

ENERO - DICIEMBRE 2024



CENTRO AGROEMPRESARIAL
Y DESARROLLO PECUARIO DEL HUILA
REGIONAL HUILA

REVISTA DE INVESTIGACIONES AGROEMPRESARIALES

VOL 11

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



ISSN ONLINE:
27-45 - 245X

ISSN PRINT:
2500 - 4468X

Revista de Investigaciones Agroempresariales

Volumen 11 - Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario Del Huila

CUERPO DIRECTIVO:

Jorge Eduardo Londoño Ulloa

Director General del SENA

Manuel Fernando Monsalve

Dirección General - Coordinador Grupo de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica y Formativa.

Adriana Milena Gasca Cardoso

Directora Regional Huila (e)

Carlos Andrés Jiménez Mórea

Subdirector (e) Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila

Silvia Cristina Carrera Quintana

Dinamizadora del Programa SENNOVA

COMITÉ CIENTÍFICO:

Silvia Cristina Carrera Quintana

Bióloga, Ph.D en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible, Dinamizadora SENNOVA

Judith Margarita Barros Gómez

Ingeniera Pesquera, Ph.D en Ciencias del mar, Docente Universidad del Magdalena

Jennifer Kausca Castro Camacho

Ingeniera Agrícola, Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Docente Universidad Surcolombiana

Hans Thielin Castro Salazar

Ingeniero Químico, M.Sc, Ph.D en Química Docente Corporación Universitaria del Huila

GESTOR EDITORIAL / CORRECTOR DE ESTILO:

Rocío del Carmen Guerrero Pinedo

Administradora Hotelera y Turismo, Habilidades en Programación con énfasis en Aplicaciones Web, Instructora SENNOVA

DISEÑADOR Y MAQUETADOR

Juan Esteban Barrera Sarmiento

Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información, Programador y Diseñador

Información y correspondencia, Revista de Investigaciones Agroempresariales.

Carrera 10 # 11-22 Garzón-Huila

Teléfonos: **6088335034**

e-mail: **cajimenezm@sena.edu.co**

La revista puede consultarse en su versión electrónica en:

<http://revistas.sena.edu.co/index.php/riag>

PRESENTACIÓN

La Revista de Investigaciones Agroempresariales, es una publicación científica y tecnológica del Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila y del grupo de Investigación INNOVAGRO C.A.D.P.H, para la divulgación de conocimientos de orden productivo, social y cultural, especialmente en las líneas de investigación en sistemas sostenibles agropecuarios, pecuario, acuícola, biotecnología, TIC y afines.

MISIÓN

La misión de la Revista de Investigaciones Agroempresariales es fomentar la comunicación y colaboración entre investigadores nacionales e internacionales a través de la divulgación y transferencia de conocimiento relacionado con el sector productivo, social y cultural, con el fin de fortalecer la generación de nuevo conocimiento.

PÚBLICO AL QUE SE DIRIGE

La Revista de Investigaciones Agroempresariales es una publicación, dirigida a aprendices, instructores, investigadores y comunidad académica y científica en general, destinada a publicar artículos resultantes de las investigaciones originales en el área agrícola, pecuaria, acuícola, administrativa, social, biotecnología y TIC. La publicación circula en formato digital con acceso libre.

PERIODICIDAD

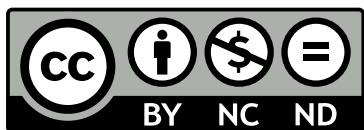
La publicación de la Revista de Investigaciones Agroempresariales es anual.

COPYRIGHT

La publicación de los artículos en la revista es responsabilidad de los autores, los artículos publicados en medio impreso y electrónico están autorizados por los autores mediante cesión de derechos de autora

CALIDAD EDITORIAL Y PROPIEDAD INTELECTUAL

La revista se acoge a los lineamientos de copyright: Creative Commons 4.0, la política: Atribución No comercial-Compartir igual (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), este tipo de política suscita el reconocimiento al derecho de autoría de carácter no comercial y que deben compartir la información tal y como está publicado en la página web.



 iThenticate®

INDICE

- 5 Editorial.**
- 6 Métodos de fermentación y su incidencia en la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*).**
- 18 Enfoque Interdisciplinario de aplicación de Tecnologías Emergentes en el cultivo del Tomate.**
- 31 Uso de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*), y sus parámetros nutricionales.**
- 40 La huerta urbana como estrategia de mejora del bienestar y la salud mental de los aprendices del SENA del centro de diseño y manufactura del cuero.**
- 52 Harina de nopal: análisis de su contenido de fibra cruda y propiedades funcionales para su aprovechamiento en la industria alimentaria.**
- 64 Efecto de dietas artesanales elaboradas con materia prima de la región sobre el crecimiento de alevinos de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de recirculación.**
- 74 Bioconversión Innovadora: Transformación de subproductos piscícolas en nutrientes para peces con larvas de *Tenebrio molitor*.**
- 88 Evaluación de la fecundación artificial vs natural de la abeja italiana (*Apis mellifera ligústica*) en la zona centro del departamento del Huila.**
- 97 La tipografía Ruta Turística Agroecológica para el Desarrollo Sostenible en el Municipio Rómulo Gallegos Estado Apure – Venezuela.**

Descargo de responsabilidad

Esta publicación tiene como propósito difundir información académica y científica relacionada con la agroindustria, basada en investigaciones realizadas por el Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila y el grupo de investigación INNOVAGRO C.A.D.P.H. La información presentada en los artículos es el resultado de investigaciones originales, complementada con referencias de dominio público y datos experimentales. Sin embargo, los enfoques, métodos y resultados descritos pueden variar dependiendo de las condiciones específicas de cada estudio, así como de los avances tecnológicos y científicos en constante evolución. Las opiniones, análisis y recomendaciones expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de sus autores y no necesariamente reflejan la posición oficial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) o de los patrocinadores de los proyectos.

El contenido de esta revista está sujeto a modificaciones y actualizaciones en la medida que se generen nuevos conocimientos y tecnologías aplicables al sector agroempresarial. Se recomienda a los lectores evaluar cuidadosamente la pertinencia de la información antes de su aplicación práctica.

Editorial

En esta oportunidad y como ha sido costumbre en los últimos años, el Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila-SENA Garzón, presenta para las personas que los motiva la investigación, la revista de Investigaciones Agroempresariales SENNOVA con una serie de artículos que nos ha permitido conocer de manera profunda de la mano con diferentes sectores de la economía, aspectos tan importantes en materia de Café, Cacao, Apicultura, turismo, iofilización, entre otros.

Las estrategias Campesena y Economía Popular, dos grandes apuestas del Servicio Nacional de Aprendizaje para la vigencia 2024, trajo consigo un espacio para que el sector campesino tuviera un espacio en cada una de las apuestas productivas de nuestra región; el café y el cacao, dos grandes renglones de la economía del departamento, con importantes artículos, nos permite conocer en detalle aspectos de uso, consumo, físicos y fisicoquímicos de esta importante materia prima.

De la misma forma, otros sectores de la Economía como la Apicultura y la tilapia, también tienen un importante espacio de análisis e investigación en este 2024, ya que son pilares importantes para nuestra región y porque han despertado el interés de los habitantes de la región, sobre todo del sector rural que las consideran de gran relevancia para los próximos años.

El turismo durante el 2024 marcó una pauta y síntesis de gran impacto en la zona centro del departamento y por eso también fue objeto de investigación en nuestra revista, para ello, el artículo denominado ruta turística agroecológica sostenible, busca el encuentro entre el hombre y la naturaleza en una zona específica de la República hermana de Venezuela.

De esta forma, en nuestra revista de Investigación del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Garzón, podemos decir que el 2024 es un año especial, toda vez que tenemos un importante nivel de publicaciones, en aspectos económicos de gran relevancia para la región y con asuntos de gran interés para nuestra población.

Muchas gracias y bienvenidos.

- Carlos Andrés Jiménez Mórea

Subdirector (e) Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila

Métodos de fermentación y su incidencia en la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.)

*Fermentation methods and their impact on the quality of the cocoa bean (*Theobroma cacao* L.)*

BRYAN IVAN MURILLO CONDO ¹

FRANK GUILLERMO INTRIAGO FLORO ²

¹ Facultad de Posgrado, Maestría en Agroindustria, Universidad Técnica de Manabí, Chone-Ecuador. Email: bmurillo0560@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-4799-2057>

² Departamento de Procesos Agroindustriales, Facultad de Ciencias Zootécnica, Universidad Técnica de Manabí. Email: frank.intriago@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-0377-1930>

RESUMEN

El cacao ecuatoriano se destaca en el ámbito mundial gracias a sus diversas características sensoriales. La etapa de la fermentación juega un papel fundamental en la calidad del grano de cacao. Por ello, el objeto de este artículo es analizar los diferentes métodos de fermentación y su impacto en la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*), centrándose en los diferentes aspectos sensoriales como el sabor, aroma y características físicas del grano. Se abordan tanto los métodos tradicionales como los modernos, incluyendo tecnologías de fermentación con microorganismos, extractos de fruta y fermentación de amidas. Esta evolución en las técnicas de fermentación ha revolucionado la industria del cacao. Los centros de acopio agrícolas juegan un papel crucial al evaluar los parámetros de control durante la fermentación, como la temperatura, °Brix y el pH. Estos parámetros, adoptados y aplicados en diversas regiones cacaoteras, representan una estrategia para mejorar la técnica de fermentación y lograr un chocolate final con cualidades sensoriales superiores. La sostenibilidad y productividad son aspectos claves que definen las futuras mejoras y prácticas relacionadas con la fermentación del grano de cacao.

Palabras clave: Control, parámetros sensoriales, prácticas agrícolas, propiedades, técnicas.

ABSTRACT

Ecuadorian cocoa stands out worldwide thanks to its diverse sensory characteristics. The fermentation stage plays a fundamental role in the quality of the cocoa bean. Therefore, the purpose of this article is to analyze the different fermentation methods and their impact on the quality of the cocoa bean (*Theobroma cacao L.*), focusing on the different sensory aspects such as the flavor, aroma and physical characteristics of the bean. Both traditional and modern methods are addressed, including fermentation technologies with microorganisms, fruit extracts, and amide fermentation. This evolution in fermentation techniques has revolutionized the cocoa industry. Agricultural collection centers play a crucial role in evaluating control parameters during fermentation, such as temperature, °Brix and pH. These parameters, adopted and applied in various cocoa-growing regions, represent a strategy to improve the fermentation technique and achieve a final chocolate with superior sensory qualities. Sustainability and productivity are key aspects that define future improvements and practices related to cocoa bean fermentation.

Keywords: Control, sensory parameters, agricultural practices, properties, techniques.

INTRODUCCIÓN

El cacao tiene su origen en Mesoamérica hace tiempos antiguos en donde se lo veneraba las civilizaciones aztecas y mayas por el gran valor de intercambio. El árbol hoy en día es considerado de gran interés científico debido a las grandes investigaciones que se han podido desarrollar e innovación cacaotera. La existencia del árbol data hace 3000 años antes de Cristo. En donde se realizaban ceremonias religiosas, mismas que permitían el intercambio de la moneda (Alvarado et al., 2022).

A través del tiempo el cacao ha sido trascendentalmente importante en la sociedad lo cual ha permitido generar grandes rubros económicos, mismos que han sido posible debido a las características sensoriales que posee. El cacao ha dado origen a un cultivo emblemático importante. Lo que conlleva desde el cultivo hasta la producción de las tabletas de cacao, es un camino desafiante en la cadena productiva, para que la calidad del grano sea potencial dependerá los atributos sensoriales físicos que posee (Mocca, 2023).

Las metodologías de fermentación han dado avances significativos, en la actualidad se manejan métodos tecnológicos los cuales se enfocan en el desarrollo. Los métodos que se emplean ancestrales son métodos de fermentación por montones, fermentación de cajones. Mientras que los métodos tecnológicos son los que permiten controlar la fermentación, ya sea en cajas de maderas blancas. Y los fermentadores controladores son los que tienen regulaciones internas de temperatura, humedad y agitación (Castillo, 2021).

La etapa fermentativa tiene dos fases fundamentales la primera es de manera anaeróbica es decir sin presencia de oxígeno y la fermentación aeróbica donde se desarrollan tres etapas importantes, empezando con la etapa alcohólica que es aquella que permite que la almendra de cacao, dando inicio a la fermentación y transformando del cotiledón de la almendra de cacao, esta etapa se da de manera totalmente anaeróbica en donde no existe presencia de oxígeno ni luz.

La etapa acética es aquella que permite la desnaturalización de todos los azúcares, enzimas, levaduras y microorganismos presentes en el mucilago o pulpa de cacao, la etapa oxidativa permite que la almendra de cacao se torne de color marrón y dando paso a finalización de la fermentación (Morales et al., 2012).

En la actualidad existen diferentes métodos de fermentación que permiten que se produzcan los precursores de olor, aromas y sabor. Además, estos influyen en la textura y el color y apariencia del grano. Son diferentes los métodos y metodologías que se han implementado aplicando diferentes microorganismos, enzimas y levaduras directamente en las etapas fermentativas de cacao. Existen productores y procesadores de cacao que implementan técnicas de mejoras de la fermentación, Ya que han determinado que existen mejores rendimientos en aplicación durante la etapa fermentativa y calidad sensorial (Freire & Díaz, 2022).

El presente artículo de revisión pretende indagar métodos de fermentación y metodología que han permitido que el grano adopte mejores características sensoriales y fisicoquímicas, además de obtener mayores cantidades de rendimiento. Debido a que en la actualidad es una gran estrategia la aplicación de consorcio microbiano, levaduras, enzimas. Los parámetros de control durante el período fermentativo es pH, °brix y temperatura. Las remociones óptimas también son un parámetro de control que debe ser necesario de 2 a 3 remociones al día con el objetivo de mejorar la cantidad de drenaje durante el periodo de fermentación previo al secado (Nicasio et al., 2019). Las investigaciones más recientes avalan que los métodos fermentativos han tenido diferentes avances tecnológicos, los cuales permiten la innovación en diferentes métodos, generando un panorama intenso de producción de cacao, procesamiento y transformación.

Estas diferentes prácticas agrícolas han permitido inducirse en la sostenibilidad abordando un tema de interés evitando los impactos ambientales (Teneda, 2018). El presente artículo de revisión pretende consolidar los diferentes métodos de fermentación que existe, abarcando una gran frontera investigativa. Haciendo un indicador de relación para la mejora continua de los granos de cacao, considerando que en la actualidad este es. Campo de interés a nivel mundial, el cual ha permitido reconocer la historia del cacao y de la misma manera producir innovación y evolución en el campo cacaotero y trazando un futuro extraordinario del mismo (Haro, 2021).

METODOLOGÍA

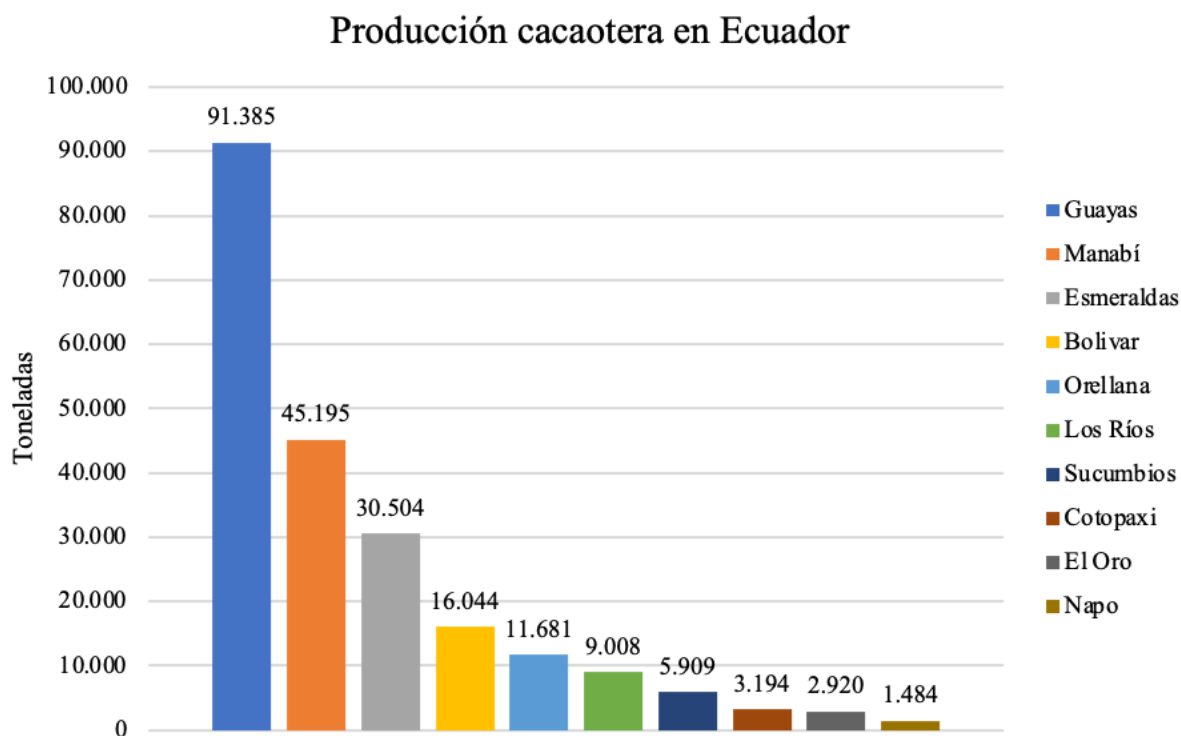
Este presente estudio revisión. Se realizó examinando diversas fuentes bibliográficas. Relacionadas con el tema métodos de fermentación y su incidencia en la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*), existen diferentes métodos de fermentación de aplicación durante la etapa fermentativa y a su vez reconocer las diferentes metodologías fermentativas que se han venido aplicando hasta la actualidad dando origen a diferentes investigaciones reconociendo los métodos ancestrales y tradicionales. Dicha información fue tomada de los últimos años a fin con el tema de investigación, además de asegurar la originalidad y confianza, las fuentes fueron citadas de artículos científicos indexadas en revistas de alto impacto científico.

RESULTADOS

Antecedentes de la fermentación

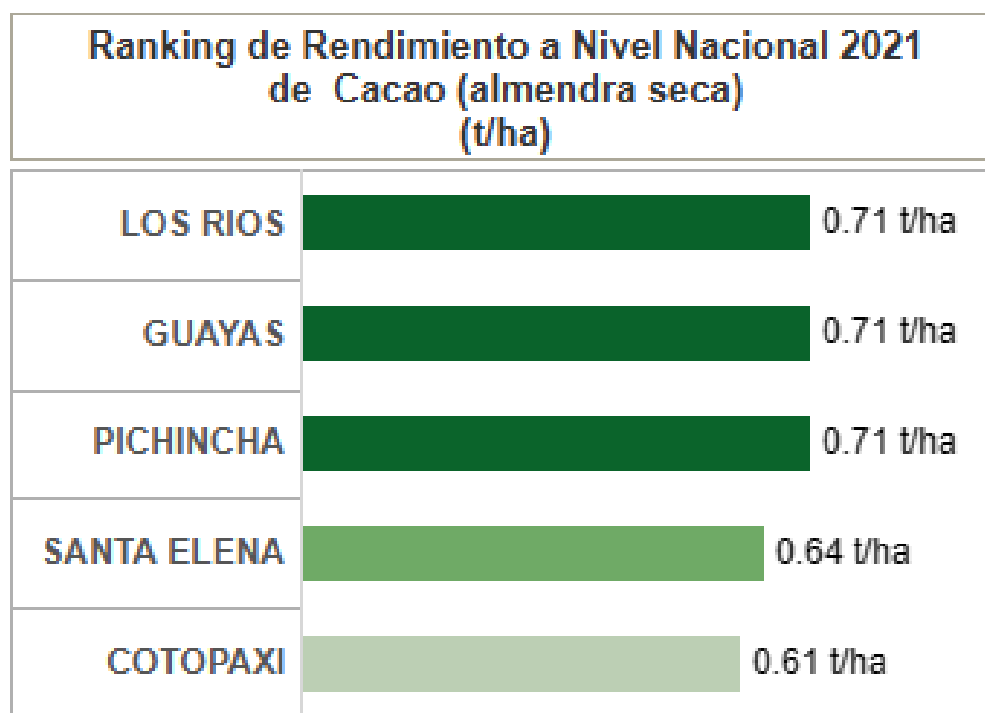
En el Ecuador se produce que acabo de excelentes características sensuales, lo cual a nivel mundial lo hace altamente reconocido. La producción de cacao ha sido generadora de ingresos de muchas familias agricultoras y productoras de diferentes zonas como los Ríos, Guayas, El Oro, Manabí y Esmeraldas. En la actualidad, debido a las exigencias de las características para la exportación, se ha dado diferentes investigaciones científicas. Para tratar de remediar el problema que incurre en el momento de la fermentación (Alvarado et al., 2024).

Costa de Marfil es uno de los países con mayor porcentaje de exportación aportando el 75% de la producción mundial en cacao arriba fino de aroma, de la misma manera Ecuador ocupando el tercer puesto a nivel mundial de exportador el año 2020, cuya plantación fue aproximadamente de 600.000 hectáreas y la producción de 350.000 toneladas (Maldonado, 2021).



Grafica 1: Producción cacaotera del ecuador. Fuente: (Perea et al., 2022).

Según los datos del Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA), con respecto al comercio exterior, tuvo en exportación \$940'043.597, con un peso de exportación de 359,486t, la producción nacional del 2021 en almendras secas de cacao 302,094t (SIPA, 2021).



Grafica 2: Ranking del rendimiento de almendra seca de cacao. Fuente: Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA, 2021).

Nota: La provincia de los Ríos posee la mayor parte productiva con un total de producción 83,677t, cuya superficie cosecha es 117,930 ha, y su rendimiento es 0,71 t/ha, seguido está Guayas con una producción de 72,325t, su superficie cosechada es 101,949 ha, y su rendimiento es 0,71 t/ha, el tercer puesto lo ocupa Pichincha con una producción de 6,416 t, la superficie cosechada fue de 9,059 ha, y su rendimiento es 0,71 t/ha.

En las últimas décadas el cacao ha tenido una gran evolución en la fermentación, ya que las investigaciones científicas avalan que todos los parámetros de calidad se desarrollan en esta etapa. Por tal razón se reconoce que la fermentación del cacao tiene mucho hincapié a través del tiempo en la civilización mesoamericana. La trascendencia de los mayas y aztecas, quienes fueron los primeros en establecer los cultivos de cacao (Troncoso, 2022). Existen diferentes investigaciones que en la actualidad buscan remediar la fermentación para que sea más eficiente, por lo cual aplican bacterias o levaduras nativas que permitan el acondicionamiento y que actúen directamente en la etapa fermentativa, eliminando por completo los compuestos fenólicos (Abad et al., 2019).

Por otra parte, las bacterias resultan ser apropiadas en la etapa postcosecha, directamente aplicado a las almendras de cacao puesto a que las bacterias o microorganismo actúan como un transformador de materia convirtiendo en la fase fermentativa, ya que existen tres fases, el primer evento es la fase alcohólica en donde se da de manera (anaeróbica), seguido de esto empieza la fase acética en donde se da un giro al alcohol se produce etanol mismo también conocido ácido acético, esta manera de realizarlo en presencia de aire (aeróbica), mientras que, automáticamente inicia la etapa oxidativa este evento es el responsable de transformar del grano de cacao tornado las almendras de cacao a un color marrón, alcanzando una temperatura entre 48 a 50°C (Oussou et al., 2022).

