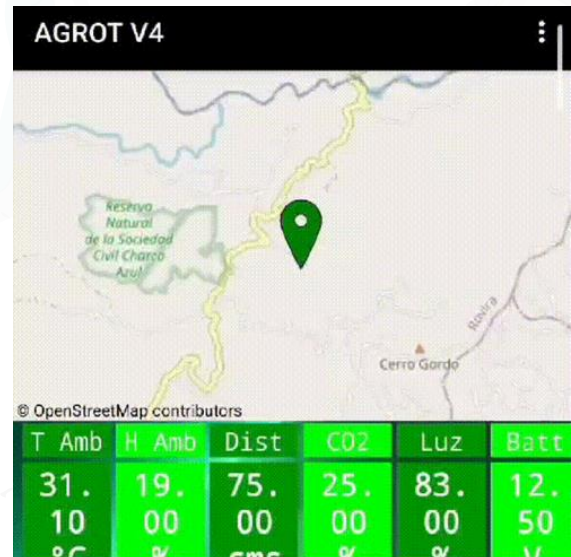


Imagen 4. Interfaz hombre máquina del robot AGROT en funcionamiento.

Fuente: Autores.



Imagen 5. Imágenes de granos de cacao infectados con monilia en diferentes fases.

Fuente: Autores.

Este último detalle no se tuvo en cuenta al plantear el proyecto y es realmente el aspecto innovador del mismo pues abre la puerta a la creación de un repositorio público, no solo de la plaga estudiada sino de diversas plagas que afectan los cultivos de cacao, para de esta manera utilizando herramientas tecnológicas como por ejemplo el robot AGROT, puedan ser de gran ayuda para la detección temprana de enfermedades y mejoren sustancialmente la calidad de los cultivos y su producto obtenido.

CONCLUSIONES

1. Importancia del Cacao en Colombia.

El cacao es crucial para la producción agroindustrial en Colombia, aportando significativamente a la

economía rural y generando empleo. Su desarrollo puede posicionar al país como líder en cacao fino y de aroma, mejorando la calidad de vida en las comunidades agrícolas y diversificando la economía nacional.

2. Uso de Tecnología e IA en Agroindustria.

La tecnología y la IA mejoran la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola, permitiendo la detección temprana de enfermedades y optimizando recursos. La adopción de estas herramientas fomenta la innovación y convierte al sector agroindustrial en un pilar moderno y competitivo.

3. Importancia de un Repositorio Abierto de Imágenes.

Un repositorio abierto de imágenes de enfermedades del cacao es esencial para desarrollar sistemas de IA precisos. La falta de acceso a estos datos es un obstáculo importante. Compartir y colaborar en la creación de repositorios acelera el desarrollo tecnológico y fomenta una agricultura más resiliente.

REFERENCIAS

1. 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>
2. 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
3. FEDECACAO (2022). Año cacaotero 2021-2022 cierra con descenso en producción por intensas lluvias. Recuperado el 5 de marzo de 2023 de: <https://www.fedecacao.com.co/post/a%C3%B1o-cacaotero-2021-2022-cierra-con-descenso-en-producci%C3%B3n-por-intensas-lluvias>
4. KUBOTA (2020). Kubota Concept Tractor. Recuperado el 6 de marzo de 2023 de: <https://www.kubota.com/innovation/concept-tractor/index.html>
5. 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>
6. 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>
7. 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>
8. 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>
9. (N.d.). Agrosavia.Co. Recuperado Mayo 10, 2023, de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36668/Ver_Documento_36668.pdf?sequence=1&isAllowed=y
10. Agronegocios. (2024, July 29). El cacao alcanza su nivel más bajo en cuatro meses ante las perspectivas de más oferta. AGRONEGOCIOS. <https://www.agronegocios.co/mercados/el-cacao-alcanza-su-nivel-mas-bajo-en-cuatro-meses-ante-las-perspectivas-de-mas-oferta-3917936>
11. ANEXO 5. Technology Readiness Levels (TRL) Descripción1. (n.d.). Wwv.minciencias.gov.Co. Retrieved August 5, 2024, from https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo5_7.pdf
12. Angel, M., Adombila, M. A., & Reuters. (2024, March 14). Las plantas de cacao africanas se quedan sin grano y se agrava la crisis mundial del chocolate. Público. <https://www.publico.es/internacional/plantas-cacao-africanas-quedan-grano-agrava-crisis-mundial-chocolate.html>
13. Chandrasekhar, A. (2024, June 30). El chocolate del futuro tendrá poco o nada de cacao. www.swissinfo.ch. <https://www.swissinfo.ch/spa/multinacionales-suizas/el-chocolate-del-futuro-tendr%C3%A1-poco-o->