Fase de Post – cosecha.

La cosecha es entre un rango de recolección del fruto cada 15 días cuando inicia posterior al pico de producción cacaotera, es de vital importancia verificar las parcelas de cacao, de modo de minimizar las mazorcas que presenten daños físicos (Álvarez et al., 2022).

Fase fermentativa.

El proceso se realiza de diferentes maneras, tradicionalmente existen varios métodos de fermentación, entre estas las más conocidas están en las cajas apiladas, por montón, sacos de yute, sacos de látex y tambor giratorio, los periodos de fermentación pueden ser hasta 7 días, dependiendo de la variedad del cacao (Jara & Rodríguez, 2022).

Norma 176/2018.

En la normativa INEN se encuentra establecido los lineamientos de cómo realizar prueba de corte, testa y cotiledón, índice de semilla y las cantidades requeridas para realizar cada proceso además de que se observa cómo clasificar el cacao por la calidad del lote como cacao arriba o cacao fino que es el mejor para exportar y procesar subproductos a partir de almendras de cacao (INEN, 2018).

Requisitos	Cacao Fino			Cacao CCN51		Método de Ensayo
	A.S.S. S	A.S. S	A.S. E	C.S. S	C.S.C	
Humedad, máx %*	7	7	7	7	7	NTE INEN- ISO 2291
Peso de 100 granos, g (>)	130	120-130	100-120	125	110-125	a
Granos fermentados min, %	75	65	53	68	55	NTE INEN- ISO 1114
Granos violetas, máx %	15	21	25	18	26	NTE INEN- ISO 1114
Granos pizarrosos, máx %	9	12	18	12	15	NTE INEN- ISO 1114
Granos mohosos, máx %	1	2	4	2	4	NTE INEN- ISO 1114
TOTALES (análisis sobre 100 granos) min	100	100	100	100	100	
Granos defectuosos máx %	0	1	3	1	3	b
Material relacionado al cacao, máx %	1	1	1	1	1	b
Material extraño máx %	0	0	0	0	0	b
El porcentaje simboliza a la notación 0.01 esta significa la fracción másica. a La masa debe ser medida por un instrumento de peso. b Una muestra de 500 gramos de almendras de cacao.						

Tabla 1: Clasificación de las habas de cacao (Prueba de Corte). Fuente: NTE (INEN, 2018).

Análisis visual o prueba de corte

Una vez fermentadas las almendras de cacao, se realiza un análisis rápido que se puede realizar mediante el método de cuartil identificando cuál fue el grado fermentativo, además, se puede identificar el grado de humedad, peso de grano, tamaños de los granos, índice de testa y cotiledón (Sánchez et al., 2020).

Calidad sensorial de las almendras de cacao

La calidad sensorial de las almendras de cacao se las puede determinar al momento de la prueba de corte debido a que expenden un aroma intenso y agradable similar a un chocolate, pese a no haber sido procesado posteriormente a determinar la calidad y haber realizado la prueba de corte se realiza el respectivo proceso para obtener un subproducto a partir del mismo (Pangan, 2022).

Discusión

Es el cacao es una de las materias primas con mayor trascendencia en el mundo entero, la calidad depende plenamente de los métodos de fermentación. Los cuales se han venido revolucionando a través del tiempo, influyendo directamente en la calidad organoléptica del grano. Por lo tanto, existen diferentes vías alternas que permiten repotenciar la calidad del grano en general.

Los investigadores, Graziani et al., (2012) indican que las funciones durante el periodo de fermentación inciden en la atracción que se le da a la masa fermentativa lo cual hace el desarrollo de los diferentes microorganismos naturales que existen durante la fermentación, adicional a esto se agrega que las remociones permiten el acondicionamiento de diferentes factores iniciales como lo es la temperatura, pH y los °Brix. Y por último, después del tiempo fermentativo la muerte del cotiledón, es decir, que ha alcanzado una buena fermentación.

Diferentes investigadores, Shilthon et al., (2018), mencionan que durante la fermentación se deben desarrollar un pH que va desde 3,5 hasta 5,5 en diferentes variedades de cacao como lo es Nacional, trinitario, forastero. Lo cual permite desarrollar diferentes precursores de aromas, sabor, olor (Bravo et al., 2022).

Según los autores Alvarado et al., (2022), en la investigación realizada aplicando levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y enzimas (polifenol oxidasa PPO's), durante el periodo fermentativo obtuvieron resultados significativos en la calidad del grano de cacao, alcanzando el 85% de granos bien fermentados, mientras que los testigos donde no existió aplicación solo existieron 50% de granos bien fermentados, esta estrategia de fermentación es viable para potenciar la fermentación.

Por otra parte, Vera et al., (2022), utilizaron diferentes cantidades de *Rhizobium japonicum*, (0,3 y 5%) directamente en la masa fermentativa, alcanzando una cantidad promedio de 78% de granos bien fermentados a comparación de los testigos que no se indujo solo se alcanzó el 54% de granos fermentados. Dicha investigación permitió encontrar características sensoriales que generaron gran interés entre los catadores, las notas florales, nuez, y frutos secos predominaron en la presente investigación.

Núñez et al.,(2021), menciona que durante la fermentación inicial los grados Brix pueden estar entre 22 y llegar a 5 °Brix lo cual indica que existió una correcta fermentación. Según Cubillos et al., (2019), corrobora que los grados Brix deben ser descendentes para conseguir precursores de sabor de calidad.

Dávila, (2019), la utilización de diferentes microorganismos durante la etapa fermentativa al aumento de temperatura esto permite que las diferentes levaduras y enzimas se activen y puedan interactuar durante la fermentación alcanzándose una temperatura de 40 a 50°C lo cual permite que no exista una sobre fermentación según (Vasquez et al., 2022), en la investigación realizada indica que la fermentación tiene valores referenciales alcanzando diferentes temperaturas entre 45° Celsius mientras que (Morejon et al., 2022), dichos investigadores indican que la temperatura fue superior a 49 ° Celsius. A su vez, menciona que una baja temperatura va a determinar que la calidad del grano sea. De mala paso a granos violetas bizarros, inclusive mohosos.

CONCLUSIONES

La variedad de cacao está influida por las diferentes características climáticas y la zona geográfica, Desde la antigüedad se creía que dependiendo la variedad de cacao iba a tener mayores características sensoriales, pero en la actualidad debido a las diferentes metodologías de aplicación durante El período de fermentación en donde en la actualidad se aplica enzimas, levaduras y microorganismos que permiten en el acondicionamiento de la masa fermentativa acortando.

Acortando tiempo fermentativos y potenciando los diferentes precursores sensoriales, No obstante, el método de fermentación también influye en la calidad. Por lo tanto, en el presente artículo de revisión se indagó los diferentes métodos de fermentación, determinando que las cajas de madera permiten obtener mayores rendimientos.

El control de la fermentación es determinante en los precursores de aroma sabor y olor, Bajo la incidencia del control de la temperatura, °Brix y pH. Da paso a obtener granos de cacao, notas y perfiles sensoriales más equilibrados y exquisitos, en esta etapa se produce las reacciones físicas y bioquímicas debido a que el control de la fermentación permite que se interaccionen de mejor manera todos compuestos presentes en la fermentación. Lo cual permite que los compuestos aromáticos se potencien y se alcance mayor calidad en el grano. En el mismo sentido, una deficiente fermentación corta la calidad del grano de cacao, alterando la calidad sensorial.

REFERENCIAS

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2019). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. Estudios de la Gestión. *Revista Internacional de Administración*, 7(7), 59-83. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.7.3>
- Alvarado, K., Rivadeneira, C., & Intriago, F. (2024). Utilización de extracto natural del Muicle (*Justicia spicigera*) en la elaboración de chocolate a partir de dos variedades de cacao (*Theobroma bicolor* Humb . & Bonpl . y *Theobroma cacao* L .) Use of natural extract of Muicle (*Justicia spicigera*) in the. 4(1), 1-19. <https://doi.org/10.51252/raa.v4i1.6>
- Alvarado, K., Vera, J., Tuarez, D., & Intriago, F. (2022). Fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) con adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y enzima (PPO's) en la disminución de metales pesados. Centrosur, 2014.
- Álvarez, Liconte, N., Pérez, E., Lares, M., & Perozo, J. (2022). Revisión sobre los atributos físicos , químicos y sensoriales como indicadores de la calidad comercial del cacao. *Revista Crítica Transdisciplinar*, 5(1), 12-25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6548316>
- Bravo, K., Muñoz, K., Calderón, J., & Osorio, E. (2022). Desarrollo de un método para la extracción de polifenoles oxidasa de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) y aislamiento por sistema bifásicos acuosos. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 18(2), 124-132.
- Castillo, J. (2021). Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentacion de cacao criollo blanco de Piura.
- Cubillos, A., García, M., Calvo, A., Carvajal, G., & Tarazana, M. (2019). Study of the physical and chemical changes during the maturation of three cocoa clones , EET8 , CCN51 , and ICS60 Andrés F Cubillos Bojacá , a María C García Muñoz , b * Ana M Calvo. Research Article, 1(2), 8. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9882>
- Dávila, E. (2019). Uso de enmiendas en la reducción del contenido de cadmio en el suelo y en los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn-51. UNiversidad Nacional Agraria De La Selva.
- Freire, D., & Díaz, D. (2022). Método de fermentación y secado para el beneficio de la obtención del chocolate blanco a partir del cacao criollo (*Theobroma cacao* L.), ecuatoriano. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 323-329.
- Graziani, L., Ortiz de Bertorelli, L., Angulo, J., & Parra, P. (2012). Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario. *Agronomía Tropical*, 52(3), 1-9. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300006
- Haro, R. (2021). Evaluación de un coctel microbiano utilizado como cultivo iniciador en la fermentación de grano de cacao (*Theobroma cacao*) variedad nacional.

INEN. (2018). Granos de cacao. Requisitos NTE INEN 176-5. Norma Técnica Ecuatoriana, 5, 8.

Jara, J., & Rodríguez, L. (2022). *Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (Theobroma cacao L .)*. Agrotec. amaz., 2(1), 1-10.

Maldonado, P. (2021). LA COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD EN LAS EXPORTACIONES DE CACAO. UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CASOS DE ECUADOR Y COSTA DE MARFIL. June. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13702.50242>

Mocca. (2023). Cosecha, fermentación y secado del cacao. Cacaomovil, 3(1), 1-55.

Morales, W., Vallejo, C., Sinche, P., Torres, Y., Vera, J., & Anzules, E. (2012). Mejoramiento de las características físico-químicas y sensoriales del cacao CCN51 a través de la adición de una enzima y levadura durante el proceso de fermentación. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología, 5(2), 169-181.

Morejon, R., Vera, J., Salgada, I., Flores, C., & Morejón, M. (2022). *Use of enzymes and leavening agents as a strategy to reduce the presence of cadmium in the fermentation process of Theobroma cacao L. almonds*. Journal of Pharmaceutical Negative Results, 13(3), 604-614. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.03.089>

Nicasio, J., Guerrero, Q., Miguel, R., Batista, G., & Herrera, S. (2019). *Automatización de un sistema de fermentación de almendra de cacao (Theobroma cacao L.) para pequeños productores*. Index, 7(2), 9.

Núñez, J. M., Bahamón-Monje, A. F., & García-Rincón, P. A. (2021). Características físicoquímicas y sensoriales de almendras fermentadas de cacao nacional (*Theobroma Cacao L.*) con adición de probióticos en el centro de investigaciones amazónicas, Cimaz Macagual (Caquetá, Colombia). *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 23(2), e21210885. <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i2.10885>

Oussou, K., Guclu, G., Kelebek, H., & Selli, S. (2022). *Ivorian cacao (Theobroma cacao) beans : The quality of Ivorian cacao (Theobroma cacao) beans* OPEN ACCESS. Codon, 14(4), 23-35. <https://doi.org/10.15586/qas.v14i4.1078>

Pangan, M. (2022). *Perfiles de fermentación para el mejoramiento de la calidad del cacao (Theobroma cacao L .) de la Ecorregión de Lachuá , Cobán , Alta Verapaz*. Centro Universitario del norte, 1(2), 18.

Perea, Vélez, A., Castro, F., Bunn, C., Vazquez, J. L., Santos, A., Chávez, E., & Charry, A. (2022). Impactos en la cadena de valor del cacao en Ecuador como consecuencia del Reglamento (UE) No. 488/2014. Clima-loc, 1(488), 80.

Sánchez, M., Vargas, Y., Burbano, R., Calero, A., & Ramírez, C. (2020). *Evaluación del grano de cacao (Theobroma cacao l.), usando dos fermentadores, provincias Orellana y Sucumbíos, Ecuador*. Green World Journal Artículo, 3(1), 1-9.

Shilthon, C., Florida, N., & Gómez, R. (2018). *EL pH Y LA ABSORCIÓN DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO ORGÁNICO (Theobroma cacao L .) EN LEONCIO PRADO , THE pH AND ABSORPTION OF CADMIUM IN ALMONDS OF ORGANIC COCOA (Theobroma cacao L .), IN LEONCIO PRADO ,. Folia Amazónica, 27(1), 1-8.* <https://doi.org/https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.458>

SIPA. (2021). FICHA DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L .).

Teneda, W. (2018). *Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao (Theobroma cacao L.) Variedad Nacional y Variedad CCN51.* Universidad Internacional de Andalucía, 140.

Troncoso, L. (2022). Diseño de tanque y método de medición para determinar la calidad en diferentes métodos de fermentación del cacao.

Vasquez, L., Vera, J., Erazo, C., & Intriago, F. (2022). *Induction of rhizobium japonicum in the fermentative mass of two varieties of cacao (Theobroma Cacao L .) as a strategy for the decrease of cadmium.* *International Journal of Health Sciences*, 6(3), 18. <https://doi.org/http://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672>

Vera,J., Intriago,F., Vásquez,L., & Alvarado,K. (2022). Inducción anaeróbica de bradyrhizobium japonicum en la postcosecha de híbridos experimentales de cacao y su mejoramiento en la calidad fermentativa. *Journal of Science and Research*, 7(2), 50-69. <https://doi.org/https://zenodo.org/record/7723254>

Enfoque Interdisciplinario de aplicación de Tecnologías Emergentes en el cultivo del Tomate.

*Interdisciplinary approach to the application of
emerging technologies in tomato cultivation.*

CARLOS MARIO CORREA TORRES ¹

JORGE ANDRÉS HENAO MUÑOZ ²

EDWIN BUSTAMANTE MARÍN ³

¹ Dinamizador SENNOVA Centro del Diseño y la Manufactura del Cuero,

² Instructor SENA Centro Textil y de Gestión Industrial

³ Instructor Centro del Diseño y la Manufactura del Cuero.

RESUMEN

El trabajo presenta la integración de diferentes tecnologías emergentes para mejorar la gestión en los procesos de cultivos de tomate a través del desarrollo de una aplicación Web. Con la implementación de plataformas de Internet de las cosas (IoT), el manejo de sistemas embebidos y sensores de variables ambientales de bajo coste para su monitoreo, almacenamiento y análisis de datos, incluso en áreas con infraestructura energética y de comunicaciones limitada. El apoyo en los recursos de la inteligencia artificial (IA) para el reconocimiento de enfermedades en estos cultivos por medio del análisis de imágenes, que facilitan y sustentan una gestión temprana y eficiente de plagas y enfermedades. Igualmente, con los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLMs) para desarrollar sistemas expertos que interactúan con los agricultores a través de plataformas conversacionales para consulta, se incluyen en este desarrollo características de multimodalidad que mejoran la experiencia de usuario, permitiendo una interacción sencilla con la aplicación y la posibilidad de su proyección y potenciación de los procesos en situaciones homólogas.

Palabras clave: Agricultura, inteligencia Artificial IA, recursos digitales, tecnologías emergentes, cultivo de tomate.

ABSTRACT

The work presents the integration of different emerging technologies to improve tomato crop management through the development of a web application. With the implementation of Internet of Things (IoT) platforms, embedded systems, and low-cost environmental sensors for monitoring, storing, and analyzing data, even in areas with limited energy and communication infrastructure. The support from artificial intelligence (AI) resources for disease recognition in these crops through image analysis, which facilitates and sustains early and efficient management of pests and diseases. Similarly, with large language models (LLMs) to develop expert systems that interact with farmers through conversational platforms for consultation. This development includes multimodal features that enhance the user experience, allowing for simple interaction with the application and the possibility of projecting and enhancing processes in similar situations.

Keywords: Artificial Intelligence IA, digital resources, emerging technologies, tomato crop.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es eje fundamental para la supervivencia y desarrollo de toda comunidad porque que a través de ésta se sostiene la vida y se contribuye al desarrollo económico. El agro se enfrenta continuamente con desafíos crecientes como son la escasez de recursos, el cambio climático, la necesidad y obligatoriedad de aumentar la producción para disminuir problemas como la inseguridad alimentaria como bien lo exponen Sivakumar, Ganesan y Ragavi (2021); en muchos países de nuestra región, incluyendo a Colombia, este tópico significa una gran problemática. Para responder a estos desafíos de manera pertinente se ha generado un creciente interés en la aplicación de tecnologías de vanguardia para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en esta industria. El uso de dichos avances científicos y tecnológicos es discutido por Liu, Ma, Shu, Hancke y Abu-Mahfouz (2021) quienes abordan la necesidad de la transición de industria 4.0 a la Agricultura 4.0, destacando el estado actual, las tecnologías habilitadoras y los desafíos de investigación en este campo específico.

En diferentes industrias, incluyendo por supuesto la agrícola, los datos se han convertido en un activo de gran valor, y el adecuado uso de estos permite, mediante el manejo de diferentes herramientas, la creación e innovaciones en el desarrollo de aplicaciones diversas para dar soluciones tecnológicas inteligentes en el mejoramiento y optimización de la eficiencia y productividad. Ahí radica el plus y se evidencia la importancia de la Internet de las cosas, un habilitador que permite la generación e intercambio de grandes volúmenes de datos que pueden ser consumidos por infraestructuras de redes en sistemas de monitoreo, control y análisis, consiguiendo que se tomen decisiones más informadas y rápidas, inclusive sin intermediación humana, se cumple el principio de reducción de tiempos, movimientos y recursos en la optimización de procesos y productos mejorando el espacio de respuesta-

- en cultivos donde las respuestas se retardan con consecuencias negativas como en el caso de heladas e inundaciones. Para ejemplificar lo anterior es sano remitirse a Binayao et al. (2024), quienes demuestran una de estas aplicaciones en sistemas de riego consiguiendo optimizar el uso del agua.

El aprendizaje de máquina, en tanto, posibilita el entrenamiento e implementación de diferentes sistemas que permiten automatizar tareas del campo integrando sistemas de IoT y que serán cada vez más eficientes cuando se integren a un sistema de inteligencia artificial general (AGI) como lo exponen Dou et al. (2023); técnicas para la estimación o predicción de eventos igualmente, son propuestas en Madhuri (2022). En coherencia, se infiere que posibilita anticiparse a eventos adversos. Técnicas de visión artificial permiten el reconocimiento de enfermedades en cultivos, y éste es uno de los aspectos clave en la gestión agrícola, porque las plagas y enfermedades pueden causar pérdidas significativas de rendimiento y calidad, diferentes técnicas para la detección de enfermedades en hojas son presentadas por Yao et al. (2023). En este sentido, diversos estudios han demostrado la eficacia de los sistemas de IA en el reconocimiento temprano y la intervención pertinente para menguar o erradicar las enfermedades en cultivos mediante el análisis de imágenes.

Igualmente, la accesibilidad a la información de personal especializado o con experiencia presenta retos, bien porque no se tengan los recursos económicos o logísticos, la ausencia de sistematización de esta información o la dificultad de la interacción y manejo con interfaces computacionales o sistemas digitales complejos.

En este contexto, el aprendizaje profundo, con las nuevas herramientas como los modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) han demostrado ser ventajosos en el desarrollo de sistemas expertos con el uso de técnicas como generación aumentada de recuperación (RAG), porque han mostrado resultados positivos como se evidencia en Silva et al. (2023). El desarrollo de este tipo de soluciones puede permitir a los agricultores el acceso a conocimiento especializado apoyándose en documentación técnica a través de plataformas conversacionales que usan lenguaje natural para su interacción, proporcionando asesoramiento y apoyo en la toma de decisiones de manera pertinente.

En coherencia con los postulados anteriores, este trabajo propone una aplicación que combina el uso de estas tecnologías de vanguardia para dar apoyo a los agricultores en el cultivo de tomate, y éste mismo, puede mapearse y homologarse para potenciarse en otros cultivos, presentándolas en una aplicación Web, aprovechando el uso de plataformas en la nube de uso libre. Se aborda igualmente, en este desarrollo, la integración de características multimodales, que combinan diferentes formas de entrada y salida de información, como texto y voz buscando mejorar la experiencia de los usuarios para generar así, mayor y mejor adopción de estas nuevas tecnologías y su eficaz aprovechamiento.

CULTIVO DE TOMATE

El Tomate es un cultivo transitorio cuyo ciclo está determinado por su multiplicidad y las variables climáticas en las cuales se desarrolla. Puede afirmarse que, bajo invernadero el tiempo transcurrido hasta la apertura de la primera flor, de la primera inflorescencia, depende de la luz solar y suele estar entre cuarenta y cincuenta (40 y 50) días después de la siembra de la semilla. La floración, por otro lado, está determinada principalmente por la temperatura, son las temperaturas diurnas más importantes que las nocturnas en la promoción del desarrollo de las flores.

Cuando la flor ha alcanzado un completo desarrollo se produce la fecundación del fruto como consecuencia de la polinización. El tiempo requerido desde el cuajamiento del fruto hasta que se desarrolla un fruto maduro oscila entre siete y nueve (7 y 9) semanas, en función de la variedad, la posición en el racimo y las condiciones ambientales como lo describen Cooman et al (2009). Bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa es fácilmente apreciable un mayor rendimiento en cuanto al tamaño final de fruto y con menor tiempo requerido para obtención del mismo; en Colombia se ha incrementado en las dos últimas décadas la producción de Tomate bajo condiciones controladas. Lo anterior ha logrado un rendimiento de cuarenta (40) toneladas por hectáreas en libre exposición; y, en más de ciento cuarenta (140) toneladas bajo invernadero. Acosta et al (2023). Los rendimientos con este sistema de producción han mejorado; cotejados los uno punto cinco con los dos (1,5 y 2) kilogramos por planta obtenidos en campo abierto frente a los cinco y ocho (5 y 8) kilogramos por planta en invernadero; se incrementó la productividad hasta en un trescientos por ciento (300%) por planta según el registro DANE-ENA (2019).

El tomate representa uno de los principales cultivos de la agricultura nacional. En veinte y uno (21) de los treinta y dos (32) departamentos colombianos se suma una superficie de siembra de más de nueve mil (9.000) hectáreas. Amerita reconocer su vulnerabilidad en padecer de enfermedades y plagas que limitan su productividad. Acosta et al (2023). Colombia ha logrado un promedio de producción de sesenta y dos punto tres (62,3) toneladas por hectárea. Los departamentos más productivos de tomate son Boyacá, Caldas, Cundinamarca y Risaralda; sin embargo, un limitante siempre ha sido la presencia de patógenos que afectan su crecimiento. Acosta et al (2023)

Enfermedades en cultivo del Tomate

Una de las enfermedades más común que afecta el cultivo del tomate es el Tizón Tardío o Mildiu causada por el hongo (*Phytophthora infestans* L). Éste se desarrolla favorablemente en temperaturas bajas entre quince y veintiún (15 y 21°C) grados centígrados y, con alto grado de humedad. Ésta puede darse hasta en un noventa por ciento de humedad relativa (90% HR.) Piaun (2021). La presencia de una pelusilla blanquecina en el envés de las hojas es un signo de la enfermedad en la planta y puede afectar las partes vegetativas y reproductivas de la planta. Piaun (2021). Además, las pérdidas causadas por este hongo en el cultivo de tomate pueden oscilar entre el cuarenta y uno y el ciento por ciento (41 y el 100%) en campo abierto y sin aplicación de fungicidas; así mismo, del doce al sesenta y cinco por ciento (12 al 65%) en condiciones controladas con la aplicación de fungicidas sistémicos. Piaun (2021), Los síntomas que se desarrollan en la planta, hace que los tallos se debiliten y colapsen. Estas lesiones pueden ser directas o indirectas a través de las hojas, pecíolos y los tallos.

En referencia a las hojas, las primeras lesiones frecuentemente se presentan en las hojas inferiores y cuya lesión se inicia en el ápice o punta y los bordes de las hojas; en éstas aparecen manchas de color verde claro y luego color verde oscuro. Sobre el fruto las manchas son de un color oliva al inicio y, después toma tonalidades marrones hasta que todo el fruto es invadido por la enfermedad y se genera la inviabilidad del cultivo.

Medición de variables ambientales

En términos generales puede afirmarse que el tomate crece y se desarrolla en condiciones climáticas de variadas temperaturas y humedad relativa. Esencialmente, estas condiciones son objeto de estudio del presente artículo para ofrecer con objetividad la definición de la instrumentación para el sistema de toma de datos de variables ambientales de temperatura y humedad.

Para el desarrollo óptimo del cultivo, la temperatura cumple papel importante. Si éstas oscilan entre los veintiocho a treinta grados centígrados (28 - 30 °C) durante el día y en la noche entre los quince a los diez y ocho grados centígrados (15-18°C), se favorece la floración y el cuajado de frutos. Si los rangos durante el día superan los treinta y cinco grados centígrados (35°C) se puede afectar directamente los frutos. Las temperaturas por debajo de los diez y ocho grados centígrados (18°C) afectan la formación de las flores y con temperaturas superiores a los treinta y cinco grados centígrados (35°C), las estructuras reproductivas son afectadas. Piaun (2021). Temperaturas menores a los quince grados centígrados (15°C) son una condición favorable para el crecimiento de la enfermedad.

Lo atinente a la Humedad Relativa juega un papel indispensable en la producción del tomate riñón. Cooman et all (2009), menciona que la humedad relativa inferior a cincuenta grados centígrados (50%) es inconveniente. En la fenología del cultivo de la planta de tomate riñón (Cooman, 2009), se infiere que la planta expulsa hacia la atmósfera el agua en forma de vapor lo cual puede marchitar y favorecer el desarrollo de enfermedades como el Oídium (*Uncinula necator* spp). Así mismo, valores muy altos pueden reducir la absorción del agua y los nutrientes y ocasionar déficit de elementos como el calcio, generando desórdenes fisiológicos. En coherencia con los registros anteriores, la humedad óptima para el tomate riñón oscila entre sesenta a setenta por ciento (60-70%); en este rango el cultivo tiene excelente desarrollo lo cual garantiza su producción y rendimiento.

III - APLICACIÓN

Con este trabajo se demuestra el desarrollo de una aplicación que integra el uso de varias tecnologías habilitadoras, implementada en plataformas de código abierto, uso gratuito y sencillo, en el contexto del cultivo de tomate. La aplicación permite la selección y navegación en páginas que ofrecen funcionalidades para apoyar el trabajo del agricultor. A continuación, se describe la funcionalidad de cada una de ellas y la tecnología involucrada.



Grafica 1: Página de Inicio de la aplicación.

Internet de las cosas.

La presente subpágina, sirve para la validación del prototipo, porque explica cómo se monitorean remotamente, en tiempo real, con sensores de temperatura y humedad con electrónica de bajo coste; también se considera un escenario que carece de infraestructura energética y de comunicaciones para plantear un sistema que permita registrar datos de temperatura y humedad para luego procesarlos. Dado el escenario de la posibilidad de conectividad, tanto eléctrica como de comunicaciones, se presenta un sistema de telemetría y análisis de datos basado en un proyecto para la creación de Huertas Urbanas y realizado en el HUB (Centro de innovación y emprendimiento) del SENA Regional Antioquia.

Aquí se evaluaron plataformas de Hardware y Software para analizar la posibilidad de implementación de huertas urbanas digitalizadas y con bajo coste. La Figura 2 Muestra la interfaz para la interacción con los dos sistemas propuestos: 1. Monitoreo y análisis remoto y 2. Análisis de datos con datos a partir de un registro de los mismos.

Monitoreo y Análisis de datos.

Monitoreo y análisis Remoto.

Monitorea en tiempo real las variables de temperatura y Humedad Relativa de tu sistema remoto, usa el enlace.



[Monitoreo y Análisis de datos](#)

Monitoreo y Análisis Local.

Carga aquí los datos obtenidos del sistema de toma de datos local.

Cargue el archivo con los datos.

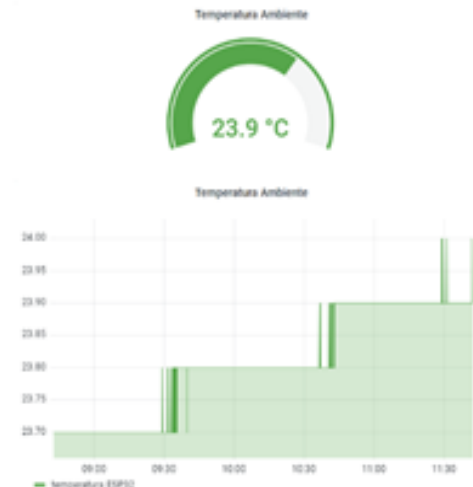


Grafica 2: Análisis y Monitoreo de datos (IoT).

Para el sistema remoto se usa un sistema micro controlado ESP32, y el sensor de temperatura y humedad DHT22; estos dispositivos son muy populares dada su funcionalidad y los bajos precios para su adquisición. Este sistema conectado en la nube a una base de datos InfluxDB, permite el almacenamiento de los datos que luego son asociados a una plataforma de visualización como grafana. Igualmente, alojadas en la nube, estas plataformas posibilitan el prototipado rápido de soluciones de IoT. este Software puede descargarse y desplegarse en un servidor local, porque es de uso libre, sin las restricciones que tienen los servicios en sus versiones de Internet; el uso de ambas plataformas en a la nube sólo requiere de la gestión de un registro, pero limita algunas características de las aplicaciones. Las siguientes Figuras 3 y 4 muestran las visualizaciones de las variables medidas.

Monitoreo de Sensores.

Temperatura



Grafica 3: Visualización en tiempo real de temperatura.

Humedad Relativa.



Grafica 4: Visualización en tiempo real de %HR.

En el sistema pueden analizarse las variables definiendo periodos para este análisis para así obtener eventos o valores de las variables importantes que hayan ocurrido en cierto periodo y sean susceptibles de análisis.

A continuación en la Figura 5 se muestra la interfaz. Se integra en esta la opción características de análisis de datos con multimodalidad para su consulta usando la voz.

Análisis de Variables

Selecciona el espacio

Temperatura Ambiente

Selecciona el Periodo de Análisis de la variable

Hora

Consulta

Consulta Específica

Luego de realizar una consulta puedes usar este herramienta para preguntas específicas.
(que neceses estar bien consulto)

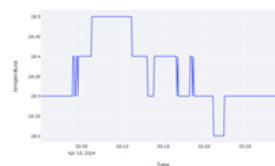
Consulta multimodal

Luego de realizar una consulta puedes usar esta herramienta cuando tu voz.

Grafica 5: Visualización de sistema de análisis de datos.

La respuesta a una consulta para la variable temperatura, se evidencia en la Figura 6 en la cual se muestra el perfil de la variable en el rango de tiempo de la consulta y sus correspondientes datos estadísticos básicos del periodo seleccionado. El uso de técnicas de IA como agentes, facilita hacer consultas más específicas que no se encuentren en el análisis básico. Lo anterior, se ejecuta en la sesión consulta específica luego de haber obtenido datos para que dicho agente opere sobre estos y basado en la información que el usuario requiere.

Perfil de temperatura



Estadísticos Básicos

Temperatura	
cantidad	23.4 (99%)
maximo	24.0 (99%)
min	22.0 (99%)
max	23.5 (99%)
25%	23.0 (99%)
50%	23.0 (99%)
75%	23.0 (99%)
max	23.5 (99%)

Max. de temperatura 24.0 en 2024-04-10 09:00:16.189432-09:00
Min. de temperatura 22.0 en 2024-04-10 09:00:16.189432-09:00

Grafica 6: Análisis de datos automático.

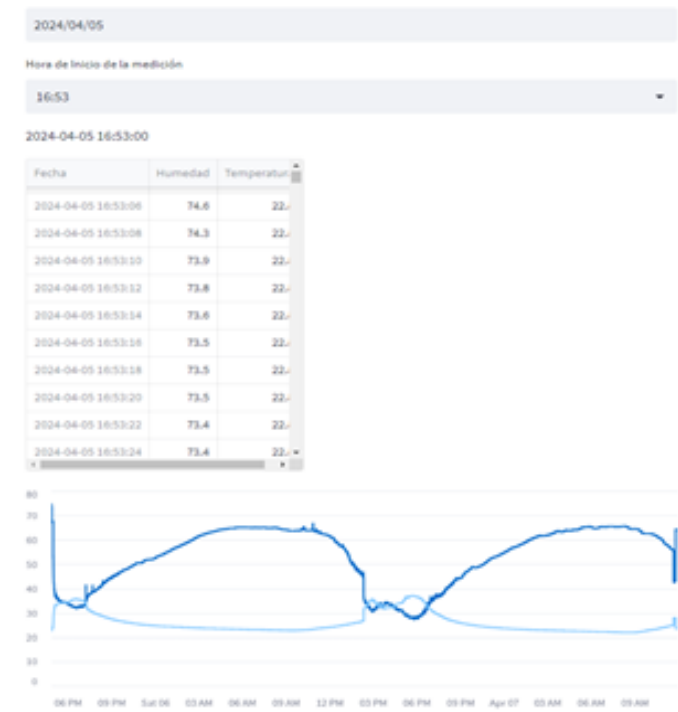
Si se carece de la infraestructura de energía y telecomunicaciones se opta por la alternativa del desarrollo de un sistema electrónico de bajo coste que permite registrar las variables ambientales. Este dispositivo alimentado con paneles solares guarda en una tarjeta de memoria los datos para posteriormente ser analizados por la aplicación. El sistema integra un microcontrolador ESP8266 y el módulo de almacenamiento SD para tarjeta de memoria; ambos elementos de muy bajo coste se muestran en la Figura 7.



Grafica 7: Página de Inicio de la aplicación.

El consumo de estos dispositivos es bajo y se optimizan en el Software con una disminución mayor; una vez instalado y energizado el usuario debe encender el dispositivo y éste se encarga, cada cierto tiempo de configurar, ejecutar el muestreo y almacenamiento de los datos. Dichos datos se almacenan en la memoria en un formato CSV para ser cargados luego en la plataforma y ser analizados sólo mediante la selección del archivo. En el momento para el prototipo sólo se hizo la observación analítica de los perfiles y la presentación básica de los datos. Amerita reconocer que es fácilmente escalable para eventos que requieran análisis más exhaustivos o de mayor profundidad.

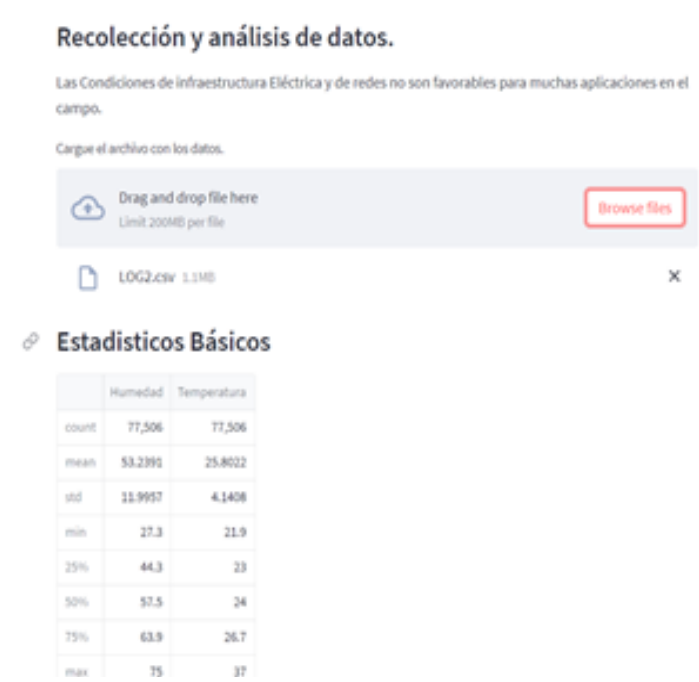
Desde la interfaz se escribe la fecha y hora desde el inicio del muestreo, esto se hace para facilitar el diseño electrónico y disminuir la complejidad del sistema eliminando la configuración y adición de un reloj de tiempo real en el circuito propuesto. En la Figura 8. Se evidencian datos que fueron obtenidos usando el sistema propuesto.



Grafica 8: Visualización y análisis básico de los datos del registrador.

El aplicativo integra una sección que permite, a través del uso de la cámara del dispositivo donde se despliegue la aplicación, la captura de una foto para el análisis correspondiente de las enfermedades con las que se entrenó el sistema, esto usando una herramienta de uso gratuito y sencillo. Se seleccionaron imágenes de hojas con septoria y otras saludables , se entrenó el sistema con la herramienta en línea teachable machine de google, que permite rápidamente obtener un modelo de reconocimiento y la posibilidad de descargarlo para ser usado en un aplicación propia, el modelo para el prototipo solo identifica las hojas con septoria o sin ella y arroja una probabilidad de acuerdo a su configuración, mas clases o tipos de imágenes y enfermedades pueden ser adicionadas sin problema en la construcción del modelo.

A continuación la Figura 9 y La Figura 10 muestran el resultado de la evaluación del modelo en la aplicación integrada usando un dispositivo móvil.



Grafica 9: Análisis de la data del registrador.



Grafica 10: Análisis a partir del sistema de visión artificial.

Es importante y significativo registrar que la cantidad de muestras de imágenes puede arrojar un modelo más robusto, y sólido y objetivo; pero ello requiere un procesamiento mayor a la hora de construirse y desplegarse, como se mencionó antes. Este modelo se expande en la nube usando plataformas de uso gratuito como Streamlit que permite el prototipado (Versión inicial del producto o servicio), de manera ágil; sin embargo, tiene limitaciones en cuanto a un procesamiento que demande grandes recursos computacionales.



Grafica 11: Análisis a partir del sistema de visión artificial.

Sistema Experto

La aplicación integra una subpágina para consulta en un contexto específico, usando técnicas de Inteligencia Artificial, en específico de aprendizaje profundo con el uso de los grandes modelos de lenguaje (LLM), porque se ha evidenciado su factible adopción dada la facilidad de interacción con los humanos mediante lenguaje natural; éste último se asocia con un sistema que maneja generación aumentada por recuperación (RAG) en el cual la salida en las respuestas de sistema proviene principalmente de una base de conocimiento definida.

En este caso, el sistema usa información que se le ha presentado respecto a la investigación sobre la enfermedad con la que se entrenó el modelo de visión computacional en el cual el sistema una vez sea consultado, pueda responder basado en el conocimiento que se le ha suministrado y luego, a través del uso de modelos de lenguaje de gran escala, puedan construir una respuesta semánticamente coherente para ser entregada al usuario. Dicha respuesta integra una funcionalidad de multimodalidad porque puede ser leída o escuchada facilitando con ello la interacción entre la aplicación y el usuario. La Figura 12 ilustra la interfaz en la cual, a partir de una pregunta, el sistema puede responder usando lenguaje natural y dicha respuesta puede ser reproducida en forma de audio.



Bienvenido!!!!...Puedes conmigo resolver dudas sobre el cultivo.

Escribe la clave.

Press Enter to apply

Hola!!, que consulta tienes?

Que es la septoria?

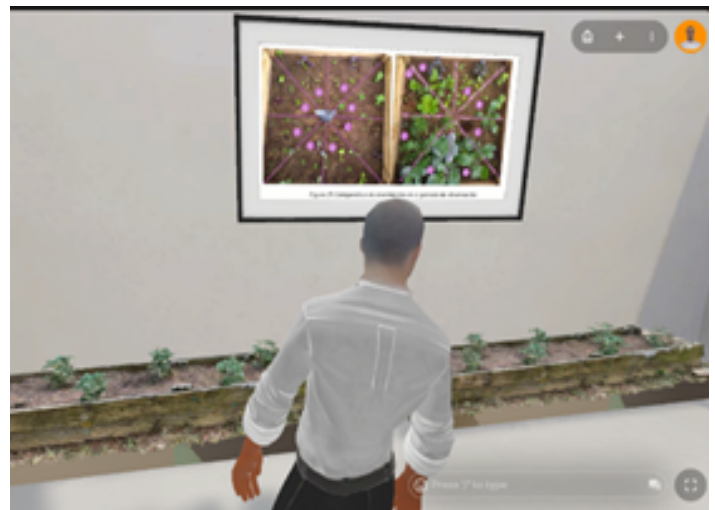
La Septoria es una enfermedad común en los tomates causada por hongos del género *Septoria*. Se manifiesta principalmente como manchas circulares de color marrón oscuro en las hojas de la planta, pero también puede afectar tallos, frutos y otras partes de la misma. Esta enfermedad puede provocar que las hojas se sequen y caigan prematuramente, impactando negativamente en la producción de frutos.

Escuchar

Grafica 12: Sistema Experto.

Integración con el Metaverso.

Como componente final se integra una página que a través de un enlace permite la navegación en un espacio virtual usando la herramienta spatial, un sitio web que permite la creación de espacios digitales, donde objetos 3D y contenidos de diferente tipo pueden ser integrados, en este espacio se ha dispuesto información sobre el desarrollo del proyecto de las huertas urbanas elaborado en el HUB de innovación regional Antioquia Figura 13. y puede ser explorado desde un navegador convencional o usando dispositivos de realidades extendidas, se adiciona este componente como propuesta para compartir información de forma interactiva e inmersiva.



Grafica 13: Espacio virtual.

CONCLUSIONES

En la elaboración y desarrollo de este trabajo, como ejercicio investigativo, se tuvo como propósito la generación de nuevos conocimientos y saberes que pueden replicarse en situaciones homólogas para el mejoramiento de las condiciones analizadas del objeto de estudio: La aplicación de los avances tecnológicos en el cultivo del tomate. Es insoslayable la aplicación del rigor científico en la sustentación de las conclusiones y ello explica el compendio de fuentes para sustentar el estado del arte con objetividad y pertinencia; así mismo, las evidencias a través de las figuras o ilustraciones para permitir la extrapolación de los resultados y la extensión del ámbito de interés. Lo anterior permite ofrecer bases sólidas que constituyen invitación para la apertura de nuevas propuestas teóricas o trabajos de campo con manejo sistematizado y seriedad científica.

Se concluye que la integración de diferentes tecnologías, facilitan y sustentan el análisis e implementación del trabajo colaborativo entre profesionales con conocimientos diversos, se evidencia que muchas de las herramientas tecnológicas pueden ser implementadas sin necesidad de grandes recursos, tanto económicos como de conocimiento y, además, su uso en el agro puede traer grandes beneficios en el sector. Como trabajo futuro, se sugiere explorar la integración de técnicas de aprendizaje de refuerzo para optimizar aún más los sistemas de toma de decisiones, incorporar análisis predictivos utilizando modelos de aprendizaje profundo para mejorar la capacidad de anticipar y mitigar los efectos del cambio climático, y expandir la aplicación a otros tipos de cultivos para validar su efectividad a mayor escala

REFERENCIAS

Acosta, N. J., Velandia, D. F., & Álvarez, M. P. (2023). Identificación de la tecnología aplicada en la agricultura para el cultivo de tomate en invernadero en Fómeque Cundinamarca para VECOL S.A. [Tesis de maestría, Universidad EAN]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/13016>

Binayao, R. P., Mantua, P. V. L., Namocatcat, H. R. M. P., Seroy, J. K. K. B., Sudaria, P. R. A. B., Gumonan, K. M. V. C., & Orozco, S. M. M. (2 de febrero de 2024). Smart Water Irrigation for Rice Farming through the Internet of Things. arXiv. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/2402.07917v1>

Cooman, A., & Escobar, H. (2007). Manual de Producción de Tomate bajo Invernadero (2da ed.). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-. (2024). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Bogotá D.C.: Colombia. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-ortema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>

Bravo, K., Muñoz, K., Calderón, J., & Osorio, E. (2022). *Desarrollo de un método para la extracción de polifenoles oxidasa de Uchuva (Physalis peruviana L.) y aislamiento por sistema bifásicos acuosos*. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 18(2), 124-132.

Dou, F., Ye, J., Yuan, G., Lu, Q., Niu, W., Sun, H., Guan, L., Lu, G., Mai, G., Liu, N., Lu, J., Liu, Z., Wu, Z., Tan, C., Xu, S., Wang, X., Li, G., Chai, L., Li, S., Sun, J., Sun, H., Shao, Y., Li, C., Liu, T., & Song, W. (2023). Towards Artificial General Intelligence (AGI) in the Internet of Things (IoT): Opportunities and Challenges. ArXiv, abs/2309.07438.

Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2021). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 17(6), 4322-4334. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>

Dávila, E. (2019). Uso de enmiendas en la reducción del contenido de cadmio en el suelo y en los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn-51. UNiversidad Nacional Agraria De La Selva.

Piaun, B. (2021). Evaluación del Efecto del Biol en el Nivel de Afectación de Plagas y Enfermedades en el Cultivo del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo Invernadero, Provincia de Pichincha. Ibarra, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11597/2/03%20AGP%20303%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Rivas, A. (2024) Normas APA: La guía definitiva para presentar trabajos escritos. Guía Normas APA. <https://normasapa.in/>

Yao, Jianping, Tran, Son, Sawyer, Samantha, & Garg, Saurabh. (2023). Machine learning for leaf disease classification: data, techniques and applications. *Artificial Intelligence Review*, 56, 1-46. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10610-4>

Madhuri Shripathi Rao et al. (2022). Crop prediction using machine learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 2161, 012033.

Uso de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), y sus parámetros nutricionales.