ELABORACIÓN DE UN ADITAMENTO, EN 3D PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS A COMPRESIÓN ESTÁTICA PARALELA A LAS FIBRAS SOBRE NÚCLEOS DE MADERA (TARUGOS) EN EL EQUIPO VERNIER STRUCTURES & MATERIALS TESTER (VSTM)

Andrés Felipe Acero Quitiaquez ⁽¹⁾ Julio Cesar Bermúdez Escovar ⁽²⁾, Jhoanna Magaly García Andrade ⁽³⁾, Carol Liliana Fajardo García ⁽⁴⁾, Sandra Liliana Castellanos Franco ⁽⁵⁾

1. Ingeniero Forestal, Facultad de Ingeniería Forestal-Universidad del Tolima. Investigador. Grupo de Investigación Gestión Ambiental (GIGA-UT), Ibagué, Colombia. afaceroq@ut.edu.co
2. Ingeniero Forestal, Facultad de Ingeniería Forestal-Universidad del Tolima. Profesor de Carrera. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental (GIGA-UT), Ibagué, Colombia. jbermudez@ut.edu.co
3. Ingeniera Forestal, Facultad de Ingeniería Forestal-Universidad del Tolima. Profesora de Carrera. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental (GIGA-UT), Ibagué, Colombia. jmgarciaa@ut.edu.co
4. Administradora de Empresas, Facultad de Ingeniería Forestal-Universidad del Tolima. Profesional de apoyo en Laboratorio. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental (GIGA-UT), Ibagué, Colombia. cfajardo@ut.edu.co
5. Ingeniera Electrónica, Tecnoparque Tolima, Experto Línea de Tecnologías Virtuales. Grupo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Centro Agropecuario La Granja (SENAGROTIC), Espinal, Colombia scastellanosf@sena.edu.co

RESUMEN

Ciertas condiciones de estrés suelen debilitar a los árboles en zonas urbanas. También se ven afectados por heridas que se producen debido al daño físico. La evaluación del riesgo de los árboles es una técnica que requiere de métodos efectivos para identificar, prevenir y mitigar a tiempo los peligros detectados. Se muestrearon diez árboles en pie, con la ayuda del barrenador (Pressler) para la extracción de núcleos de incremento. La compresión estática paralela a la fibra se calculó de forma no destructiva. Se desarrolló un método de evaluación utilizando un aditamento adaptable al VERNIER STRUCTURES & MATERIALS TESTER (VSMT), diseñado con el software AutoCAD 2022 y construido mediante fabricación aditiva (FA). Se obtuvieron resultados aceptables en núcleos de incremento de 11 mm de longitud y 5,15 mm de diámetro, lo que permitió medir la resistencia de las muestras.

Palabras Claves:

Núcleo de incremento, Métodos no destructivos, Compresión paralela a la fibra, Máxima resistencia, Diseño e Impresión 3D.

ABSTRACT

Certain stress conditions often weaken trees in urban areas. They are also affected by wounds that occur due to physical damage. Tree risk assessment is a technique that requires effective methods to identify, prevent, and mitigate the detected hazards on time. Ten standing trees were sampled, with the help of the borer (Pressler) for extraction of increment cores. The static compression parallel to the grain was calculated non-destructively. An evaluation method was developed using an attachment adaptable to the VERNIER STRUCTURES & MATERIALS TESTER (VSMT), designed with AutoCAD 2022 software and built implementing additive manufacturing techniques. Acceptable results were obtained in increment cores of 11 mm in length and 5.15 mm in diameter, which allowed the resistance of the samples to be measured.

Keywords:

Incremental core, Non-destructive methods, Compression parallel to the fibers, Maximum strength, 3D Design and Printing.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del riesgo en árboles constituye una labor técnica que requiere el uso de métodos efectivos que ayuden a la identificación oportuna de peligros, tales como defectos estructurales y potencial de falla, esto con el fin de prevenir y mitigar los mismos (Matheny *et al.*, 1999). El requerimiento de inspecciones a detalle, ha implementado el uso de herramientas de diagnóstico especializadas para detectar problemas en las raíces o defectos internos en el árbol que no son perceptibles a simple vista (Pokony *et al.*, 2003).

Los métodos no destructivos permiten identificar la afectación que presenta el árbol sin necesidad de dañarlos (Wang *et al.*, 2004). La capacidad que tiene el barrenado de Pressler para obtener una muestra representativa de madera no compromete significativamente la estructura del árbol. Este método se determina como ensayo no destructivo (END) el cual es fundamental para recopilar información sobre las propiedades físicas y mecánicas en la madera (Beram 2023). Así mismo, la determinación convencional de las características de resistencia de la madera se realiza en máquinas de ensayos universal, lo que implica el corte del árbol y la fabricación de muestras de tamaño variable (Götz *et al.*, 2002). Mientras que, el equipo Fractometro II tiene como ventaja realizar mediciones en campo para la determinación de la resistencia a la compresión paralela a las fibras, relacionando las pruebas estáticas y las realizadas con el Fractometro II (Matsumoto *et al.* 2008). Por su parte el Vernier Structure & Material Tester (VSMT) es un dispositivo que permite evaluar la calidad del material y las propiedades mecánicas de la madera. Por lo que permite medir la resistencia a compresión y flexión entre otras propiedades mecánicas de estructuras en madera a prototipo (Vernier Science Educación, 2023). El objetivo de este estudio consistió en diseñar y desarrollar un aditamento 3D integrando rasgos del Fractometro II para adaptarlo al VSMT, lo que permitió realizar pruebas mecánicas estáticas no destructivas como la compresión paralela a las fibras en núcleos de incremento con diámetro de 5.15 mm, extraídos en dirección radial de la madera más cercana a la médula hasta la madera más cercana a la corteza, para determinar la variación de la resistencia a la compresión en dirección médula a corteza.

El aditamento fue diseñado a partir de modelado 3D en el software AutoCAD 2022 y su fabricación se llevó a cabo usando técnicas de Modelado por Deposición Fundida (FDM), más conocida como impresión 3D.

Lo anterior contribuirá a la evaluación estructural del arbolado urbano en la ciudad de Ibagué, en el marco del proyecto “Análisis del Riesgo de Árboles Urbanos y sus Servicios Ecosistémicos en la ciudad de Ibagué, Tolima”, del grupo de investigación GIGA-UT, con el respaldo del Laboratorio de Tecnología de la madera (LTM) de la Facultad de Ingeniería Forestal (FIF) de la Universidad del Tolima (UT), con el fin de establecer una base sólida para la interpretación, determinación y diagnóstico de la resistencia de la madera y los daños internos de árboles en pie. Muestreando 10 individuos pertenecientes a dos de las especies más abundantes y de mayor número de individuos categorizados en riesgo según el último inventario del arbolado urbano de la ciudad de Ibagué. Las especies objeto de estudio fueron *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb.) Skeels y *Samanea saman* (Jacq.) Merr.