*Use of cocoa husk (*Theobroma cacao* L.), and its nutritional parameters.*

JHONATHAN EDWIN ROCHINA-SÁNCHEZ ¹
FRANK GUILLERMO INTRIAGO FLOR ²

1 Nacionalidad: ecuatoriana, Afiliación institucional: Facultad de Posgrado, Maestría en Agroindustria, Universidad Técnica de Manabí, Chone-Ecuador. Email: jrochina8088@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-3825-7747>

2 Nacionalidad: ecuatoriana, Afiliación institucional: Departamento de Procesos Agroindustriales, Facultad de Ciencias Zootécnica, Universidad Técnica de Manabí. Email: frank.intriago@utm.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-0377-1930>

RESUMEN

En Ecuador, el procesamiento y aprovechamiento del cacao ha experimentado avances en el significativos en la cadena productiva. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar el uso de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*), y sus parámetros nutricionales. La cascarilla de cacao, que generalmente se desecha o descarta durante el proceso de descascarillado para la elaboración del chocolate, posee propiedades nutricionales y beneficios potenciales. Este material contiene compuestos bioactivos, destacando entre ellos las enzimas polifenoles, flavonoides, y fibra. Su capacidad antioxidante y antiinflamatoria la convierten en un recurso potencialmente beneficioso para la salud. Se ha conservado que la fibra dietética no solo contribuye al funcionamiento del tracto digestivo, sino que también controla los niveles de glucosa en la sangre. La inserción de la cascarilla de cacao en el consumo diario podría ofrecer propiedades nutricionales y contribuir a la sostenibilidad y preservación del medio ambiente. Además, la cascarilla de cacao contiene magnesio y compuestos que ayudan a combatir el estrés oxidativo en el consumidor. El uso de cascarillas en la industria alimentaria ha ampliado el horizonte para la creación de nuevos productos como té, infusiones, y elaboración de galletas horneadas para consumo directo. Con esta contribución, se pretende destacar a la cascarilla como un recurso nutricional potencialmente beneficioso con propiedades saludables.

Palabras clave: Antioxidante, bioactivos, consumo, propiedades, sostenibilidad.

ABSTRACT

In Ecuador, the processing and use of cocoa has experienced significant advances in the production chain. Therefore, the aim of this research is to analyze the use of cocoa husks (*Theobroma cacao L.*), and its nutritional parameters. Cocoa husks, which are usually discarded or discarded during the husking process for chocolate making, possess nutritional properties and potential benefits. This material contains bioactive compounds, including polyphenols, flavonoids, and fiber enzymes. Its antioxidant and anti-inflammatory capacity make it a potentially beneficial resource for health. It has been preserved that dietary fiber not only contributes to the functioning of the digestive tract but also controls blood glucose levels. The insertion of cocoa husks in daily consumption could offer nutritional properties and contribute to the sustainability and preservation of the environment. In addition, cocoa husks contain magnesium and compounds that help combat oxidative stress in the consumer. The use of husks in the food industry has broadened the horizon for the creation of new products such as teas, infusions, and the production of baked biscuits for direct consumption. With this contribution, it is intended to highlight the husk as a potentially beneficial nutritional resource with healthy properties.

Keywords: Antioxidant, bioactives, consumption, properties, sustainability.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, la cascarilla de cacao ha sido uno de los subproductos menos aprovechados en la industria alimentaria, la elaboración de chocolate deja el residuo significativos, y en la actualidad, estos residuos se consideran importantes debido a su valor nutricional. La cascarilla de cacao en la actualidad ha sido sujeta a investigación debido a las propiedades que posee. La inserción del consumo diario ha sido potencial por la importancia de utilización de residuos (Ordoñez et al., 2019).

La industria chocolatera, en su interés por generar menos impacto agroindustrial, se ha visto en la necesidad de buscar alternativas para evitar la contaminación de este subproducto, por lo cual en la actualidad se ha dado un valor de interés y sostenibilidad en el tiempo a la cascarilla de cacao convirtiéndola en un producto nutricional de consumo potencial (FAO, 2019).

Las propiedades que posee la cascarilla de cacao son múltiples, de los que destacan es el poder antioxidante, por tal razón ayuda eliminar el exceso de radicales libres en el organismo. Retrasando el envejecimiento de las células. A su vez, posee niveles de compuestos tales como las epicatequinas, catequinas entre otras más. Su acción inicial puede mejorar y reducir los inconvenientes con diferentes tipos de cáncer degenerativos (Ureña et al., 2019).

Ciertos análisis en las cascarillas de cacao muestran que poseen la presencia de compuestos como polifenoles, flavonoides, fibra y antioxidantes, dichas investigaciones indican que estos compuestos pueden ayudar a neutralizar la presencia de radicales libres en el cuerpo. Los minerales como el potasio y el magnesio que posee permiten mantener el equilibrio muscular (Peñaherrera & Vera, 2017).

La cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*), contiene propiedades antiinflamatorias, ya que diversas investigaciones revelan que posee la capacidad de revertir la inflamación del cuerpo, dichas inflamaciones crónicas están ligadas estrechamente a enfermedades cardiovasculares, diabetes y digestivos, por tal razón se recomienda la inserción de la cascarilla a la dieta alimentaria, por el beneficio que aporta al organismo (Baldera et al., 2021).

El uso de la cascarilla de cacao en los productos de origen alimentario ha sido de total interés en las industrias procesadoras de alimentos, generando diferentes alimentos en los cuales se adiciona cascarilla de cacao tales como panes, galletas, barras energéticas, como estrategia de consumo directo con la visión de aprovechamiento adoptando un estilo de vida saludable (Castillo, 2021).

Una de las industrias que promete desarrollo de suplementos nutricionales objetivándose el crecimiento industrial, con visión de crear concentraciones de componentes bioactivos que podrían ofrecer beneficios únicos a la salud es la industria farmacéutica, la cual ha estudiado el comportamiento antioxidante y concentración de fibra dietética, esta alternativa está generando oportunidad de desarrollo, la solución a este problema ha generado la innovación en concreto del consumidor (Baldera et al., 2021).

El objetivo de esta investigación fue analizar el uso de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*), y sus parámetros nutricionales, dicha investigación será de aporte al desarrollo de investigaciones de elaboración de productos cuya base es la cascarilla de cacao.

METODOLOGÍA

Este estudio de revisión, se investigó con ayuda de diferentes fuentes bibliográficas relacionadas con los parámetros nutricionales de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*), es de vital importancia la utilización de estos residuos agroindustriales, debido a que genera menor impacto de contaminación. Por lo cual dicha información fue extraída de diferentes revistas de impacto, artículos y libros, la información utilizada para el presente artículo de revisión fue de los últimos años.

RESULTADOS

Antecedentes de la cascarilla de cacao

A través de la historia del cacao se ha visto la evolución de necesidades de procesamiento la cascarilla de cacao se lo conoce de diferentes formas, sin embargo, en la historia del procesamiento del chocolate es considerado como un desecho sin valor, el cual genera un impacto significativo con el cual realizan abonos. En los últimos años. se ha visto el interés de la academia por querer dar una solución a esta problemática, debido a su alto valor nutricional (Núñez et al., 2018).

Los orígenes de la cascarilla de cacao se descubrieron desde la antigüedad de Mesoamérica. El cacao se lo nombraba como lo más valioso de esas épocas debido a que el valor monetario era el trueque y se lo empleaba en los rituales. Las almendras de cacao las empleaban para preparación de la bebida milagrosa, mientras que la cascara y La cascarilla la utilizaban como abono. Sin aprovechar el potencial que poseían (Cipri, 2020).

El residuo de la cascarilla queda como el resultado posterior a la transformación de las almendras de cacao y elaboración de chocolate, lo cual está en torno del 10 – 25% de testa (cascarilla).

El desecho que dejaba la cascarilla era elevado, en la actualidad se le da un valor potencial a la utilización de esta cascarilla, ya que se comprobó que este recurso es sostenible y lleva el nombre de la “Revolución de la cascarilla de cacao o chocolate” el procesamiento ha tenido avances de desarrollo, los diferentes métodos han sido incrementando tecnologías desafiantes en los cuales ha permitido explorar diferentes subproductos (Castillo et al., 2021).

Propiedades nutricionales

La cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*), está constituida por diferentes compuestos, los cuales son polifenol y fibra. Diferentes investigaciones revelan que estos pueden ayudar a la salud del consumidor beneficiando de manera natural. Este desecho agroindustrial en la actualidad ha intentado insertarse en los estándares, lo cual pretende ser prometedor por los valores nutricionales que posee, la fibra (lignina, celulosa, pectina) antioxidantes (epicatequina 1,11mg) (Álvarez & Soria, 2021).

Compuesto	Composición
Fibra	16%
Humedad	7%
Grasa	4%
Carbohidrato	16%
Ceniza	13%
Teobromina	1%
Cafeína	0.21%
Proteína	16%
Antioxidante	1.12mg

Tabla 1: Composición de cascarilla de cacao, Fuente: (Álvarez & Soria, 2021)

Antecedentes de la cascarilla de cacao

Son múltiples los usos que se dan a la cascarilla de cacao, en las diferentes áreas a resultado versátil su utilización, lo cual ha generado incertidumbre debido a que en el pasado se lo utilizaba de manera ancestral como medicina. En la actualidad la cascarilla ya no es desechada, es utilizada como material de abono orgánico y en la alimentación humana o alimentación animal (Sangronis et al., 2020).

Innovación de utilización de la cascarilla

En el área de los alimentos, la cascarilla de cacao ha mostrado gran interés debido al aroma y sabor característico, características que han permitido la creación de té s aromáticos con propiedades nutricionales. La cascarilla de cacao por su versatilidad ha permitido ser incluida en la industria panadera, elaboración de confites, galletas, jaleas, dulces, panes, barras energéticas, bebidas espumosas, heladería, granola, cereales (Castillo et al., 2021).

Sostenibilidad de la cascarilla de cacao

Los compuestos bioactivos que posee la cascarilla de cacao ha permitido insertarse en el campo de la sostenibilidad y comercio justo de venta del desecho de la cascarilla el cual era considerado un potente residuo agroindustrial, mismo que en la actualidad tiene múltiples consideraciones de procesamiento (Sangronis et al., 2021).



Grafica 1: La cascarilla de cacao y sus diferentes usos en la industria alimentaria.

Balanceado: la cascarilla genera de desechos, los cuales forjan una alternativa de sostenibilidad al elaborar suplementos balanceados a partir de este desecho agrícola, contribuyendo al equilibrio de reutilización de la cadena de valor de los frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.) (Sangronis et al., 2021).

Discusión

El inicio de transformación de los granos inicia después del proceso de fermentación, selección de los granos, tostado, y descascarillado. Donde se separan la testa del cotiledón (Dolores et al., 2019). Según la Cámara de Artesanos de la Provincia de Tungurahua en el año 2017, se registró que existieron 18 productores que realizaban el proceso de transformación del cacao, el 90% de los productores mencionaron que realizaban chocolate y el 10% se dedicaban a productos como vinos, y licores de cacao, ninguno de los productores utilizaba la cascarilla para realizar productos de consumo alimentario (Collazos, 2022).

La reducción de residuos a nivel mundial se ha convertido en una necesidad que genere oportunidades de procesamiento y creación de nuevos productos para el mercado, el 70 % de la población en la actualidad busca una alternativa de desarrollo sostenible para la cascarilla de cacao, el 20 % realiza abonos y el 10 % vende el residuo (Melinda & Mora, 2019).

La FAO, busca realizar alianzas o cooperaciones internacionales, que permitan generar grupos que adquieran conocimientos necesarios para transformación y aprovechamiento de cascarilla de cacao (Teneda et al., 2022). La producción mensual por productor está en un promedio de 3 toneladas, lo cual representa una capacidad de aprovechamiento de residuos potencial (Ureña et al., 2019).

Los residuos generados mensualmente oscilan entre 150 kg. Los productores comercializan residuos de la producción de cáscaras de cacao, extracto de manteca de cacao y barras de chocolate amargo, que luego son enviados a minoristas de la provincia de Guaya. El cálculo de la capacidad prevista de cáscara de cacao para la producción de té se basa en los valores medios registrados en las tablas de control de residuos existentes para la producción artesanal de chocolate negro (León et al., 2022).

Residuos agroindustriales

La elaboración de materia prima para obtención de productos genera grandes cantidades de residuos agroindustriales, que en otras instancias eran tirados a vertederos clandestinos. Y otros usos como abonos, y uso alimentario animal (Torres & Pérez, 2023). Es relevante conocer que estos residuos permiten ser utilizados para la elaboración de nuevos productos debido a su capacidad de composición de almidones, proteínas, lípidos y capacidad antioxidante. Los residuos que genera el proceso de elaboración de chocolate es: desecho de cáscara, mucilago y cascarilla (Torres & Pérez, 2023).



Grafica 2: Residuos que genera el proceso de elaboración del chocolate.

CONCLUSIONES

En el apasionante mundo de la elaboración del chocolate, las cascarillas de cacao, que alguna vez se consideraron un producto de desecho, se han convertido en un recurso increíblemente versátil y valioso. Debido a su capacidad de adaptarse a diferentes condiciones, representan un recurso diverso. En el ámbito de la innovación alimentaria, las cascarillas de cacao están yendo más allá de su asociación exclusiva con el chocolate. Las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias añaden valor nutricional a este subproducto aparentemente humilde.

Desde posibles aplicaciones médicas hasta la perspectiva de utilizar cascarillas de cacao para crear materiales respetuosos con el medio ambiente, las posibilidades son amplias y variadas. Mediante esta investigación. Se busca ofrecer oportunidades de desarrollo sostenible. Con el objetivo de perseguir un futuro más sólido y abarcando toda la cadena productiva del cacao.

REFERENCIAS

Álvarez, & Soria, J. (2021). "Elaboración de un prototipo de lámina aglomerada como elemento interior a base de cascarilla de arroz con muyuyo para la cooperativa voluntad de Dios". *Euphytica*, 18(2), 22280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.006><http://dx.doi.org/10.1016/j.neps.2015.06.001><https://www.abebooks.com/Trease-Evans-Pharmacognosy-13th-Edition-William/14174467122/bd>

Baldera, J., Granda, M., & Chavez, S. (2021). *Capacidad antioxidante y polifenoles totales de infusión de cascarilla de cacao (Theobroma cacao) y macambo (Theobroma bicolor)*. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(3), 13-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.25127/aps.20213.814>

Castillo, Alvarez, C., & Contreras, Y. (2021). *Caracterización fisicoquímica de la cáscara del fruto de un clon de cacao (Theobroma cacao L.)* Cosechados en cáscara del fruto de un clon de cacao. 42.

Castillo, G. (2021). Optimización del tiempo y temperatura de infusión de cascarilla de cacao en el contenido teobromina, polifenoles y actividad antioxidante. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Cipri, M. (2020). *Aplicación de la cáscara del grano de cacao (Theobroma cacao L.) como fuente de flavonoides en productos a base de cereales: Revisión de literatura*.

Collazos, M. (2022). "CASCARILLA DEL GRANO DE CACAO (Theobroma cacao L.) EN RACIONES DE CRECIMIENTO, ACABADO PARA CERDOS". 0-4.

Dolores, M., Guevara, G., Melinda, S., & Mora, O. (2019). L.) como infusión : caso Tungurahua-Ecuador *.

FAO. (2019). Documento de debate sobre el desarrollo de un código de prácticas para la prevención y reducción de la contaminación por cadmio en el cacao. *Journal of chemical information and modeling*, 53(9), 1689-1699. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-13%252FWDs%252Fcf13_12s.pdf

León, A., Rosati, V., & Tonetti, G. (2022). Evaluación de la capacidad antioxidante de diferentes extractos de Cannabis sativa.

Melinda, S., & Mora, O. (2019). Cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) como infusión : caso Tungurahua-Ecuador *. 50, 1-15.

Núñez, O. P., Cruz, S. E., Velástegui, G. P., Almeida, R., & Salazar, D. (2018). Comportamiento de los índices productivos de cuyes (*Cavia porcellus*) bajo tres niveles de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) TT - Behavior of the productive indices of guinea pigs (*Cavia porcellus*) under three levels of cocoa husk (*Theobroma cacao*). *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 5(1), 14-22. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2311-25812018000100003&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/jsaas/v5n1/v5n1_a03.pdf

Ordoñez, S., Vera, J., & Tigselema, S. (2019). CASCARILLA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) DE LÍNEAS HÍBRIDAS PARA LA ELABORACIÓN DE REHILETES DE CHOCOLATE. 118-124. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2311-25812018000100003&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/jsaas/v5n1/v5n1_a03.pdf

Peñaherrera, C., & Vera, J. F. (2017). Diversidad fenotípica de la mazorca y calidad física de la almendra en 13 clones élites de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la finca experimental La Represa [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2069/1/T-UTEQ-0056.pdf>

Sangronis, E., Soto, M. J., Valero, Y., & Buscema, I. (2020). Cascarilla de cacao venezolano como materia prima de infusiones. 64(2), 123-130.

Sangronis, E., Valero, Y., & Buscema, I. (2021). Cascarilla de cacao venezolano como materia prima de infusiones. 1-13.

Teneda, W. F., Ah-Hen, K., & Lemus-Mondaca, R. (2022). *Caracterización de una infusión de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L., var. Arriba) con hierbas aromáticas*. *Agro Sur*, 45(3), 47-55. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2017.v45n3-07>

Torres, J., & Pérez, R. (2023). Caracterización de los residuos de cacao generados con potencial valor, para su uso en la.

Ureña, M., Andrade, J., Rivera, J., & Chire, G. (2019). *Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Peru* (Vol. 10, Número 4). http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001&lng=es&nrm=i so&tlng=es

La huerta urbana como estrategia de mejora del bienestar y la salud mental de los aprendices del SENA del centro de diseño y manufactura del cuero.

The urban garden as a strategy to Improve the well-being and mental health of apprentices at the leather design and manufacturing center from SENA.

JOHANA VILLA CÁRDENAS ¹

JULIANA GÓMEZ TAMAYO ²

LAURA GALLEGO DÍAZ ³

SOL BEATRIZ CASTAÑO GONZÁLEZ ⁴

1,2,3,4 Investigador(a) en el Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA, Itagüí, Colombia. Miembro del grupo de investigación BIOMATIC, enfocado en biomecánica, materiales, TICs, diseño y calidad para los sectores de cuero, plástico y caucho, y sus cadenas productivas.
Principal: jugomezt@sena.edu.com, +57-3014671464.

RESUMEN

En la actualidad, la educación en los entornos de formación para el trabajo se enfoca principalmente en adquirir conocimientos académicos y cumplir con los objetivos del diseño curricular, que busca la integralidad de la formación, aunque la promoción del bienestar y la salud mental no son objeto de prioridad. Esta investigación se realiza con el fin de identificar el impacto positivo que tiene la implementación de una huerta en espacios educativos, específicamente en el bienestar y salud mental de los aprendices del SENA del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero (CDMC). Si bien la motivación principal de las huertas urbanas ha sido encontrar diferentes alternativas de alimentos saludables, algunas fuentes de información indican que esta práctica tiene múltiples beneficios en el bienestar y la salud mental. Para evaluar el impacto de la estrategia en la salud mental y el bienestar, se aplicó una herramienta de recolección de información a los aprendices que participan de actividades en la huerta. Los resultados obtenidos permiten concluir que las actividades que se llevan a cabo en la huerta del CDMC disminuyen sus niveles de estrés, generando sensaciones de felicidad, calma, tranquilidad y relajación. Además, propician una mayor socialización y son una fuente de motivación para la adquisición de nuevos conocimientos.

Palabras clave: Huerta urbana, agricultura urbana, horticultura, salud mental, bienestar

ABSTRACT

Currently, education in work training environments focuses mainly on acquiring academic knowledge and meeting the objectives of curricular design, which aims for an integral training, although the promotion of well-being and mental health are not a priority. This research is carried out in order to identify the positive impact of the implementation of a garden in educational spaces, specifically on the well-being and mental health of the apprentices at the Leather Design and Manufacturing Center (CDMC) from SENA. Although the main motivation for urban gardens has been to find different options for a healthy diet, some sources of information indicate that this practice has multiple benefits on well-being and mental health. A tool for information collection was applied to apprentices who participate in activities in the garden to assess the impact of the strategy on mental health and well-being; the obtained results demonstrate that the activities carried out at the CDMC garden reduce stress levels, thus generating feelings of happiness, calm, tranquility and relaxation; moreover, it promotes greater socialization and is a source of motivation for the acquisition of new knowledge.

Keywords: Urban garden, urban agriculture, horticulture, mental health, well-being.

INTRODUCCIÓN

“Las huertas urbanas son espacios, ubicados al aire libre o de interior que se destinan al cultivo de verduras, hortalizas, frutas, legumbres, plantas aromáticas o hierbas medicinales, entre otras variedades, esto se hace a escala doméstica y para el autoconsumo” (Duran, 2023).

Estos espacios están cada vez más en auge por sus beneficios, ya que permite tener contacto con la naturaleza y obtener alimentos saludables, además resulta ser una actividad relajante y saludable, entre muchos otros factores positivos que trae consigo esta práctica de agricultura urbana. Hoy en día las huertas urbanas no solo representan una práctica de agricultura, su propósito ya no solo se centra en el cultivo para el consumo propio, familiar o de una comunidad, sino que va más allá.

En palabras de Peña y Veselovschi (2019):

La educación medioambiental, el desarrollo comunitario, la participación ciudadana, el ocio o la salud son algunos de los nuevos sentidos que adquieren estos espacios y que resignifican la propia práctica. Además de estos, se relacionan beneficios que a nivel de salud mental trae la participación en el desarrollo de las huertas urbanas, como relajación, reducción del estrés, sensación de felicidad y bienestar (p. 7).

Actualmente, el SENA, en los espacios educativos de formación para el trabajo, desarrolla actividades que giran en torno al aprendizaje y cumplimiento de objetivos curriculares en pro de la formación integral, que es su principal propósito. Por lo que asignar recursos a proyectos que fomenten el bienestar y la salud mental podría contribuir de manera significativa al desarrollo integral que el SENA busca inculcar en sus aprendices.

El estrés, la ansiedad y el agotamiento son desafíos frecuentes entre los aprendices del CDMC, y pueden tener un impacto negativo en su rendimiento académico y bienestar general. En este contexto, la práctica de la huerta urbana puede impactar positivamente en los aprendices, ayudando a disminuir los niveles de estrés y generando sensaciones positivas a nivel de su salud mental, al promover espacios de bienestar que favorezcan el desarrollo de su vida académica.

El proyecto de la huerta ha logrado consolidarse como una estrategia de formación continua en el CDMC. Tras superar diversas etapas que incluyeron la infraestructura, la obtención de recursos y la aceptación por parte de la comunidad académica, busca evaluar el impacto de esta iniciativa en el bienestar y la salud mental de los aprendices que han participado en las actividades relacionadas con la huerta. Además, busca identificar tanto los beneficios individuales como los sociales, con el fin de replicar esta estrategia como parte integral del proceso formativo.

Se revisó la literatura relevante para este estudio, la cual señala un impacto positivo en el bienestar que contribuye al desarrollo y a una mejor adaptación al ámbito de la vida donde se implementan actividades de huerta urbana. En el caso específico de este estudio, dicho ámbito se centra en lo académico o en la formación para el trabajo.

Las huertas urbanas surgieron inicialmente durante la Revolución Industrial y ganaron popularidad en las décadas siguientes, especialmente durante las Guerras Mundiales. Las ciudades británicas y norteamericanas las promovieron como una medida propagandística y para asegurar el abastecimiento alimentario local. Estos cultivos, llamados “Jardines de la Victoria”, llegaron a proveer cerca del 40% del consumo de verduras en Estados Unidos (Iberdrola, s.f.).

En Colombia, desde la década 1950, un gran número de campesinos se vieron obligados a abandonar sus hogares debido a la violencia y buscaron refugio en áreas urbanas. Con ellos llevaron consigo semillas y conocimientos como agricultores, y empezaron a establecer huertas caseras en sus propiedades con el fin de abastecerse de alimentos (Gómez, 2014). Otro factor relevante que ha impulsado el surgimiento de las huertas urbanas en Colombia es la situación de pobreza, que ha llevado a muchas familias a optar por cultivar sus propios alimentos ante la escasez de recursos (Parra, s.f.).

En Medellín, la Alcaldía lleva a cabo el proyecto “Huertas con Vos”, el cual ofrece convocatorias regulares para que individuos o grupos comunitarios establezcan sus propias huertas. Los seleccionados reciben no solo los materiales necesarios, sino también orientación y apoyo para aprender sobre el desarrollo y cuidado de las mismas. (Múnera, 2023). La alcaldía con esta estrategia busca mitigar la inseguridad alimentaria en los hogares a través de la cosecha de alimentos en casa que sirvan para el consumo inmediato y que no contengan químicos ni conservantes.

En Medellín, existe también una red de huertas conocida como “Red de Huerteros Medellín”. Este colectivo, ha estado activo desde 2013 con el objetivo de crear espacios colaborativos y alternativos para reflexionar sobre la versatilidad de la agricultura urbana, fomentando el intercambio de conocimientos y vivencias. Se trata de una iniciativa socioambiental que busca involucrar a la comunidad y a los movimientos sociales en la apropiación del territorio, y que puede ser reproducida de forma independiente en distintos puntos de la ciudad (RED DE HUERTEROS MEDELLÍN, s.f.).

Además de servir como fuente de alimentos, las huertas tienen múltiples propósitos y motivaciones, tales como la producción de alimentos libres de agroquímicos, la conservación del suelo, el aprovechamiento de residuos, la custodia, el intercambio y la siembra de semillas nativas, así como la creación y el cuidado de espacios. Además, se emplean como herramienta pedagógica, se generan espacios de entretenimiento, se impulsan como fuente de emprendimiento y empleo, y han surgido como objeto de proyectos de investigación (Restrepo et al., s.f.).

Durante la pandemia de Covid-19, las huertas urbanas no solo se convirtieron en una fuente confiable de alimentos frescos y saludables, sino que también desempeñaron un papel crucial en la mitigación del impacto psicosocial causado por el aislamiento y las medidas de cuarentena. Esta iniciativa no solo tuvo un propósito práctico, sino que también fomentó valores fundamentales como la paciencia, el esfuerzo, la responsabilidad y el cuidado del medio ambiente. Además, fortaleció los lazos familiares al involucrar a todos los miembros en actividades de cultivo y cuidado de las plantas. Las huertas urbanas brindaron una alternativa valiosa para aprovechar el tiempo libre de manera productiva y gratificante, ofreciendo una actividad significativa y enriquecedora tanto para individuos como para familias durante períodos de confinamiento y restricciones sociales (Pinto, 2020), (Contacto Maestro, 2022).

Las labores relacionadas con el cultivo y cuidado de las plantas conllevan una serie de beneficios notables. Por un lado, las actividades al aire libre aprovechan la luz solar, la cual eleva los niveles de endorfinas en el organismo, generando efectos positivos en el estado de ánimo, especialmente para personas que enfrentan problemas de depresión.

Tareas como regar, podar y sembrar suelen ayudar a desconectar de pensamientos negativos, permitiendo centrarse en actividades placenteras y gratificantes. Además, observar el crecimiento de las plantas y cultivos genera una gran satisfacción al evidenciar cómo la dedicación produce resultados tangibles que enriquecen la vida. Estas actividades también contribuyen al fortalecimiento de la autoestima (Prieto, s.f.).

Por otro lado, los huertos urbanos ofrecen a las personas la oportunidad de realizar ejercicio físico de manera moderada, lo que resulta en un mayor bienestar físico y mental. Este tipo de actividad no solo ayuda a fortalecer los huesos y las articulaciones, sino que también reduce la presión arterial y contribuye a manejar el estrés. La participación en actividades en los huertos urbanos a menudo conlleva una mejora en el estado de ánimo de quienes participan en ellas (Carretero, 2020).

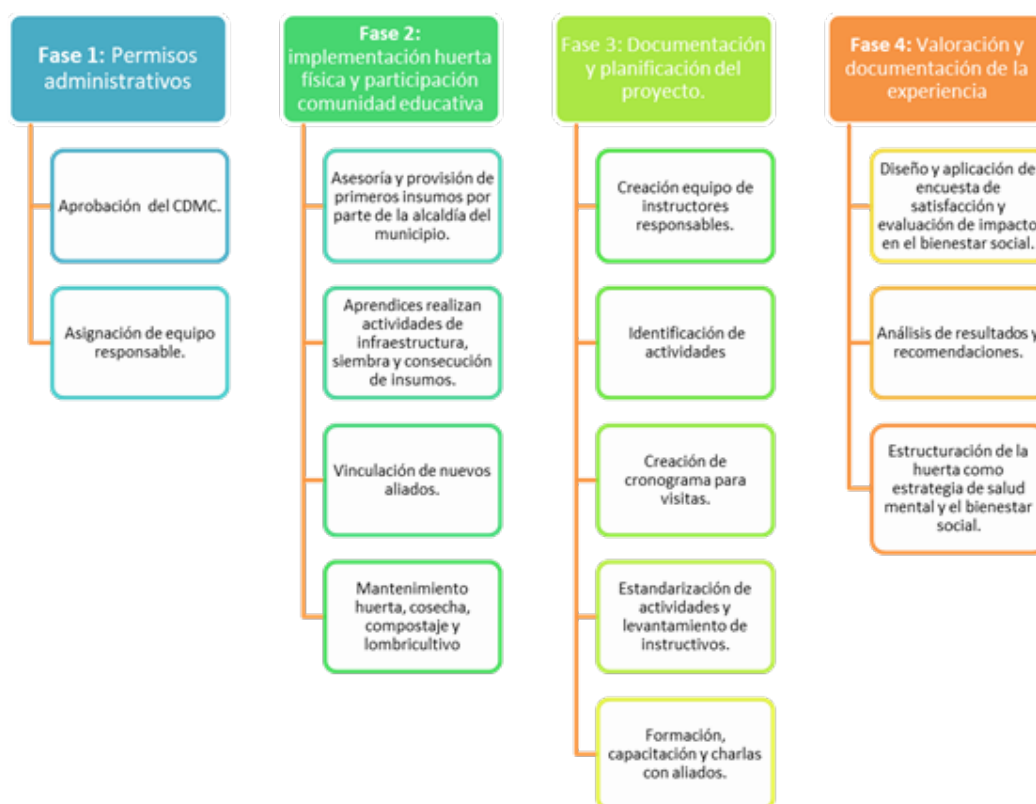
Investigaciones han destacado cómo los huertos urbanos, especialmente los de índole comunitaria, influyen en el desarrollo y fortalecimiento de las redes sociales, además de promover el aprendizaje y la interconexión con otros individuos (Restrepo y Clavijo, 2021).

Adicionalmente, la horticultura urbana contribuye de manera significativa a la salud mental de los individuos, tanto en la prevención como en el tratamiento de diversas enfermedades. También es importante resaltar su importancia en los programas de intervención en salud, ya que aborda aspectos que engloban la salud física, mental, social y espiritual tanto a nivel individual como comunitario (Grajales y Peñaloza, 2019).

Las fuentes bibliográficas, abordadas desde diversas perspectivas, sustentan los efectos positivos que la horticultura ejerce en la salud mental y el bienestar de quienes participan en ella. Aunque la principal meta de la horticultura suele ser la producción de alimentos y plantas medicinales, cualquier labor realizada en las huertas urbanas conlleva un valioso aporte a la salud mental y el bienestar general. Esta contribución se manifiesta en sensaciones como calma, tranquilidad y reducción del estrés, elementos fundamentales para afrontar los desafíos cotidianos con mayor fortaleza.

METODOLOGÍA

El proyecto se estructura en cuatro fases, como se detalla en la figura 1. En la primera fase, se lleva a cabo el reconocimiento del espacio destinado para la huerta urbana y la gestión de las autorizaciones requeridas para su establecimiento. En la segunda fase, se inicia el proceso de capacitación con el personal técnico, se gestionan los recursos a través de donaciones de instituciones públicas y privadas, así como de la comunidad educativa. Además, se lleva a cabo la construcción de la infraestructura necesaria, la preparación del terreno, la siembra y recolección de productos, y la implementación y mantenimiento de la compostera. En la tercera fase, se documentan todas las actividades mediante instructivos e informes, con el propósito de estandarizar los procesos y mantener una trazabilidad adecuada. Finalmente, en la cuarta fase, se evalúa la experiencia de la huerta urbana a través de una encuesta dirigida a los aprendices que participaron en dicha actividad.



Grafica 1: Fases del proyecto.

Nota: El proyecto de huerta urbana consta de cuatro fases: reconocimiento del espacio, capacitación y gestión de recursos, documentación de actividades y evaluación mediante encuesta a participantes.

RESULTADOS

Montaje

Para conocer el origen y los propósitos de la huerta, en octubre del año de 2023 se llevó a cabo una entrevista a la líder del proyecto. Según lo revelado, la huerta del CDMC tuvo sus inicios en el segundo trimestre del año 2022. La idea surgió durante una reunión con aprendices del programa de marroquinería y otros programas, quienes compartieron su experiencia con huertas urbanas durante la pandemia, motivados por la necesidad de tener alimentos saludables en casa y de ocupar su tiempo durante el confinamiento.

El centro de formación integró esta iniciativa como parte de las actividades de aprendizaje de la competencia transversal “Aplicar prácticas de protección ambiental, seguridad y salud en el trabajo de acuerdo con las políticas organizacionales y la normatividad vigente” (Información General del Programa de Formación Titulada Denominación del Programa, Gestión Integrada de la Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud Ocupacional), ya que permitía relacionar la teoría con la práctica y promover un enfoque holístico hacia el aprendizaje.

El afianzamiento de la huerta como proyecto del centro de formación no solo fue resultado de la colaboración interna, sino también de alianzas con diversos actores de la comunidad académica y de diferentes municipios. Esta iniciativa, no solo logró avances tangibles, sino que también generó impactos sociales significativos.

El esfuerzo colaborativo para establecer la huerta (Figura 2), involucró a instructores del centro, quienes aportaron experiencia y conocimientos en diversas áreas. Además, contó con el respaldo crucial de las secretarías de medio ambiente y de salud de los municipios de Sabaneta e Itagüí, brindando orientación y apoyo técnico en temas de salud, seguridad alimentaria y manejo de huertas.

La colaboración se extendió incluso a un productor de verduras del municipio de Santuario, Antioquia, quien compartió su experiencia y brindó asesoramiento práctico, garantizando así el éxito del proyecto.



Grafica 2: Huerta CDMC.

Nota: Establecimiento de la huerta, que abarca la provisión de insumos, construcción de infraestructura, capacitación, así como la siembra y recolección de productos.

Esta colaboración hacia un objetivo común fortaleció los lazos sociales y contribuyó a la cohesión comunitaria. Los participantes se sintieron parte de algo más grande, desarrollando un sentido de pertenencia y solidaridad dentro de la comunidad.

De esta manera, la huerta no solo se convirtió en un espacio físico para cultivar alimentos, sino también en un punto de encuentro que promovió el bienestar y la integración social. Como respalda la literatura, los huertos, al ser espacios compartidos, promueven la interacción entre los miembros de la comunidad, lo que facilita la comunicación, el intercambio de experiencias y aprendizaje mutuo (Restrepo y Clavijo, 2021).

Capital Intelectual.

Contar con diferentes aliados ha sido muy importante, porque esto ha permitido obtener conocimientos técnicos para implementar la huerta, desde la preparación de los terrenos hasta el control biológico de plagas. El CDMC, aunque no tenía los conocimientos técnicos referentes a huerta urbana, contaba con personal motivado que creía en los beneficios que implica dicho proyecto.

Una vez que el personal ha recibido la capacitación necesaria, se procede a la elaboración de documentos y a la estandarización de los procedimientos relacionados con la siembra, el riego, la recolección, así como la preparación de abonos y plaguicidas orgánicos. Estos instructivos permiten obtener productos de calidad y facilitan la organización del proceso. Según la literatura, la calidad y la estandarización de los procesos son estrategias competitivas cruciales en los sectores agroalimentario y agroindustrial. Estas estrategias son fundamentales para lograr resultados exitosos y asegurar la ausencia de desviaciones en los productos. Sin embargo, en el sector agro, es necesario tener en cuenta diversas variables ambientales, como la temperatura, la humedad y el clima, las cuales desempeña un papel crucial en la producción de alimentos y pueden influir significativamente en el proceso (Vásquez y Labarca, 2012).

Cosecha de Calidad.

Para conocer la percepción de los aprendices de las actividades realizadas en la huerta, se realizó una encuesta a una muestra a 63 aprendices.

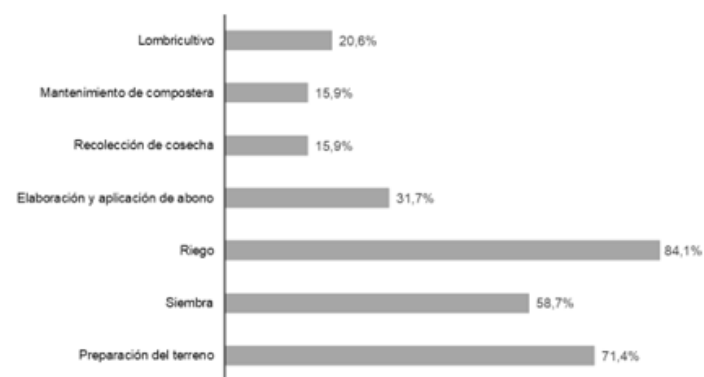
Según los datos recopilados, solo el 17,5% de los encuestados afirmaron haber consumido los alimentos de la cosecha; sin embargo, aquellos que lo hicieron reportaron una percepción positiva en cuanto a la calidad de los productos. Específicamente, indicaron que los alimentos tenían un buen aspecto, sabor y olor, lo que sugiere un alto nivel de satisfacción entre los consumidores. A futuro se podrán favorecer los aprendices que están identificados con necesidades alimentarias para beneficiarlos con estos productos.

La valoración de la calidad de la cosecha que hacen los aprendices que consumieron los productos, respalda las medidas de calidad que se han venido implementando con ayuda de los procedimientos y el uso de insumos orgánicos para lograr productos cosechados con cero químicos, de gran valor nutricional y agradables a los sentidos. Desde sus orígenes los proyectos de agricultura y huerta urbana han girado en torno de proveer alimentos saludables y ser una alternativa de alimentación nutritiva, que en el caso de Colombia principalmente ha buscado llegar a poblaciones vulnerables con el fin de contribuir a la seguridad alimentaria (Restrepo et al., s.f.).

Impacto en el Bienestar.

“El bienestar es algo buscado casi por todos, porque incluye muchas cosas positivas: sentirse feliz, saludable, socialmente conectado y con propósito” (Davis, 2020). Para conocer el impacto de la estrategia, se realizaron preguntas enfocadas al bienestar, la salud mental, actividades de participación, entre otras. Del total de los encuestados, el 60% correspondió a jóvenes entre los 16 y 20 años y no había diferencia significativa del sexo (femenino 57% y masculino 43%).

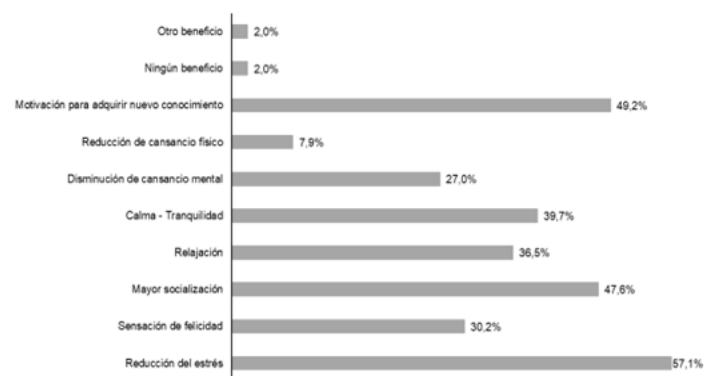
Entre las principales actividades de participación, se encontraba en primer lugar el riego, seguido de la preparación del terreno y siembra, como se observa en la figura 3.



Grafica 3: Actividades comprendidas en la huerta.

Nota: Medición de las tareas realizadas en la huerta.

El 94% de los encuestados opinó que las actividades de la huerta son agradables, el 90% que han contribuido a su bienestar y el 87% que impacta positivamente en su salud mental. La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a la salud mental como “un estado de bienestar mental que permite a las personas hacer frente a los momentos de estrés de la vida, desarrollar todas sus habilidades, poder aprender y trabajar adecuadamente y contribuir a la mejora de su comunidad” (Redacción National Geographic, 2022). En la figura 4, se observan los beneficios que ha traído la huerta en los participantes de la encuesta, observándose en mayor medida la reducción del estrés, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura.



Grafica 4: Beneficios.

Nota: Evaluación de los beneficios derivados de la estrategia de la huerta.

Por otro lado, a los encuestados se les preguntó si cree que las actividades de la huerta contribuyen con el bienestar, a lo que el 88,9% responde de forma afirmativa. De igual manera se indagó acerca de la influencia de las actividades de la huerta en su salud mental, a lo que el 87,3 % responde que influye de forma positiva en su salud mental. Tal como se relaciona en los beneficios de los huertos caseros en la salud mental, el hecho de plantar y ver crecer los cultivos, contribuye a sentirse más tranquilo y relajado, favoreciendo un aumento del bienestar mental y emocional. Igualmente, reporta una sensación placentera de satisfacción personal, relajación y disminución del estrés y la ansiedad, favorece la concentración, los sentimientos de soledad disminuyen ayudando a afrontar la vida de forma positiva (viveSaludable, s.f.).

En conjunto, estos hallazgos sugieren que las huertas urbanas pueden desempeñar un papel significativo en la promoción del bienestar y la salud mental, tanto en contextos educativos como laborales, y subrayan la importancia de continuar explorando y fomentando esta práctica. En Colombia la Ley 1616 de 2003 define la salud mental como “un estado dinámico que se expresa en la vida cotidiana a través del comportamiento y la interacción de manera tal que permite a los sujetos individuales y colectivos desplegar sus recursos emocionales, cognitivos y mentales para transitar por la vida cotidiana, para trabajar, para establecer relaciones significativas y para contribuir a la comunidad” (Grupo de Gestión Integrada para la Salud Mental, 2014). Entendiendo así la salud mental como el equilibrio máximo entre lo emocional, mental y físico que permite el desarrollo integral del sujeto y el correcto aprovechamiento de sus capacidades y recursos en los ámbitos, familiar, social, laboral y hacer frente al día a día. En este contexto, la práctica de horticultura tiene un efecto positivo en la salud y bienestar de las personas.

CONCLUSIONES

La iniciativa de la huerta no solo surgió como respuesta a las necesidades identificadas durante la pandemia, sino que también se integró de manera efectiva en el proceso formativo, promoviendo un enfoque holístico hacia el aprendizaje y fomentando valores de responsabilidad ambiental y trabajo en equipo.

Los hallazgos respaldan la idea de que las huertas urbanas pueden desempeñar un papel importante en la promoción del bienestar y la salud mental en contextos educativos. Además, sugieren la necesidad de seguir explorando y promoviendo este tipo de iniciativas como herramientas efectivas para mejorar la calidad de vida y fomentar la sostenibilidad ambiental en diversas comunidades. La implementación de huertas urbanas representa una estrategia valiosa para cultivar no solo alimentos saludables, sino también un sentido de comunidad, conexión con la naturaleza y bienestar integral.

REFERENCIAS

Carretero, L. B. (2 de octubre de 2020). ¿Cómo contribuyen los Huertos Urbanos en la salud de las personas?. Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/como-contribuyen-los-huertos-urbanos-en-la-salud-de-las-personas/>

Contacto Maestro. (25 de marzo de 2022). La huerta familiar como estrategia de desarrollo de competencias laborales, agropecuarias y socioemocionales durante la emergencia sanitaria causada por el Covid-19. <https://contactomaestro.colombiaaprende.edu.co/experiencias-significativas/la-huerta-familiar-como-estrategia-de-desarrollo-de-competencias-labor>

Davis, T. (27 de abril de 2020). ¿Qué es el bienestar? Definición, tipos y habilidades para el bienestar. Psychology Today. <https://www.psychologytoday.com/co/blog/que-es-el-bienestar-definicion-tipos-y-habilidades-para-el-bienestar#:~:text=El%20bienestar%20es%20la%20experimentaci%C3%B3n,capacidad%20para%20manejar%20el%20estr%C3%A9s.>

Duran SanJuan, M. I. (27 de marzo de 2023). Huertas urbanas: ¿qué son y cómo hacerlas?. EL TIEMPO. <https://www.eltiempo.com/vida/tendencias/que-son-las-huertas-urbanas-y-para-que-sirven-750880>

Redacción National Geographic (07 de noviembre de 2022). ¿Que es la salud mental según la OMS?. NATIONAL GEOGRAPHIC. <https://www.nationalgeographicla.com/ciencia/2022/11/que-es-la-salud-mental-segun-la-oms>

Grajales Galindez, A. T., & Peñaloza Gámez, Y. (2019). Aspectos de la salud mental involucrados en la construcción de huertas. [Tesis de pregrado]. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/672390c2-7f39-4063-a22d-b71be0d291e0>

Grupo de Gestión Integrada para la Salud Mental. (octubre de 2014). ABECÉ sobre la salud mental, sus trastornos y estigma. MinSalud. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/abc-salud-mental.pdf>

Iberdrola. (s.f.). Qué es un huerto urbano. <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/que-es-un-%20huerto-%20urbano#:~:text=Los%20primeros%20huertos%20urbanos%20surgieron,el%20suministro%20de%20alimentos%20a>

Múnera, A. G. (31 de enero de 2023). Se abre convocatoria para la creación de 700 huertas para el autoconsumo en el Distrito. Alcaldía de Medellín Distrito de Ciencia, Tecnología e innovación. <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/se-abre-convocatoria-para-la-creacion-de-700-huertas-para-el-autoconsumo-en-el-distrito/#:~:text=Para%20fomentar%20la%20seguridad%20alimentaria,en%20los%20hogares%20del%20Distrito.>

Parra, A. (s.f.). Huertos urbanos: alternativa medioambiental para combatir el hambre. EL HERALDO. <https://www.elheraldo.co/medio-ambiente/huertos-urbanos-alternativa-medioambiental-para-combatir-el-hambre-845989>

Peña Sarmiento, N. P., & Veselovschi, P. (2019). La agricultura urbana como herramienta para el bienestar de las personas mayores del Centro de Protección Social Bosque Popular de Bogotá. [Tesis de maestría]. Universidad Externado de Colombia. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/57c95117-6100-4264-8ec6-0a22f1b41900>

Pinto Alvaro, N. (06 de mayo de 2020). Huerta sanadora en tiempos de Covid-19. rikolto. <https://latinoamerica.rikolto.org/es/noticias/huerta-sanadora-en-tiempos-de-covid-19>

Prieto, E. G. (s.f.). La terapia hortícola: los beneficios para la salud de cuidar plantas. Medicina Lliure. Obtenido de <https://www.medicinalliure.com/es/la-terapia-horticola-los-beneficios-la-salud-cuidar-plantas/>

RED DE HUERTEROS MEDELLÍN. (s.f.). <https://www.redhuerterosmedellin.org/>

Restrepo Angulo, L. L., & Clavijo Cortes, S. (2021). Aspectos de la salud mental que se fortalecen a través de la estrategia de la siembra al interior de algunos grupos familiares de la comuna 18 y 54 de Santiago de Cali. [Tesis de pregrado]. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/1583faa6-c463-47b3-8f2b-ba9d7cd007b2>

Restrepo, P., Sandoval, C., Gallego, L. A., Correa, M. I., Vergara, S. S., & Manosalva, K. (s.f.). Prácticas comunicativas en la agricultura urbana de Medellín. <https://www.redhuerterosmedellin.org/wp-content/uploads/2020/06/practicas-comunicativas-en-agricultura-urbana-en-medellin.pdf>

Gómez Rodríguez, J. N. (2014). Agricultura urbana en América Latina y Colombia: perspectivas y elementos agronómicos diferenciadores. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2749>

Vásquez Peña, C., & Labarca, N. (2012). Calidad y estandarización como estrategias competitivas en el sector agroalimentario. Revista Venezolana de Gerencia (RVG), Volumen (17), 695-708. <https://www.redalyc.org/pdf/290/29024892002.pdf>

viveSaludable. (s.f.). Conoce los beneficios de los huertos caseros en la salud mental. <https://vivesaludable.css.gob.pa/2020/07/21/conoce-los-beneficios-de-los-huertos-caseros-en-la-salud-mental/#:~:text=El%20hecho%20de%20plantar%20y,ansiedad%2C%20y%20favoreciendo%20la%20concentraci%C3%B3n.>

Harina de nopal: análisis de su contenido de fibra cruda y propiedades funcionales para su aprovechamiento en la industria alimentaria

Nopal flour: analysis of its crude fiber content and functional properties for its utilization in the food industry

ADAIMIS ORTIZ ISASA ¹

JHOANIS RAMOS PEINADO ²

EDILBERTO BELLO GUERRERO ³

LUIS ANTONIO RUBIANO OROZCO ⁴

1,2,3,4 Investigador(a) en el Centro Agroempresarial y Acuicola Regional Guajira del SENA, Colombia, como parte del programa Innova y Emprende CAA.