ESTADO DEL ARTE

En tiempos pasados, los árboles en áreas urbanas eran valorados por su atractivo estético y decorativo. En la actualidad, se ha reconocido que los árboles y espacios verdes urbanos tienen múltiples beneficios ambientales que van más allá de lo estético (Alvarado *et al.*, 2014). Incluyendo la mejora del ambiente urbano mediante la regulación del microclima, la retención de partículas contaminantes, la reducción de ruido y de la velocidad de los vientos (Dowhal, 2016).

En comparación con los árboles que se encuentran en los bosques, los árboles en la ciudad proporcionan servicios sociales y ambientales importantes (González de Canales, 2002). Es esencial que se preste atención al tamaño, distribución y estado del bosque urbano, ya que esto tiene impacto significativo en la calidad de las personas que habitan en las ciudades (Moreno & Hoyos, 2015). La valoración adecuada del riesgo para mantener y conservar el arbolado urbano, evita la pérdida de cobertura vegetal y aumento de los costos de mantenimiento (Díaz & Ruiz, 2019).

En las últimas tres décadas, se han implementado diversos ensayos no destructivos (END) por parte de los investigadores y la industria en productos forestales, en aplicaciones que abarcan desde la clasificación de la madera estructural hasta la evaluación in situ de las propiedades mecánicas de los árboles en pie (Ross, 1992). Denominándose ensayos no destructivos al tipo de técnica o prueba practicada a un material, y que permita proporcionar información precisa, sin alterar las capacidades de uso final. De tal forma que no se modifiquen sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales (Marín, 2013).

El barrenado de presler de 5 mm. de diámetro es el instrumento adecuado para obtener muestras en forma de cilindros (Imaña & Encinas, 2008). Dichos cilindros son denominados núcleos de incremento, este tejido o muestra nos permite determinar las edades, tasas de crecimiento y la evaluación de las propiedades de la madera de árboles en pie (Maeglin, 1979).

El Vernier Structure & Material Tester (VSTM) es una herramienta que permite enseñar conceptos básicos de ingeniería y procesos de diseño, evaluando la resistencia de materiales, puentes u otras estructuras midiendo la carga aplicada y la deflexión, graficando los datos en tiempo real (Scientific Pty, 2023). El VSTM está equipado con una celda de carga (que mide hasta los 1000 J) y un sensor de desplazamiento (resolución de 0,1 mm)

Figura 1.

En la actualidad, se han registrado estudios que emplean este equipo como una herramienta para determinar la resistencia de distintos materiales. Entre ellos, destaca la investigación reportada por Clarkson *et al.*, (2016). Quienes realizaron un experimento para determinar la fuerza de fractura promedio medida para una tiza, utilizando el VSMT en condiciones de una carga centrada en 3 puntos.

Figura 1. Vernier Structures & Material Tester.



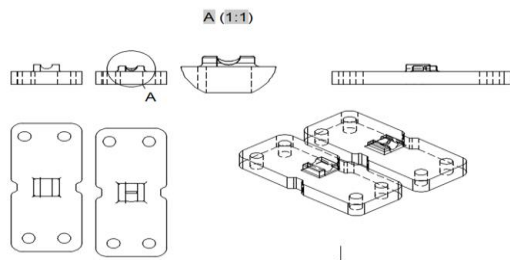
La Fabricación Aditiva (FA) es una herramienta de la Industria 4.0 que se define como el proceso de ensamble de materiales para crear objetos desde un modelo físico generado mediante un software de diseño asistido por computador en 3 dimensiones (3D CAD). (Díaz, 2018). De acuerdo con Zahera (2012) La FA es una de las técnicas más usadas en la actualidad para la fabricación de piezas con cierto tipo de complejidad geométrica o que requieren personalización en el proceso de diseño y desarrollo.

Dentro de las técnicas de FA, la Impresión 3D es la más popular en la actualidad, gracias a la versatilidad de aplicaciones, bajo costo de implementación y facilidad de uso. Existen diversos estudios que relacionan la Impresión 3D con la fabricación de elementos en diversos campos de aplicación. Banfield *et al.* (2016) emplearon diferentes técnicas de fabricación para evaluar la impresión 3D como una alternativa en la elaboración de alas para los vehículos aéreos no tripulados (VANT). Por su parte, en el campo de la medicina, se ha evolucionado hacia la bioimpresión con el objetivo de fabricar órganos o tejidos personalizados. (Cesar-Juarez, *et al.*, 2018). Desde otra perspectiva, Roselló (2022) presentó un completo estudio sobre las aplicaciones de la Impresión 3D en el ámbito de la construcción, anotando que entre los principales aportes se encuentran la automatización y optimización de procesos.

RESULTADOS

Se diseñó y elaboró un aditamento en impresora 3D para la realización de pruebas en núcleos de incremento con un diámetro de 5,15 mm. El dispositivo consta de dos placas: superior e inferior véase en *Figura 2*.

Figura 2. Diseño de aditamento para compresión paralela a las fibras



En el centro de cada placa se estableció la “muesca” punto de presión encargada de aplastar el núcleo de incremento. La idea base de diseño consistió en optimizar un aditamento adaptable al VSMT y evaluar el comportamiento de los núcleos, a través de ensayos de compresión paralela a las fibras.

Mediante el software de diseño digital AutoCAD 2022 y a partir del modelamiento en 3D se llevó a cabo la simulación del accesorio. Una vez terminado el diseño, se replicó en varios materiales con el fin de encontrar el de mejor estabilidad y de mejorar la respuesta del material a los esfuerzos sometidos por el VSMT, llegando a la selección de PLA para la impresión en 3D véase **Figura 3.** como insumo base para la creación del aditamento.

Figura 3. Aditamento para ensayos a compresión paralela de las fibras



Se ejecutaron pruebas preliminares en muestras de madera de las especies de *A. excelsum* y *S. saman*, con el fin de verificar la viabilidad del aditamento y hacer mejoras al mismo. Como resultado el diseño mejorado otorgó resultados que permitieron determinar la compresión paralela a las fibras, implementando ensayos mecánicos no destructivos.

Los resultados evidenciaron que la especie *A. excelsum* muestra un aumento en su resistencia a la compresión paralela de las fibras en la madera cercana a la médula hasta la sección intermedia, siendo esta sección la de mayor resistencia, y a

medida que se aproxima a la madera más cercana a la corteza su resistencia disminuye. Véase en **Tabla 1.**

Tabla 1. Máxima resistencia de la especie *A. excelsum*

PROPIEDAD	UNIDADES	n	MÁX R				CV%
			MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	DE	
Corteza	kg cm ⁻²	9	147,25	188,57	219,59	22,08	11,71
Intermedio	kg cm ⁻²	9	154,66	212,96	302,00	38,86	18,25
Médula	kg cm ⁻²	9	164,69	209,59	308,00	40,12	19,14

MÁX R: máxima resistencia a la compresión, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

En la **Tabla 1**, se revela el valor promedio de la máxima resistencia a la compresión en la sección intermedia que es de 212,96 kg cm⁻². Sin embargo, se observa una disminución en la resistencia a la compresión en la madera más cercana a la corteza.

Esta especie presentó la mayor variabilidad en los datos, alcanzando un valor de 19,14% de CV en la sección médula para la Máx R., llegando al límite admisible, y a medida que se acerca a la madera de la sección media y sección corteza su valor de variabilidad disminuye.

Para el caso del *S.saman*, la variación en la resistencia al aplastamiento varia su comportamiento con respecto a la madera más cercana a la médula siendo la sección con mayor resistencia al aplastamiento a medida que se distancia de la madera cerca a la médula esta especie disminuye su resistencia hasta llegar a la madera más cercana a la corteza. **Tabla 2.**

El promedio de las secciones transversales más cercanas a la médula presenta mayor resistencia, con un valor de 302,08 kg cm⁻². Para la sección intermedia, se observa una ligera disminución con un valor de 300,66 kg cm⁻², sugiriendo que no hay cambios notables en la resistencia de la madera a medida que se aleja de la médula. **Tabla 2**

Tabla 2. Máxima resistencia de la especie *S.saman*.