RESUMEN

El nopal (*Opuntia* spp), miembro de la familia de las cactáceas, destaca como recurso agroalimentario gracias a su notable contenido de fibra dietética. Una de las aplicaciones potenciales de este recurso es su deshidratación para la obtención de harina de alta calidad nutricional y sensorial; sin embargo, se requiere determinar sus propiedades funcionales y fisicoquímicas que permita la optimización en la formulación de productos alimenticios. Por ello el objetivo de este trabajo fue evaluar las características funcionales, Índice de Adsorción de agua (IAA), índice de solubilidad (IS), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de hinchamiento (CHI), capacidad de retención de aceite (CRAC) y parámetros fisicoquímicos, fibra cruda y pH de harina de cladodio de nopal. La harina se obtuvo a escala laboratorio, utilizando cladodios de nopal de la variedad *Opuntia caracasana* mediante el método de secado por bandejas, molienda y tamizado. Los resultados de las características funcionales evidenciaron un IAA: 4.77 ± 0.12 g/100g; IS: 52.50 ± 0.18 g/100g; CHI: 10.13 ± 0.1 g/100g; CRA: 4.90 ± 0.21 g/100g y CRAC: 1.82 ± 0.10 g/100g. El contenido de fibra cruda mostró un valor de 31 ± 0.13 /100g y un pH de 4.71 ± 0.08 . Estos hallazgos sugieren el potencial de la harina de cladodio de nopal como ingrediente alimentario para mejorar la estabilidad y consistencia en productos alimentarios.

Palabras clave: Nopal, harina, fibra, propiedades funcionales, tecnología de alimentos

ABSTRACT

The nopal (*Opuntia* spp), a member of the cactus family, stands out as an agri-food resource due to its notable dietary fiber content. One potential application of this resource is its dehydration to obtain high-quality nutritional and sensory flour; however, it is necessary to determine its functional and physicochemical properties to optimize the formulation of food products. Therefore, the aim of this study was to evaluate the functional characteristics, Water Adsorption Index (WAI), solubility index (SI), water holding capacity (WHC), swelling capacity (SWC), oil holding capacity (OHC), and physicochemical parameters, crude fiber, and pH of nopal cladode flour. The flour was obtained on a laboratory scale using nopal cladodes of the *Opuntia caracasana* variety through tray drying, milling, and sieving methods. The results of the functional characteristics showed a WAI of 4.77 ± 0.12 g/100g; SI: 52.50 ± 0.12 g/100g; WHC: 4.90 ± 0.12 g/100g; SWC: 10.13 ± 0.12 g/100g and OHC: 1.82 ± 0.12 g/100g. The crude fiber content showed a value of 31 ± 0.13 /100g and a pH of 4.71 ± 0.08 . These findings suggest the potential of nopal cladode flour as a food ingredient to improve stability and consistency in food products.

Keywords: Nopal, flour, fiber, functional properties, food technology

INTRODUCCIÓN

Los alimentos sostenibles, caracterizados por su valor nutritivo y bioactivo, no solo contribuyen positivamente a la salud de los consumidores y al desarrollo económico, sino que también desempeñan un papel crucial en la mitigación del impacto ambiental derivado de las prácticas agrícolas convencionales de monocultivo (Conti et al., 2021). En este contexto, el nopal (*Opuntia* spp), considerado una planta alimenticia no convencional, se perfila como un cactus con gran potencial para el desarrollo de alimentos nutraceuticos y funcionales gracias a la presencia de sustancias bioactivas y antioxidantes dietéticos (de Lima Moura et al., 2023).

En departamento de la guajira, Colombia, existen especies de cactus aún poco estudiadas, representado una fuente de alimento con propiedades tecnológicas para posibles aplicaciones en la industria alimentaria, como son *Pereskia guamacho*, *Cereus repandus*, *Hylocereus undatus* y *Opuntia caracasana* (Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corpoguajira), 2021). El potencial alimenticio de estas especies en el semiárido del departamento de la guajira, no solo ayuda a mitigar los impactos del cambio climático, sino que también enriquece la disponibilidad de alimentos nutritivos, especialmente para comunidades en situación de vulnerabilidad. Además, esta iniciativa promueve el desarrollo de la agricultura familiar y fomenta el uso de prácticas agroecológicas para la producción de alimentos innovadores (Monteiro et al., 2023).

En la industria alimentaria, los cactus ofrecen una amplia gama de ingredientes funcionales que tienen diversos usos, tal es el caso de su alto contenido de fibra el cual puede emplearse como agente espesante natural en una variedad de productos, incluyendo salsas, sopas y productos de panadería, lo que mejora su textura y consistencia en boca (Hussain et al., 2022).

A sí mismo, los mucílagos, presentes en los cactus, tienen la capacidad de absorber agua y actuar como agentes estabilizadores en aplicaciones que van desde recubrimientos comestibles hasta formulaciones de alimentos sin gluten (de Andrade Vieira et al., 2021). Además, la tuna de *Opuntia* spp. es rica en pectina, especialmente en sus frutos y cladodios, lo que la convierte en un ingrediente valioso debido a sus propiedades gelificantes y estabilizantes, utilizadas ampliamente en la producción de jaleas, mermeladas y dulces, así como en la estabilización de bebidas proteicas ácidas como el yogur (Chandel et al., 2022). Por otra parte, los beneficios para la salud asociados con los cactus se atribuyen a la presencia de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos, carotenoides y betalaínas, que se encuentran tanto en los frutos como en los cladodios (Mointiel et al., 2021).

Las frutas de nopal, en especial los cladodios, son reconocidas por su contenido proteico superior en comparación con otras frutas comunes, con valores que varían entre 1,2 y 2,0 g de proteína por cada 100 g (Ruiz et al., 2018). Además, la tuna se destaca como una fuente significativa de fibra dietética, conteniendo entre 3,0 y 5,0 g por cada 100 g (Mazari et al., 2018). Sin embargo, la calidad de los productos derivados del nopal puede fluctuar debido a diversos factores, incluyendo las condiciones de cultivo, los métodos de recolección y procesamiento, y los estándares de control de calidad aplicados. Por tanto, es crucial que los consumidores busquen productos que cumplan con los estándares de seguridad alimentaria y las regulaciones establecidas (Saparbekova et al., 2021).

En esta línea, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar diversas características funcionales, tales como el Índice de Adsorción de Agua (IAA), el Índice de Solubilidad (IS), la Capacidad de Retención de Agua (CRA), la Capacidad de Hinchamiento (CHI), la Capacidad de Retención de Aceite (CRAC), así como parámetros fisicoquímicos como la fibra cruda y el pH de la harina derivada de la cladodio de nopal.

METODOLOGÍA

Obtención de Harina

Mediante un muestreo aleatorio se recolectaron cladodios de nopal, variedad *Opuntia caracasana*, en el norte del departamento de La Guajira, Colombia. Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas correctamente rotuladas y almacenadas temporalmente en refrigeración. Posteriormente fueron trasladadas al laboratorio de Control de Calidad de Alimentos del Centro Agroempresarial y Acuícola, ubicada en el Km 1 vía Barrancas, Fonseca la Guajira (Latitud: 10° 53' 46.963907" N Longitud: 72° 49' 42.452689" W).

Los cladodios fueron sometidos a un pretratamiento que incluyó desespinado manual, lavado y corte en bastones de 2x1 cm. Luego, se dispusieron en bandejas metálicas y se secaron en una estufa con circulación de aire a 60° C durante 24 horas. Posteriormente, se procedió a moler y tamizar el material (malla 80, tamaño de 177 micrones), y el producto molido se envasó en frascos de vidrio estériles. Estos recipientes se almacenaron en un ambiente seco a una temperatura de aproximadamente 25° C (Castillo et al., 2013).

Fibra cruda y pH

La determinación del contenido de fibra cruda se determinó siguiendo los procedimientos estipulados por la AOAC (2019). Se tomaron 2 gramos de muestras y se colocaron en un vaso de precipitados de un litro (1 L), seguido por la digestión de la muestra en una placa calefactora durante una hora utilizando una mezcla de volumen igual de 2,5 M de H₂SO₄ y 2,5 M de NaOH. Posteriormente, se realizó la filtración humedeciendo con etanol. El filtrado resultante se secó en una estufa a 100°C hasta alcanzar un peso constante (W1). Luego, las muestras secas en estufa se incineraron a 600°C durante 3 horas en un horno de mufla. Una vez enfriada a temperatura ambiente, se volvió a pesar la muestra incinerada (W2). Su valor fue calculado de acuerdo a la ecuación 1.

Ecuación 1:

$$IS = \frac{(W1 - W2) * 100}{S w}$$

El pH se evaluó con un potenciómetro digital calibrado según AOAC (2019). Se colocó 1 gramo de harina en un vaso de 100 mL y se añadieron 50 mL de agua destilada. La mezcla se dejó reposar durante una hora con agitaciones suaves intermitentes. Posteriormente, se midió el pH con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10 para garantizar una mayor precisión. Los valores de pH obtenidos fueron reportados con dos decimales.

Índice de adsorción de agua (IAA) e índice de solubilidad (IS)

La determinación del IS y del IAA se llevó a cabo utilizando el procedimiento descrito por Anderson et al. (1969). Los valores de IS y AA fueron calculados mediante las ecuaciones 2 y 3, respectivamente. Los resultados se expresan en porcentaje (g/100g).

Ecuación 2:

$$IS = \frac{\text{Peso de sólidos secos en sobrenadante}}{\text{Peso de la muestra seca}} * 100$$

Ecuación 3:

$$A A = \frac{\text{Peso del residuo que contenía el agua (g)}}{\text{Peso original de harina de cladodios (g)}}$$

Capacidad de retención de agua (CRA) y aceite (CRAC).

Se llevó a cabo la metodología planteada por Huang et al (2019). Se agregaron 15 ml de agua destilada (aceite de maíz refinado para la determinación de la capacidad de retención) a 1 g de la muestra de harina en un tubo de centrífuga. Los contenidos se mezclaron usando un mezclador vórtex durante 2 minutos y luego se centrifugaron durante 20 minutos a 6000 x g. El sobrenadante se descartó. La capacidad de retención de agua se expresó como el peso (en g) de agua unida a 1 g de muestra de harina seca.

Capacidad de hinchamiento (CHI)

Se empleó el procedimiento propuesto por Mata y Vázquez (2014). Se agregaron 1.50 g de harina a 30 ml de agua destilada precalentada a 60°C, luego la mezcla se calentó a baño maría durante 15 minutos. Posteriormente, se centrifugó a 3000 rpm durante 20 minutos a temperatura ambiente, seguido de un proceso de decantación inmediata y medición del volumen. Se transfirieron 10 mL del sobrenadante a un vaso de precipitado de 50 mL y se secaron en un horno durante 5 horas. El poder de hinchamiento se determinó de acuerdo a la ecuación 4.

Ecuación 4:

$$IS = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso de muestra (g)} - \text{Peso seco sobrenadante (g)}}$$

Análisis estadístico

Los resultados se presentaron como promedios $\pm$ desviación estándar. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el software estadístico R studio versión 4.1. Todas las mediciones analíticas se llevaron a cabo en tres repeticiones dentro de un único lote de harina de cladodio de nopal, completando un total de siete variables (7).

Propiedades fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica (pH y Fibra cruda) se incluye en la tabla 1. La harina de cladodio sugiere un producto con alto contenido de fibra y condiciones favorables para su conservación y estabilidad.

Propiedades funcionales

El análisis de las propiedades funcionales de la harina de cladodio se detalla en la tabla 2. En totales se determinaron 5 propiedades, destacando el índice de solubilidad con un calor de 52.50 %.

RESULTADOS

Harina de cladodio

Se obtuvo una harina de 80 mesh con apariencia de polvo fino, homogénea de color verde claro opaco; olor agradable; presentando al tacto manual una textura suave y adherente

DISCUSIÓN

El porcentaje de fibra cruda (FC) determinado en esta investigación supera al reportado por Zarate et al., (2021), al registrar un valor promedio de 14.31% en polvo de nopal deshidratado. Este resultado es comparable al obtenido por Castillo et al (2021), donde las mediciones oscilaron entre 9.12% y 12.07 % en harina de cladodios de nopal recolectados en temporada seca y lluviosa, evidenciando una tendencia a disminuir cuando el material vegetal es obtenido bajo condiciones ambientales lluviosas, cuyos valores de FC abarcan el contenido total de carbohidratos digeribles y no digeribles en las muestras evaluadas.

Hernández et al., (2010) destacan el incremento del contenido de FC en el nopal *Opuntia ficus indica* conforme avanza el grado de madurez, observándose valores entre el 11% y el 23.33% en un rango de 40 a 135 días. Este patrón se asemeja al comportamiento identificado por Hettiarachchi y Gunathilake (2023) en harinas de semillas de *Canavalia gladiata* y *Mucuna pruriens*, tanto germinadas como no germinadas. En este caso, se observó un aumento significativo de FC durante el proceso de germinación, fenómeno que podría explicarse por el incremento en la producción de celulosa y polisacáridos pécticos durante la germinación. Esta variable resulta esencial de vincular, ya que su comprensión óptima puede contribuir a la mejora de las propiedades fisicoquímicas de las harinas.

Se ha documentado que la FC desempeña un papel beneficioso en el sistema digestivo humano al retardar el vaciado del tracto gastrointestinal, reduciendo así la búsqueda de más alimentos y, consecuentemente, contribuyendo a la pérdida de peso en casos de obesidad. Además, se ha señalado que puede mejorar los niveles elevados de azúcar en sangre asociados con la diabetes (Nauck et al., 2021; Oluwajuyitan et al., 2022).

En base a lo anterior, la harina de cladodio de nopal obtenida en esta investigación emerge como una prometedora fuente para la elaboración de alimentos funcionales. No obstante, resulta fundamental discriminar su contenido en cuanto a Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácido (FDA) para lograr una estandarización más precisa sobre el afecto sus características fisicoquímicas y tecnológicas (Vegas, 2021).

En relación con el valor de pH, la harina exhibió un comportamiento ligeramente ácido (4.31). Este hallazgo coincide con Anchondo et al (2021), quienes registraron un pH de 4.35 en harina de nopal (*Opuntia ficus indica*), similar a lo informado por Castillo et al (2013) con un valor promedio de pH de 5.5. Estos valores se sitúan dentro del rango de 4.0 a 7.0 según lo reportado en la literatura para dispersiones modelo de harinas de nopal a diferentes concentraciones (Sáenz et al., 2006). El pH registrado, podría atribuirse a la formación de constituyentes químicos ácidos, como ácidos grasos libres generados por la acción enzimática en presencia de oxígeno, lo cual representa una condición óptima para la estabilidad durante su almacenamiento, (Agu y Jideani, 2014; Daramola et al., 2010).

En cuanto al índice de adsorción de agua se logró determinar porcentajes superiores a los reportados en harinas de pseudocereales compuestos sin gluten seleccionados con valores que oscilan entre 1.43 g/g y 2.12 g/g (Poshadri et al., 2023), capacidad influenciada por la distribución del tamaño de las partículas de la harina. Sin embargo, se han registrado valores aún más altos en harinas de cactáceas, como los 11.4 g de agua sobre peso seco encontrados en harina de cladodios de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Fabela et al., 2022).

Varias investigaciones han destacado la alta capacidad de absorción de agua en harinas de origen vegetal, especialmente después de incorporar harina de soja con alto contenido proteico en mezclas de harina (Alake et al., 2016; Oyeyinka et al., 2020; Ijabadeniyi et al., 2023). Este fenómeno se atribuye al alto contenido de proteínas, que tienen cadenas laterales hidrófilas capaces de retener grandes cantidades de agua, dada la capacidad para formar enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua y los grupos polares presentes en sus cadenas polipeptídicas (Mohajan et al., 2018). Por lo tanto, la combinación de harina de cladodio de nopal con otras harinas vegetales podría ofrecer beneficios para mejorar las propiedades texturales de las pastas resultantes durante la cocción.

En lo relacionado con el índice de solubilidad (IS), Dussán et al., (2019) encontró un IS de 11,32 % para la harina de chontaduro y de 11,18 % para la harina de quinua, cifras distintas a las registradas por Rodríguez et al., (2012), quienes reportaron un IS de 5,10% para la harina de quinua y de 2,09% para la harina de trigo. Estos valores son menores a los obtenidos en el presente estudio, lo que podría estar relacionado con la cantidad de sólidos disueltos por el agua, influenciada a su vez por el grado de secado de la harina, teniendo en cuenta que un prolongado de secado puede provocar la ruptura de cadenas de almidón y la formación de cadenas más cortas, que retienen un mayor número de moléculas de agua (García y Vázquez, 2016).

Las capacidades de retención de agua (CRA) y de aceite (CRAC) están influenciadas por la estructura de las moléculas de proteínas, así como por su polaridad y composición de aminoácidos (Di Cairano et al., 2020). En un estudio similar, Badia et al (2023) compararon la CRAC y CRA de siete harinas vegetales (garbanzo, lenteja, lenteja roja, frijol blanco, quinua, amaranto y avena), evidenciando valores que oscilaron entre 0,72 y 1,64 g/g para CRA. Destacaron las harinas de frijol blanco y avena con valores más altos. En cuanto a CRAC, los valores fluctuaron entre 0,69 y 0,97 g/g, siendo las harinas de avena y quinua las que mostraron una mayor capacidad de retención de aceite.

La variabilidad en los resultados de CRAC y CRA en referencia a la literatura podría estar asociada al mayor carácter hidrofóbico de las proteínas presentes en la harina de cladodio (Dakhili et al., 2009), así como al contenido de almidón y a los tamaños de partículas presentes en las harinas. Por lo tanto, la harina de cladodio podría mostrar un potencial para mejorar la retención del sabor y ser altamente aceptable en sistemas alimentarios (Du et al., 2014)

La capacidad de hinchamiento obtenida (10.13 g/g) se sitúa dentro de los rangos observados en harinas de frutas tropicales y harina de trigo, que varían entre 2 y 15 g/g (Huang et al., 2019). El contenido de fibra puede explicar la alta capacidad de hinchamiento de la harina de cladodio, la cual está relacionada con su capacidad de retención de agua. Esto se debe a la propiedad de la fibra para absorber agua, resultado de la abundancia de grupos hidroxilo en los polisacáridos, lo que facilita una mayor interacción del agua a través de enlaces de hidrógeno (Berggren, 2018).

Un estudio similar llevado a cabo en harinas de trigo, papa, arroz y cereales verdes reveló que la capacidad de hinchamiento de la harina está influenciada por diversos factores, como el tamaño del grano, el tipo o variedad, el método de procesamiento y la cantidad de carbohidratos, así como por la gelatinización del almidón (García et al., 2012). El poder de hinchazón está estrechamente relacionado con la capacidad de hidratación del almidón disponible, ya que este posee estructuras ramificadas tridimensionales que facilitan la retención de agua (Chiranthika et al., 2022).

CONCLUSIONES

La harina de cladodios de nopal de la variedad *Opuntia caracasana* exhibió propiedades fisicoquímicas y funcionales superiores a las encontradas en la literatura científica. Este hallazgo sugiere que podría ser una adición beneficiosa en la industria alimentaria del departamento de La Guajira. Especialmente, podría mejorar las propiedades texturales durante la cocción y sustituir parcialmente harinas tradicionales en la elaboración de alimentos. Por lo tanto, la siguiente fase de este estudio involucraría explorar cómo estas variedades de harina podrían ser utilizadas en diferentes contextos y aplicaciones dentro del ámbito alimentario.

Dentro de las variables evaluadas en esta investigación, se destaca el porcentaje de fibra cruda determinada. Esta fibra resalta su potencial como agente espesante natural en diversos productos alimenticios, como salsas, sopas y productos de panadería, mejorando su textura y sensación en boca. Además, puede aprovecharse en el desarrollo de productos alimenticios para el control del peso, gracias a su propiedad de unirse a la grasa de la dieta y promover la salud intestinal del consumidor. Por ende, es esencial evaluar su composición insoluble y soluble para una mejor estandarización.

Esta investigación se suma a la tendencia de desarrollar productos que promuevan la salud, al explorar el uso de cladodios de nopal en la alimentación. Esto implica enfrentar desafíos tanto tecnológicos como de marketing. Además, agrega valor a estas especies de cactus en el mercado local y contribuye al desarrollo sostenible del medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos del Centro Agroempresarial y Acuícola Fonseca, la Guajira, por su apoyo técnico y teórico en la ejecución de este proyecto. Además, los autores agradecen al predio el Carretal ubicado en el departamento de la Guajira por permitir la realización de los trabajos de campo y toma de muestras.