PROPIEDAD	UNIDADES	n	MÁX R				CV%
			MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	DE	
Corteza	kg cm ⁻²	9	238,01	262,46	307,89	20,03	7,63
Intermedio	kg cm ⁻²	9	268,67	300,66	370,09	27,65	9,20
Médula	kg cm ⁻²	9	268,02	302,08	351,11	22,66	7,50

MÁX R: máxima resistencia a la compresión, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

Sin embargo, al llegar a la sección de la corteza, la resistencia disminuye a $262,46 \text{ kg cm}^{-2}$, indicando que la especie reduce su capacidad de resistencia en la madera más cercana a la corteza, véase **Figura 4**.

Figura 4. Máxima resistencia a la compresión



Es importante destacar que el coeficiente de variación de los datos se mantuvo por debajo del 27% en el EFLP y del 19% en la Máx R, en todas las secciones.

CONCLUSIONES

Se diseñó un dispositivo que permitió su implementación en el VSMT. Los resultados obtenidos con este dispositivo fueron comparados a los del Fractometer II, el cual demuestra una mayor precisión en la medición al aplastamiento paralelo a las fibras en dirección de médula a corteza.

Las propiedades mecánicas de las especies *A. excelsum*, *S. saman* evidencian que la máxima resistencia a la compresión paralela disminuye a medida que se acerca a la corteza. Esta tendencia se atribuye a la composición predominante de madera con menor densidad hacia la corteza, confiriéndole características de blandura, por ende, una menor resistencia en comparación con otros tejidos del tronco.

El coeficiente de variación (CV%) para las dos especies estudiadas presentaron valores por debajo del máximo admisible en la Máx R., a excepción de la sección cercana a la médula de *A. excelsum*, que superó el valor admisible para la Máx R. Aun así, los resultados indican una distribución normal, sin presentar diferencias estadísticamente significativas.

REFERENCIAS

- Alvarado, A., & Guajardo, F., Devia, S. (2014). *Manual de plantación de árboles en áreas urbanas*. (M. Ltda., Ed.)https://www.conaf.cl/cms/editorweb/institucional/Manual_de_Plantacion_de_Arboles_en_Areas_Urbanas.pdf
- Banfield, C., Kidd, J., & Jacob, J. D. (2016). Design and development of a 3d printed unmanned aerial vehicle. In 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting (p. 2029).
- Beram, A., (2023). Evaluating the strength properties of standing trees through fractometry. *Eurasian Journal of Forest Science*, 11(3), 137-150. <https://doi.org/10.31195/ejefs.1359426>
- Cesar, A., Olivos, A., Landa, C., Cardenas, H., Silva, P., Suarez, C., Olivos, B. e Ibarra, J., (2018) *Uso y aplicacion de la tecnologia de impresion y bioimpresion 3D en medicina*. *Novedades en Medicina*, 61(6), 43-51. Obtenido de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/facmed/v61n6/2448-4865-facmed-61-06-43.pdf>
- Clarkson S., Rieken B., Schar Dr. M., Sheppard Dr. S., (2016) Exploring Tensile Strength of Materials using Chalk as a Case Study.<https://www.vernier.com/vernier-ideas/testing-chalk-with-vsmt/>
- Díaz, L., & Ruiz, A. (2019). *La gestión del riesgo aparente en arbolado urbano*. Obtenido de https://www.aepjp.es/wp-content/uploads/2019/09/parjap94_Web.pdf
- Díaz, J., (2018). *Retos de la cadena de suministro con la inclusión de la tecnología de impresión 3d - fabricación aditiva AM*. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, vol. XIV, núm. 27, 2018 Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409658132012>
- Dowhal, A. (2016). *Arboricultura urbana: gestión y manejo del arbolado público*. Obtenido de <https://elibro-net.bibliored.ut.edu.co/es/ereader/tolima/77341?page=49>
- González de Canales, C. (2002). *Beneficios del Arbolado Urbano*. Obtenido de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios del arbolado urbano.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios_del_arbolado_urbano.pdf)
- Götz, K., Bethge, K., & Mattheck, C. (2002). The fractometer II - a mobile wood testing device.<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55864745>

11. Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epidometría Forestal*. Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/33540999.pdf>
12. Maeglin, R. R. (1979). *Increment Cores, How to Collect, Handle and Use Them*. Obtenido de <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/9801>
13. Marín, R. (2013). *Estudio Sobre Técnicas de Ensayo No Destructivas (Ndt) y Semi-Destructivas (Sdt) con el Objetivo de Determinar Algunas de las Propiedades Mecánicas de la Madera*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/19834>
14. Matheny, N., Clark, J., Attelwell, D., Hillery, K., Graham, W., & Posner, G. (1999). Assessment Of Fracture Moment and Fracture Angle in 25 Tree Species in The United States Using The Fractometer. *Arboriculture & Urban Forestry*.
15. Matsumoto, K.; Ishiguri, F.; Lizuka, K.; Yokota, S.; Yoshizawa, N. 2008. Evaluation of bending and compression strength of wood using Fractometer. *Wood Industry* 63(8): 358-363. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122558/records/64724a9053aa8c89630557db>
16. Moreno, F., & Hoyos, C. (2015). *Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Nacional de Colombia*.
17. Pokorny, J., O'Brien, J., Hauer, R., Johnson, G., Albers, J., Bedker, P., & Mielke, M. (2003). *Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation*. St. Paul, MN 55108: USDA Forest Service.
- Obtenido de <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/11070>
18. Ross, R. (1992). *Nondestructive Testing of Wood. Nondestructive Evaluation of Civil Structures and Materials*. Obtenido de Nondestructive Testing of Wood. Nondestructive Evaluation of Civil Structures and Materials: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.04.001>
19. Roselló, D., (2022). *Estudio de las aplicaciones de la impresión 3D en el ambito de la construccion*. [Trabajo de Grado] Universidad Politecnica de Catalunya. Obtenido de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/364632/MEMORIA_David_Rosell%c3%b3_Cruz.pdf?sequence=3&isAllowed=y
20. Scientrific Pty. (2023). *Vernier Go Direct Probador de estructuras y materiales*.
21. Vernier Science Education. (2023). *Vernier Structures & Materials Tester*. Obtenido de <https://www.vernier.com/product/vernier-structures-materials-tester/>
22. Wang, X., Divos, F., Pilon, C., Brashaw, B., Ross, R. J., & Pellerin, R. F. (2004). *Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools: a guide for use and interpretation*. Obtenido de <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/7037#>

SENA
FORO
3º
FORO
INNOVACIÓN EN
EL AGRO
20
24

3º

FORO INNOVACIÓN EN EL AGRO



Tecnoparque
Tolima



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

AGRADECIMIENTOS

En nombre de todos los asistentes, participantes y beneficiarios del 3° Foro de Innovación en el Agro, realizado en el hermoso municipio del Líbano, Tolima, queremos expresar nuestro más profundo y sincero agradecimiento al equipo de Tecnoparque Tolima.

Gracias por su visión, compromiso y dedicación, que hicieron posible un evento que no solo reunió mentes brillantes, sino que sembró las semillas del progreso y la innovación en nuestra región. Este foro fue más que un encuentro; fue un espacio de inspiración, aprendizaje y colaboración donde se tejieron lazos entre el conocimiento científico y las necesidades del sector agropecuario.





SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



**Tecnoparque
Tolima**

ISSN: 2981 - 3824



**ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**BIOTECNOLOGÍA Y
NANOTECNOLOGÍA**



**TECNOLOGÍAS
VIRTUALES**



**INGENIERÍA
Y DISEÑO**



3^{er}

FORO

INNOV



AGRO



2024