REFERENCIAS

Agu, H., & Jideani, M. (2014). Effects of Steaming Duration and Preservatives on Storage Stability of Pearl Millet Based Instant Dambu.

Alake, O., Babajide, J., Adebowale, A., & Adebisi, M. (2016). Evaluation of physico-chemical properties and sensory attributes of cassava enriched custard powder. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1246116.

Anchondo, C., Loya, J., Galicia, T., Estrada, I., Mendoza, M., Castellanos, L., & Soto, C. (2021). Development of a third generation snack of rice starch enriched with Nopal flour (*Opuntia ficus indica*). *Molecules*, 26(1), 54.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfiefer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today*.

AOAC. (2019). Association of Official Analytical Chemistry. 21th Ed. Gaithersburg, MD (Estados Unidos): AOAC International; 2019.

Badia, C., Laguna, L., Haros, C., & Tárrega, A. (2023). Techno-Functional and Rheological Properties of Alternative Plant-Based Flours. *Foods*, 12(7), 1411.

Berggren, S. (2018). Water holding capacity and viscosity of ingredients from oats: the effect of b-glucan and starch content, particle size, pH and temperature. *Linnaeus University, Sweden*.P.32.

Castillo, S., Estrada, L., Margalef, M., & Tóffoli, S. (2013). Obtención de harina de nopal y formulación de alfajores de alto contenido en fibra. *Diaeta*, 31(142), 20-26.4.

Castillo, S., Pacheco, Z., Baños, S., Aguilar, R., Bermudez, B., Gudiño, P & Cervantes, A. (2021). Análisis químico proximal y térmico en harinas de productos residuales de nopal (*Opuntia ficus-indica*) para obtención de compuestos poliméricos biobasados. *Agrociencia*, 55(5), 403-416.

Chandel, V., Biswas, D., Roy, S., Vaidya, D., Verma, A., & Gupta, A. (2022). Current advancements in pectin: Extraction, properties and multifunctional applications. *Foods*, 11(17), 2683.

Chiranthika, N., Chandrasekara, A., & Gunathilake, K. (2022). Physicochemical characterization of flours and starches derived from selected underutilized roots and tuber crops grown in Sri Lanka. *Food Hydrocolloids*, 124, 107272.

Conti, M, Guzzetti, L., Panzeri, D., De Giuseppe, R., Coccetti, P., Labra, M., & Cena, H. (2021). Bioactive compounds in legumes: Implications for sustainable nutrition and health in the elderly population. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 139-147.

Corpoguajira (2021). Resolución 2217 del 2021. Ministerio de medio ambiente. Disponible en <https://corpoguajira.gov.co/wp/wp-content/uploads/2022/06/Resolucion-No.-2217-del-10-de-Diciembre-de-2021-Gobernacion-de-La-Guajira-MONGUI.pdf>

Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Hosseini, S. M., Shojaee-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. *Food chemistry*, 299, 125161.

Daramola, O; Idowu, M; Atanda, O; y Oguntona, C. (2010). Effects of packaging material on the quality of purpura flour during storage. *African Journal of Food Science*, 4 (5), pp. 258-263.

de Andrade Vieira, É., Alcântara, M., Dos Santos, N., Gondim, A., Iacomini, M., Mellinger, C., & de Magalhães Cordeiro, A. (2021). Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: Extraction, physicochemical and technological properties. *Food Chemistry*, 346, 128892.

de Lima Moura, R., Dutra, L., do Nascimento, M., de Oliveira, J., Viera, V., Dantas, B. & Soares, J. K. (2023). Cactus flour (*Opuntia ficus-indica*) reduces brain lipid peroxidation and anxious-like behavior in old Wistar rats. *Physiology & Behavior*, 272, 114360.

Di Cairano, M., Condelli, N., Caruso, M. C., Marti, A., Cela, N., & Galgano, F. (2020). Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. *Lwt*, 133, 109860.

Du, S., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 308-313.

Dussán, S., Hurtado, D., & Camacho, J. (2019). Granulometría, propiedades funcionales y propiedades de color de las harinas de quinua y chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3-10.

Fabela, H., Castro, M., Montalvo, E., Anaya, L., Vargas, A., Betanzos, G., & Hernandez, J. (2022). Identificación de compuestos bioactivos y características físicoquímicas de la harina de cladodios de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck. *Biotecnia*, 24(1), 46-54.

García, A., & Vázquez, C. (2016). Masa y harina de maiz nixtamalizado. *Investigación y desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 78-82.

García, O., Aiello, C., Chirino, M., Ruíz-Ramírez, J., y Pons, I. (2012). Caracterización físicoquímica y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* check for this species in other resources (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 919-928.

Hernández, M., Contreras, M., Pérez, E., Hernández, G., Rojas, J., Cortes, M., & Rodríguez, M. (2010). Study of nutritional composition of nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at different maturity stages. *The Open Nutrition Journal*, 4(1).

Hettiarachchi, H., & Gunathilake, K. (2023). Physicochemical and functional properties of seed flours obtained from germinated and non-germinated *Canavalia gladiata* and *Mucuna pruriens*. *Heliyon*, 9(9).

Huang, S., Martinez, M., & Bohrer, B. (2019). The compositional and functional attributes of commercial flours from tropical fruits (breadfruit and banana). *Foods*, 8(11), 586.

Hussain, S., Alamri, M., Mohamed, A., Ibraheem, M. A., Qasem, A., Shamlan, G., & Ababtain, I. (2022). Exploring the Role of Acacia (*Acacia seyal*) and Cactus (*Opuntia ficus-indica*) Gums on the Dough Performance and Quality Attributes of Breads and Cakes. *Foods*, 11(9), 1208.

Ijabadeniyi, O., Naidoo, K., Oyedeji, A., Oyeyinka, S., & Ogundele, O. (2023). Nutritional, functional, and pasting properties of maize meal-sprouted soybean flour enriched with carrot powder and sensory properties of the porridge. *Measurement: Food*, 9, 100074.

Mata, M., & Vázquez, M. (2014). Caracterización de harina de Yuca (*Manihot esculenta*) como materia prima para la elaboración de Pastel. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*, 261-272.

Mohajan, S., Orchy, T. N., & Farzana, T. (2018). Effect of incorporation of soy flour on functional, nutritional, and sensory properties of mushroom–moringa-supplemented healthy soup. *Food science & nutrition*, 6(3), 549-556.

Monteiro, S., Almeida, R., Santos, N., Pereira, E., Silva, A., Oliveira, H., & Pasquali, M. (2023). New functional foods with cactus components: sustainable perspectives and future trends. *Foods*, 12(13), 2494.

Montiel, M., García, T., Gómez, A., García, H., & Cano, M. (2021). In vitro gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (*Myrtillocactus geometrizans*). *Food Chemistry*, 342, 128087.

Nauck, M., Wefers, J., & Meier, J. (2021). Treatment of type 2 diabetes: challenges, hopes, and anticipated successes. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 9(8), 525-544.

Oluwajuyitan, T., Ijarotimi, S., & Fagbemi, T. (2022). Nutritional property, antioxidant activity and dyslipidemia ameliorating potential of protein-fiber enriched dough meals in high-fat induced rats. *Food Frontiers*, 1-16.

Oyeyinka, S., Adebayo, A., Oyeyinka, A., Akeem, A., Garuba, T., & Oladunjoye, A. (2020). Flour functionality, physicochemical and sensory properties of steamed and baked maize meal enriched with defatted soybean. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(4), e14389.

Poshadri, A., Deshpande, H., Machewad, G., Kshirsagar, R., Gadhe, K., & Kadam, S. (2023). Functional properties of selected composite gluten-free pseudocereals flour. *Food and Humanity*, 1, 1200-1205. *procesamientos. Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 919-928.

Rodríguez, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 199-207.

Ruiz-Torralba, A., Guerra-Hernández, E. J., & García-Villanova, B. (2018). Antioxidant capacity, polyphenol content and contribution to dietary intake of 52 fruits sold in Spain. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 1131-1138.

Sáenz, C. Berger H., Corrales García J., Galletti L., García de Cortázar V., Higuera I., Mondragón C., Rodríguez A., Sepúlveda E., & M. Varnero. (2006). “Utilización Agroindustrial del Nopal” Boletín de Servicios Agrícolas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO 162. Roma, Italia, 2006.

Saparbekova A., Latif A., Altekey A. (2021). Risks of Microbiological Contamination of Fruits and Vegetables Used for Food. *Bull. Innov. Univ. Eurasia*; 82:97–102. doi: 10.37788/2021-2/97-102.

Vegas, R. (2021). Efecto del pH y cloruro de sodio sobre las propiedades tecnofuncionales de harina de semillas residuales de linaza (*Linum usitatissimum* L.). *Cátedra Villarreal*, 9(1), 25–37. <https://doi.org/10.24039/cv2021911071>.

Zarate, L., Ménde, G., Alba, R., Abigail, J., & Flores, E. (2021). Efecto del nopal (*Opuntia* spp) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. *Biotecnia*, 23(2), 89-95.

Efecto de dietas artesanales elaboradas con materia prima de la región sobre el crecimiento de alevinos de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de recirculación

*Effect of artisanal diets prepared with raw materials from the region on the growth of black tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*) in a recirculation system*

JUAN DAVID VIRGÜEZ TOVAR ¹
ZHARICK TATIANA OSSA RODRÍGUEZ ²
LUISA FERNANDA GARCES SANCHEZ ³
JUAN JOSÉ TRUJILLO NAVIA ⁴
YAQUELINE SILVA PINILLA ⁵
JUAN SEBASTIAN RAMIREZ CERQUERA ⁶
MARGARITA SILVA PINILLA ⁷
CONSTANZA OLAYA LARA ⁸
YONATHAN DAVID GARZÓN CARRILLO ⁹
RONALD AUGUSTO CERQUERA ESCOBAR ¹⁰

1-10 Estudiantes de Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana Sede Garzón.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue evaluar el crecimiento y la aceptación alimenticia en alevinos de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) alimentados con tres tipos de dieta durante un período de 10 días. Se diseñaron dos dietas artesanales, mientras que un tercer tratamiento consistió en una dieta comercial con harina de pescado, utilizada como control. Los alevinos fueron alojados en tres tanques plásticos de 15 litros de capacidad cada uno, equipados con un sistema de recirculación de agua que incluía una bomba sumergible (18 L/min), un filtro compuesto por malla plástica, carbón activado, filtros de cerámica, arena y un termostato. Durante el experimento, se mantuvieron las condiciones óptimas del agua, con un pH de 7,65, una temperatura de 30 °C, oxígeno disuelto de 3 mg/L y conductividad de 210 μ S/cm, lo que garantizó un ambiente adecuado para los peces. En cuanto al peso inicial (día 0), los alevinos presentaron promedios de 1,21 g, 1 g y 1,02 g para las dietas 1, 2 y 3, respectivamente, alcanzando 1,9 g, 2 g y 1,7 g en el día 10 del cultivo. Los resultados obtenidos mediante análisis estadístico, con intervalos de confianza al 95% y el método Fisher LSD, no mostraron diferencias significativas entre los promedios de peso de las tres dietas. En cuanto a la mortalidad, se registraron valores entre el 62,5% y el 68,7% en todos los tratamientos. Estos hallazgos indican que las dietas no presentaron diferencias significativas en el peso de los alevinos ni en la mortalidad ($p \geq 0,005$) lo que sugiere que, bajo las condiciones estudiadas, las materias primas utilizadas pueden ser una buena alternativa para la elaboración de dietas artesanales.

Palabras clave: Tilapia, dietas artesanales, sistema de recirculación, nutrición acuícola, calidad del agua.

ABSTRACT

The objective of this project was to evaluate the growth and feed acceptance of black tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings fed three types of diet over a 10-day period. Two artisanal diets were designed, while a third treatment consisted of a commercial diet with fishmeal, used as a control. Fingerlings were housed in three plastic tanks with a capacity of 15 liters each, equipped with a water recirculation system that included a submersible pump (18 L/min), a filter composed of plastic mesh, activated carbon, ceramic filters, sand, and a thermostat. During the experiment, optimal water conditions were maintained, with a pH of 7.65, a temperature of 30 °C, dissolved oxygen of 3 mg/L, and conductivity of 210 μ S/cm, which guaranteed a suitable environment for the fish. Regarding the initial weight (day 0), the fry had averages of 1.21 g, 1 g and 1.02 g for diets 1, 2 and 3, respectively, reaching 1.9 g, 2 g and 1.7 g on day 10 of the culture. The results obtained through statistical analysis, with 95% confidence intervals and the Fisher LSD method, did not show significant differences between the weight averages of the three diets. Regarding mortality, values between 62.5% and 68.7% were recorded in all treatments. These findings indicate that the diets did not present significant differences in the weight of the fry or in mortality ($p \geq 0.005$) suggesting that, under the conditions studied, the raw materials studied may be a good alternative for the preparation of artisanal diets.

Keywords: Tilapia, artisanal diets, recirculation system, aquaculture nutrition, water quality.

INTRODUCCIÓN

El destacado desarrollo de la acuicultura en Colombia, tanto en la costa como en el interior del país, se debe en gran medida a las ventajas que ofrece el territorio nacional, donde los recursos naturales y los ecosistemas favorecen el cultivo de diversas especies hidrobiológicas. Este proceso se lleva a cabo en varias etapas, que incluyen la producción de alevinos, el levante, engorde, el procesamiento o transformación de la producción acuícola y su posterior comercialización (Parrado-Sanabria, 2012).

El potencial de la acuicultura radica en su capacidad para mejorar la seguridad alimentaria, lo que contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente al ODS 1 (Hambre Cero) y al ODS 12 (Producción y Consumo Responsable). En Colombia, la tilapia representa el 58% de la producción nacional de pescado, debido a su rápida reproducción, alta adaptabilidad y excelente sabor, lo que la convierte en una opción ideal para su cultivo en diferentes regiones (García-Hernández et al., 2024).

Los sistemas de recirculación acuícola (SRA), conocidos en inglés como RAS (Recirculation Aquaculture Systems), son una tecnología utilizada en la cría de peces y otros organismos acuáticos, en la cual el agua de cultivo se reutiliza después de ser tratada mediante métodos físicos, químicos y biológicos. Estos sistemas optimizan el uso del recurso hídrico, ya que permiten un recambio diario de agua inferior al 10%, lo que los convierte en una opción especialmente valiosa en regiones con disponibilidad limitada de este recurso (Urbano, 2020). Sin embargo, requieren un control riguroso de parámetros clave, como la calidad del agua, la densidad de los organismos y la alimentación, aspectos esenciales para garantizar el éxito del cultivo.

Según la FAO (2020), las dietas artesanales en acuicultura son mezclas de ingredientes locales elaboradas manualmente, que emplean forrajes y otros subproductos agrícolas provenientes de áreas cercanas a las piscícolas. Al no incluir alimentos destinados al consumo humano, estas dietas promueven el uso sostenible de los desechos agrícolas, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y reduciendo los costos de alimentación de las especies acuáticas. Además, el documento Guía para la manufacturación artesanal de dietas alternativas de bajo costo para la producción de peces (AUNAP, 2016) propone diversas materias primas alternativas para la alimentación acuícola, tales como hojas de bore (*Alocasia macrorrhiza*), hojas de yuca (*Manihot esculenta*), hojas de plátano (*Musa paradisiaca*), hojas de matarratón (*Gliricidia sepium*), fruto maduro de guayaba (*Psidium guajava*) y cáscaras de cacao (*Theobroma cacao*).

A nivel internacional, se han realizado estudios que evalúan dietas alternativas para el pacú (*Piaractus mesopotamicus*), un pez con hábitos alimenticios herbívoros u omnívoros, con el objetivo de reducir o eliminar la harina de pescado en su alimentación. Las dietas experimentales incluyen ingredientes como harina de soja y subproductos de maíz y ensilados elaborados artesanalmente. Estos fueron probados en sistemas semi-intensivos con peces en fase de engorde. Los resultados mostraron que es posible sustituir completamente la harina de pescado en las dietas del pacú mediante la incorporación de ingredientes locales y económicos, logrando rendimientos productivos adecuados (Wicki, 2024). A nivel nacional, se han realizado investigaciones con harina de microalgas en alevinos de tilapia roja (Rincón et al., 2024). Sin embargo, a nivel local son limitados los estudios que emplean dietas artesanales en acuicultura, lo que restringe el conocimiento sobre su impacto y aplicación en contextos específicos.

Por ello, el objetivo de este proyecto es evaluar el efecto de tres dietas, dos de ellas elaboradas de manera artesanal, sobre el crecimiento y la aceptación alimenticia de alevinos de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de recirculación durante 10 días. Este estudio no solo busca optimizar el desarrollo de los alevinos, sino también analizar la viabilidad de estas dietas para los productores de la región, promoviendo un aprovechamiento eficiente de los recursos y la sostenibilidad de la producción acuícola.

Materiales y métodos

Elaboración de dietas: Se diseñaron tres dietas secas pelletizadas, elaboradas en el laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Surcolombiana, en colaboración con el laboratorio del SENA, Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila. El proceso comenzó con la recolección de materias primas producidas en la región, las cuales fueron seleccionadas, procesadas, limpiadas y secadas. El secado se llevó a cabo en una estufa universal modelo 55 (Memmert GmbH + Co. KG, Model 30-1060), con capacidad de 55 litros y equipada con un sistema de convección forzada y turbina de aire. Este equipo, ubicado en el laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Surcolombiana, sede Garzón (Huila), el cual operó a 60 °C con el ventilador al 50% de eficiencia durante 20 horas.

Una vez secas, las materias primas fueron molidas en un equipo multifuncional de alta velocidad (modelo 2000A de laboratorio), con un voltaje de 110V-60Hz, potencia nominal de 600 W, capacidad de 1 kg (2.2 libras) y velocidad del motor de 25,000 r/min. Cada mezcla fue ajustada a una humedad del 12%. Posteriormente, las materias primas de cada dieta se mezclaron manualmente, añadiendo agua en una cantidad equivalente a un tercio del peso de la muestra. La cantidad de agua obtenida (637 g o 637 cc) se incorporó en forma de aspersión, garantizando una adecuada homogeneización y uniformidad en la humedad, lo cual es crucial para el proceso de pelletizado.

La humedad se verificó mediante la prueba de tacto o de puño, que consiste en comprimir una muestra del material en la mano y observar su comportamiento para determinar de forma práctica y rápida el contenido de humedad.

Con la humedad adecuada, se utilizó una pelletizadora de alimentos FARETTY KL 160, con motor eléctrico WEG de 3 hp (modelo KL 160 S/M), capacidad de producción de 120 a 180 kg/hora y potencia requerida de 3 hp. El equipo se precalentó para asegurar una correcta formación de los pellets. Durante el inicio del proceso, se generaron pérdidas de material debido al llenado de las hendiduras y canales de entrada del equipo. Para evitar atascos que pudieran interrumpir el funcionamiento, la tolva se alimentó gradualmente. Finalmente, los pellets obtenidos se colocaron en bandejas y se trasladaron a una zona al aire libre para su secado al sol, garantizando una adecuada aireación. Este proceso permitió reducir la humedad de los pellets, dejándolos listos para su almacenamiento en un lugar fresco y seco. A continuación, se presenta la composición de cada una de las dietas utilizadas en el experimento:

Tabla 1. Contenido de dietas artesanales

Ingredientes (g)	Dieta 1	Dieta 2	Dieta control
Harina de guayaba	435	-	-
Harina de plátano	2515	-	-
Harina de bore	110	-	-
Harina de avena	525	-	-
Harina de maíz blanco	1005	-	-
Harina de papa cidra	90	-	-
Harina de café	-	860	-
Harina de frijol bola roja	-	1717	-
Harina de maíz amarillo	-	918	-
Harina de matarratón	259	237	-
Harina de cascara de huevo	534	468	-
Harina de pescado	250	250	3000
Vitamina C	10	10	-
TOTAL (g)	5733	4460	3000

Material vivo: Los alevinos fueron obtenidos de la piscícola La Melissa, ubicada en el sector rural de Majo. Esta piscícola se especializa en la incubación y levante de tilapia negra, roja y cachama, siendo los ejemplares de la especie *Oreochromis niloticus*, comúnmente conocida como tilapia negra o mojarra de río, los utilizados en este experimento. Los alevinos fueron incubados en los laboratorios de la empresa, los cuales cuentan con un sistema de recirculación de agua 24/7 con biofiltros. Durante este proceso, la temperatura se mantuvo controlada entre 26,5 °C y 28 °C, y se mantuvo una salinidad del 7‰ para protegerlos de posibles infecciones durante la eclosión. Tres días después del desove, los alevinos fueron trasladados al lago para un proceso de reversión que duró 21 días. Para el experimento se utilizaron 100 ejemplares con 32 días de maduración, alimentados con una dieta del 45% de proteína. Estos ejemplares fueron sembrados en el sistema de recirculación del proyecto.

Montaje del sistema en recirculación: El sistema de recirculación diseñado para el cultivo de alevinos de tilapia empleó materiales sencillos como tuberías de PVC, recipientes plásticos y una bomba. El proceso comienza con una bomba sumergible de 60 W que recircula el agua desde los tanques, que son recipientes plásticos de 15 litros, hasta un reservorio de 20 litros, y luego la devuelve a los estanques, garantizando un flujo continuo. Un termostato se utiliza para regular la temperatura, manteniéndola dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de los peces. Para el ensamblaje, se perforaron los recipientes plásticos de 15 litros en dos puntos claves: una perforación en la parte inferior, que actúa como sifón para drenar el agua hacia el filtro, y otra en la parte superior, que funciona como válvula de nivel conectada entre los estanques. Esto permite mantener un nivel constante y uniforme de agua. Cada sifón está conectado al filtro mediante una llave de paso de ½", que regula el flujo y previene el vaciado excesivo.

El filtro está compuesto por varias capas: la primera es una malla de plástico que retiene las partículas grandes, mientras que el carbón activado, los filtros de cerámica y la arena fina eliminan impurezas menores, compuestos orgánicos y toxinas, asegurando que el agua retorne a los estanques limpia y segura para los alevines. Los tubos de PVC de ½" funcionan como conductos principales, transportando el agua entre los estanques, el filtro y el reservorio. Asimismo, el sistema contó además con un tanque de 30 litros el cual mantuvo el agua en reposo, permitiendo que se elimine el cloro y otros compuestos no deseados.



Figura 1. Sistema de recirculación utilizado en el experimento

Sembrado y determinación de peso y mortalidad: Para el experimento, se seleccionaron 48 alevinos de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) con un peso promedio inicial de 1,07 gramos. Estos fueron distribuidos equitativamente en tres tanques plásticos de 15 litros, colocando 16 ejemplares en cada uno dentro del sistema de recirculación. Antes de la siembra, se realizó un proceso de maduración del agua en los tanques, dejándolos reposar durante tres días para que el cloro y otros compuestos se asientan en el fondo, mejorando así las condiciones del agua para los peces.

Posteriormente, los alevinos fueron introducidos en los tanques dentro de la bolsa en la que llegaron, y se les dejó un período de adaptación de 5 horas para que se adaptaran a las condiciones del sistema. Después de este tiempo, se retiró la bolsa y los peces quedaron en sus respectivos tanques.

El monitoreo del peso se realizó a los 5 y 10 días del inicio del experimento. Para ello, se utilizó una balanza digital de precisión en gramos. Se extrajeron cuidadosamente 5 alevinos de cada tanque, se pesó cada uno y luego se devolvieron inmediatamente al agua para minimizar el estrés. El seguimiento de la mortalidad se hizo diariamente mediante una inspección visual de los tanques. Los ejemplares muertos fueron retirados, contabilizados y registrados para asegurar la calidad del agua del sistema y evaluar el impacto de cada dieta en la supervivencia de los alevinos. El porcentaje de mortalidad se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ mortalidad} = (\text{total de peces muertos} \times 100) / \text{total de peces sembrados}.$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones del sistema: Se evaluaron las condiciones iniciales del sistema de cultivo para los alevinos de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) donde se consideró parámetros importantes como el pH, temperatura, oxígeno disuelto y la conductividad del agua. Los siguientes datos corresponden a las mediciones realizadas en el sistema bajo tres diferentes dietas artesanales.

Tabla 2. Mediciones de los parámetros obtenidos.

Parámetros	Dieta 1	Dieta 2	Dieta control
pH	7,65	6,85	6,95
Temperatura (°C)	30	30.3	30.25
Oxígeno disuelto (mg/L)	3	3	3
Conductividad (µS/cm)	210	210	210

En la Tabla 2, se observó que el sistema de cultivo bajo la dieta 1 presentó un pH de 7.65, el valor más alto registrado entre las tres dietas, lo que indicó un entorno ligeramente alcalino. Este nivel de pH fue adecuado para el cultivo de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*), ya que favoreció los procesos metabólicos y optimizó la disponibilidad de nutrientes importantes. La temperatura del agua fue de 30 °C, un valor que se encontraba dentro del rango óptimo (27-32 °C) para el crecimiento y desarrollo de los alevinos. El oxígeno disuelto se mantuvo en 3 mg/L, un nivel aceptable, aunque estuvo en el límite inferior para un rendimiento óptimo, lo que sugirió la necesidad de ajustar la aireación del sistema para garantizar la salud de los peces. Finalmente, la conductividad fue de 210 µS/cm, lo que indicó una concentración estable de minerales disueltos en el agua, favoreciendo un ambiente saludable para los peces.

En el caso del sistema con la Dieta 2, se observó un pH más bajo, con un valor de 6.85, lo que sugirió un medio ligeramente más ácido. Aunque este valor se encontraba dentro de los rangos tolerables, podría haber afectado ciertos procesos bioquímicos en los peces si no se controlaba adecuadamente. La temperatura del agua fue la más alta entre las tres dietas, alcanzando 30.3 °C, lo cual fue adecuado para la tilapia negra, pero requirió un monitoreo constante para evitar que superara los límites críticos. El oxígeno disuelto se mantuvo en 3 mg/L, un valor constante entre las dietas, lo cual fue suficiente para las condiciones actuales del sistema. Al igual que en las demás dietas, la conductividad fue de 210 µS/cm, lo que aseguró uniformidad en la calidad del agua en cuanto a la concentración de sales disueltas.

El sistema control, alimentado con la dieta comercial, mostró un pH de 6.95, situándose en un rango intermedio entre las otras dietas, cercano a la neutralidad. Este pH fue favorable para las condiciones generales del cultivo, ya que fue menos probable que causara efectos adversos sobre los procesos bioquímicos de los peces. La temperatura fue de 30.25 °C, un valor muy cercano al óptimo para el desarrollo de los alevinos, lo que indicó estabilidad térmica en el sistema. El oxígeno disuelto se mantuvo también en 3 mg/L, al igual que en las otras dietas, lo que sugirió que los sistemas podrían haberse beneficiado de una mejora en los niveles de aireación. Finalmente, la conductividad fue de 210 µS/cm, lo que, al igual que en los otros sistemas, demostró consistencia en la calidad del agua en términos de concentración de minerales y otros componentes disueltos.

Análisis bromatológico: A continuación, se presenta los resultados del análisis bromatológico de cada una de las dietas evaluadas:

Tabla 3. Análisis bromatológico de las dietas utilizadas en el experimento

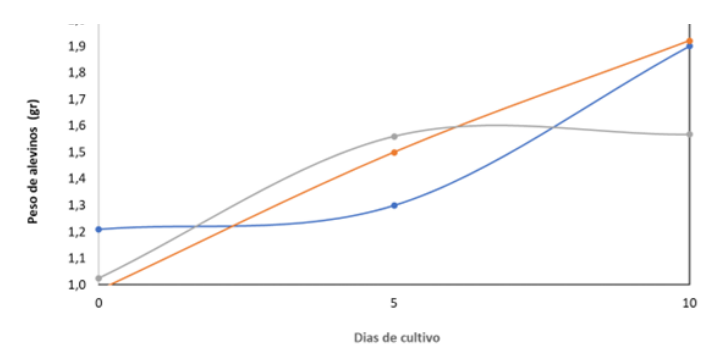
Parámetros	Unidades	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Humedad	%	13,82	13,24	7,90
Cenizas	g/100 g	9,78	12,23	27,59
Grasa	g/100 g	5,23	4,68	15,43
Proteína	g/100 g	7,45	13,13	71,23
Fibra	%	8,11	8,10	1,97
Calorías	Kcal/100 g	331,7	321,5	306,2
Carbohidratos	g/100 g	63,72	56,72	16,22

Según se evidencia en la Tabla 3, el análisis comparativo de las dietas experimentales presenta variaciones en cuanto al aporte nutricional. La dieta 2 posee un contenido de proteínas (13,13 g/100 g) significativamente mayor al que otorga la dieta 1 (7,45 g/100 g), siendo un valor más proximal al nivel recomendado para el desarrollo muscular y el crecimiento general en el manejo de cultivo de tilapia (30-40% de proteína). Esta elevación en su contenido proteico se debe principalmente a su formulación y a la inclusión de ingredientes como el frijol bolo roja y la cacota de café (Noriega-Salazar et al., 2008).

Ambas dietas mostraron niveles de fibra elevados y similares (~8%), lo que podría afectar la digestibilidad de los nutrientes, respecto a un valor idóneo en el cultivo de alevinos de tilapia que debe estar en un 2-5 %. Por otro lado, la dieta 1 presenta un mayor contenido de grasa (5,23 g/100) y una leve superioridad calórica.

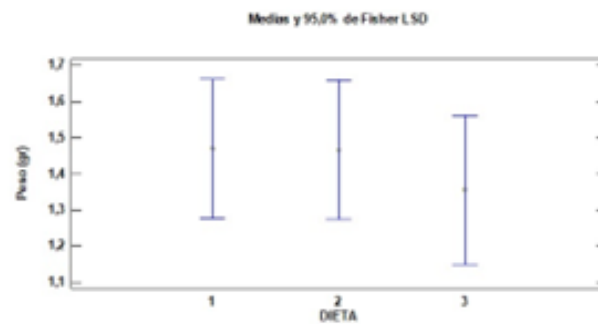
Incremento de peso y mortalidad: Los peces presentaron un incremento de peso desde el día cero hasta los 10 días de cultivo como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Incremento de peso de los alevinos para cada una de las dietas utilizadas



Sin embargo, en el análisis estadístico se pudo observar que las dietas no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) tal como se observa en la gráfica de medias adjunta.

Figura 3. Gráfico de medias para cada uno de los tratamientos evaluados.



Porcentaje de mortalidad de las dietas: Se evaluaron las condiciones iniciales del sistema de cultivo para los alevinos de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) donde se consideró parámetros importantes como el pH, temperatura, oxígeno disuelto y la conductividad del agua. Los siguientes datos corresponden a las mediciones realizadas en el sistema bajo tres diferentes dietas artesanales.

REFERENCIAS

AUNAP. (2016). Guía para la manufacturación artesanal de dietas alternativas de bajo costo para la producción de peces.

FAO. (2020). Extensionismo en acuicultura y dietas alternativas, la fórmula que ha llevado a productores a un nuevo nivel. Obtenido de <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/fr/c/1264162/>

FAO. (2023). Requerimientos nutricionales de la tilapia nilótica. Obtenido de <https://www.fao.org/fishery/en/home>

García-Hernández, N; Lizarazo-Osorio, A; Villamil-Díaz, L; Cobo-Angel, M; Montes-Rodríguez, C. (2024). Modelo de crecimiento de tilapia en sistemas de recirculación para acuicultura. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería. <https://doi.org/10.26507/paper.3828>

Parrado-Sanabria, Y.A. (2012). Historia de la Acuicultura en Colombia. AquaTIC, (37): 60-77.

Noriega-Salazar, A; Silva Acuna, García de Salcedo. R (2008). Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal. Zootecnia Tropical. 26, (4): 411-419

Rincón, D; Velásquez, H; Dávila, M; Semprun, A; Morales, E. & Hernández, J. (2024). Niveles de sustitución de harina de pescado por harina de *Arthrospira* (=Spirulina) máxima en dietas experimentales para alevines de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 25, (3): 430-437.

Urbano, T. (2020). Acuicultura – Sistemas de recirculación y sus ventajas. Agrotendencia.tv. <https://agrotendencia.tv/agropedia/acu/ras-sistemas-de-recirculaci3n-Delaware-agua-es-acuicultura/>

Wicki, G. (2024). Dietas artesanales para acuicultura de recursos limitados. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC). Secretaría de Agricultura y Pesca. 55 p.

Bioconversión Innovadora: Transformación de subproductos piscícolas en nutrientes para peces con larvas de *Tenebrio molitor*

*Innovative Bioconversion: Transformation of fish by-products into nutrients for fish with *Tenebrio molitor* larvae*

JUAN FELIPE RAMÍREZ BUITRAGO ¹

TATIANA NEUTO DÍAZ ²

BRAYAN STEVEN IÑÍGUEZ BENÍTEZ ³

ALBA LILIANA JAIMES CARRILLO ⁴

SILVIA CRISTINA CARRERA QUINTANA ⁵

¹ Gerente General, Dinolabs S.A.S. Bogotá-Cundinamarca, e-mail: juanramirez@dinolabs.dev

² Profesional en Negocios Internacionales & Gerente de proyecto, Dinolabs S.A.S. Bogotá-Cundinamarca, e-mail: directorproyectosdino@gmail.com

³ Ingeniero Mecatrónico & Joven Investigador SENA, Dinolabs S.A.S. Bogotá-Cundinamarca, e-mail: joveninvestigadordino@gmail.com

⁴ Ingeniera de sistemas, Dinolabs S.A.S. Bogotá-Cundinamarca, e-mail: jaimes.liliana@gmail.com

⁵ Dinamizadora Sennova Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila, Garzón-Huila, e-mail: sccarrerag@sena.edu.co

RESUMEN

La industria piscícola en Garzón, Huila, enfrenta desafíos ambientales significativos debido a los subproductos del procesamiento de tilapia y cachama. Estos desechos, como vísceras y escamas, pueden causar contaminación ambiental y riesgos para la salud pública si no se gestionan adecuadamente. Este estudio propone un sistema de bioconversión innovador basado en larvas de *Tenebrio molitor* para transformar estos subproductos en insumos nutritivos para peces, fomentando una economía circular. El proyecto, desarrollado en colaboración con la asociación ASOAGROLUSAR, busca reducir el impacto ambiental y generar una fuente adicional de alimento para peces, mejorando así la seguridad alimentaria. Las larvas de *Tenebrio molitor* ofrecen un perfil proteico de alta calidad, con proteínas y grasas saludables, lo que las convierte en una opción sostenible y eficiente para transformar desechos en biomasa nutritiva. El estudio evaluó la bioconversión a través de tres fases: análisis del impacto ambiental, desarrollo de un sistema de manejo de larvas con monitoreo IoT, y ejecución de un piloto en instalaciones piscícolas. Los resultados demostraron una reducción significativa de residuos, una producción eficiente de biomasa y beneficios económicos para los productores. Este enfoque innovador promueve la sostenibilidad ambiental y económica, ofreciendo una solución efectiva para la gestión de subproductos piscícolas.

Palabras clave: Bioconversión, *Tenebrio molitor*, subproductos piscícolas, Insumos nutritivos. Economía circular

ABSTRACT

The fish industry in Garzón, Huila, faces significant environmental challenges due to by-products of tilapia and cachama processing. These wastes, such as viscera and scales, can cause environmental contamination and public health risks if not properly managed. This study proposes an innovative bioconversion system based on *Tenebrio molitor* larvae to transform these by-products into nutritive inputs for fish, promoting a circular economy. The project, developed in collaboration with the ASOAGROLUSAR association, aims to reduce environmental impact and generate an additional source of fish feed, thus improving food safety. *Tenebrio molitor* larvae offer a high-quality protein profile, with healthy proteins and fats, making them a sustainable and efficient option for turning waste into nutritious biomass. The study evaluated bioconversion through three phases: environmental impact analysis, development of a larval management system with IoT monitoring, and execution of a pilot in fish farming facilities. Results showed significant waste reduction, efficient biomass production and economic benefits for producers. This innovative approach promotes environmental and economic sustainability by providing an effective solution for managing fish by-products.

Keywords: Bioconversion, *Tenebrio molitor*, fish by-products, Nutrient inputs. Circular economy

INTRODUCCIÓN

La industria piscícola en Garzón, Huila, enfrenta importantes desafíos ambientales debido a la generación de subproductos derivados del procesamiento de tilapia y cachama, como vísceras y escamas. Según el Ministerio de Agricultura estos subproductos representan más del 50% del peso total, incluyendo la cabeza (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, s.f.) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, s.f.). Estos desechos, si no se gestionan adecuadamente, pueden causar graves problemas de contaminación ambiental, eutrofización de cuerpos de agua y emisiones de gases de efecto invernadero como el metano. Además, la acumulación de residuos orgánicos puede afectar negativamente la calidad del suelo y representar riesgos para la salud pública (Organización Panamericana de la Salud, 2024).

Tenebrio molitor, conocido comúnmente como el gusano de la harina, es la fase larval de un escarabajo perteneciente al orden Coleoptera y la familia Tenebrionidae, nativo de Europa y distribuido a nivel mundial. Se alimenta principalmente de granos, harinas y sus subproductos. Las larvas son muy valoradas por su facilidad de cultivo y su perfil proteico de alta calidad, lo que ha llevado a su producción industrial para diversos usos, incluyendo la alimentación de mascotas, aves, reptiles, anfibios, pequeños mamíferos y peces (Hammer, 2023). Estas larvas alcanzan su madurez en aproximadamente 8 a 10 semanas. Al madurar, se separan del sustrato y se colocan a temperaturas más bajas (entre 6°C y 15°C) para limpiar sus intestinos. Luego, pueden utilizarse en varias formas: vivas, congeladas, deshidratadas o procesadas en forma de harina (Vida Sustentable).

Desde el punto de vista nutricional, los gusanos de la harina son una fuente rica en proteínas (Medrano Vega, 2016), con un contenido que varía entre el 40% y el 55% en base a la materia seca, así como un contenido graso de entre el 20% y el 30%, dependiendo de la dieta y los factores ambientales. Sus proteínas son de alta calidad, proporcionando aminoácidos esenciales como la lisina y la treonina (European Food Safety Authority, 2024). Sin embargo, el contenido de metionina muestra resultados variables según diferentes estudios, ya que algunos indican deficiencias, mientras que otros no lo evidencian. Además, *Tenebrio molitor* es una excelente fuente de diversas vitaminas, especialmente del complejo B (B2, B5 y B12), las cuales son fundamentales para el metabolismo energético, así como vitamina E, que desempeña un papel clave en las funciones antioxidantes (Protiberia, s.f.).

Tenebrio molitor ha sido reconocido como un recurso sostenible clave. Este documento forma parte de un estudio sobre su producción, en particular en su estado larval, junto con el uso de diversas especies de peces dentro de una economía circular. Se profundiza en los aspectos previamente mencionados, identificando información relevante a partir de fuentes secundarias, siguiendo un proceso de revisión y análisis heurístico. Para obtener más detalles sobre este organismo, se puede consultar obras como las de Lima, Pittaluga, Lovatto, Veiverberg, Borille y Lazzari (2021), entre otras.

A medida que aumenta la escala de la producción de *Tenebrio molitor*, se le reconoce cada vez más como una opción viable para la producción alimentaria sostenible. Sus aplicaciones incluyen no solo la alimentación animal (como alimento para peces), sino también el consumo humano directo, en forma de polvo de proteína, así como su uso como ingrediente en productos alimenticios como barras energéticas y suplementos (Agrozapiens, 2023).

La bioconversión mediante insectos, como las larvas de *Tenebrio molitor*, ha sido estudiada en diversos contextos debido a su capacidad para transformar desechos orgánicos en biomasa de alta calidad. Las larvas se alimentan de residuos orgánicos y los convierten en nutrientes aprovechables en la alimentación animal (Sanabria-García, 2023). Este enfoque se alinea con las teorías sobre manejo sostenible de residuos y biotecnología aplicada a la producción de alimentos.

El proyecto se llevó a cabo en tres fases principales: 1) Evaluación del impacto ambiental actual de los subproductos generados durante el procesamiento de tilapia y cachama en Garzón, Huila. Se midieron parámetros como la cantidad de residuos generados, su composición y los efectos sobre el agua y el suelo, 2) Desarrollo de un sistema de manejo de larvas de *Tenebrio molitor*, que incluyó técnicas avanzadas de cría y alimentación, así como el uso de tecnologías de información para el monitoreo continuo de variables críticas como temperatura, humedad y tasas de conversión de residuos, 3) Ejecución de un piloto de bioconversión en una instalación piscícola en Garzón, utilizando los subproductos del procesamiento de tilapia y cachama como alimento para las larvas. Se evaluó la eficiencia del sistema en términos de reducción de residuos y producción de biomasa de calidad.

Este proyecto tiene el potencial de transformar un problema ambiental en una solución sostenible, beneficiando tanto al medio ambiente como a los productores de pescado en Garzón, Huila. Al promover una economía circular y mejorar la seguridad alimentaria, el uso de larvas de *Tenebrio molitor* para la bioconversión de subproductos piscícolas representa una innovación significativa en la gestión de residuos y la producción de alimentos.

Por tanto, el objetivo de este proyecto es implementar un sistema innovador de bioconversión utilizando larvas de *Tenebrio molitor* para transformar subproductos piscícolas en insumos nutritivos para peces, promoviendo así una economía circular dentro de la industria piscícola, específicamente en los miembros de la asociación ASOAGROLUSAR.

Materiales y métodos

Descripción del entorno, la población y la muestra: El estudio se realizó en Garzón, Huila, una región con un alto nivel de producción piscícola, y, por ende, una significativa generación de subproductos. El clima de la región presenta temperaturas promedio que van entre 25°C a 30°C. Para nuestro estudio, la población se conformó por los subproductos generados por las piscigranjas de tilapia y cachama. Se tomó una muestra representativa de los desechos generados, incluyendo vísceras y escamas, seleccionados en función de su disponibilidad y su potencial de bioconversión. La proporción utilizada fue de 1:1, es decir, por cada kilo de larvas, se empleó un kilo de desechos.

Variables de Análisis y Parámetros Críticos de Operación:

Variables Independientes:

- Temperatura de operación de la unidad de bioconversión (26°C a 32°C).
- Humedad relativa (60% $\pm$ 20%).
- Cantidad y tipo de desechos utilizados como alimento.

Variables Dependientes:

- Eficiencia de conversión de desechos.
- Tasa de supervivencia y crecimiento de las larvas.
- Calidad del producto final (larvas y frass).
- Impacto ambiental medido por la reducción de residuos y emisiones.

Parámetros Críticos:

- Temperatura: 26°C a 32°C (Límites críticos: 17°C y 40°C).
- Humedad Relativa: 60% $\pm$ 20% (Límites críticos: 40% y 80%).

Sistemas Principales de la Unidad de Bioconversión:

Invernadero o Hábitat: Espacio físico que delimita la unidad, protegiéndola del clima exterior y proporcionando acceso a energía y agua.

Control de Clima: Equipos que monitorean y mantienen las condiciones óptimas de temperatura y humedad.

Terrarios: Contenedores diseñados para albergar a las larvas, suministrándoles sustrato y desechos para su alimentación y cría.

Monitoreo y Control de Parámetros de Proceso: Sistemas para registrar datos y gestionar información, incluyendo conectividad a internet y cámaras para visualización.

Laboratorio y Medición: Equipos para la toma de muestras y medición de parámetros, tales como: calentadores, nebulizadores, deshumidificadores, entre otros.

Manejo de Desechos e Insumos: Infraestructura necesaria para la gestión adecuada de los desechos utilizados como alimento para las larvas.

Procedimiento Metodológico: En la primera fase, se planificó definir el alcance del diagnóstico, los objetivos específicos y las visitas técnicas de expertos. Para ello, se elaboró un plan detallado que contempló etapas de revisión de documentación técnica, inspección in situ y entrevistas. Los datos obtenidos fueron analizados para evaluar la eficiencia del proceso. Los resultados se compararon con los estándares o mejores prácticas, se identificaron áreas de mejora a partir del diagnóstico y se propuso un modelo de escalamiento preindustrial, implementando los ajustes necesarios.

Para el diseño del prototipo de la unidad de bioconversión de desechos, se definieron el alcance y los recursos necesarios. A continuación, se desarrolló un plan detallado para el diseño y la implementación del modelo.

El diseño detallado de la unidad de bioconversión fue realizado, incluyendo la creación de manuales de proceso, listados de equipos y especificaciones técnicas. Finalmente, se evaluaron la capacidad de producción, la eficiencia del proceso y los costos, comparando los resultados con los objetivos y estándares de calidad. Se realizaron ajustes en el diseño del prototipo en función de los resultados obtenidos y se prepararon los recursos para su implementación.

Se adquirieron los equipos e insumos necesarios para la puesta en marcha del piloto de bioconversión y se habilitó el área de instalación del prototipo. Además, se definieron los cronogramas detallados de implementación. Posteriormente, se fabricó e instaló el prototipo, configurando los sensores y el sistema de monitoreo para la recolección de datos. Se realizaron pruebas iniciales y se ajustaron los sistemas según fuera necesario. Luego, se evaluaron los resultados de las pruebas y los datos en tiempo real, analizando la capacidad de producción y la viabilidad para la fabricación de abono. Finalmente, se tomaron decisiones basadas en los datos recopilados para mejorar la eficiencia del sistema y se realizaron los ajustes correspondientes en la implementación.

Técnicas y herramientas de recolección de datos:

Las técnicas y herramientas utilizadas en el proyecto se basaron en tecnología IoT (Internet of Things) y en el uso de sensores avanzados para la monitorización de variables críticas como temperatura y humedad relativa. Los datos recolectados fueron registrados y gestionados mediante el software Sentinelia, una plataforma diseñada para almacenar y organizar bitácoras de manera eficiente. Estas bitácoras, actualizadas semanalmente, se vincularon directamente con las pruebas de alimentación realizadas a las larvas de *Tenebrio molitor*. Sentinelia estuvo conectada a dispositivos IoT, como sensores y calefactores, que permitieron controlar el ambiente para asegurar las condiciones óptimas de supervivencia de las larvas.

El software también permite crear y gestionar lotes de producción, especificando la dieta administrada a cada grupo. Esto facilita el monitoreo semanal del peso de las larvas, determinando el momento en que están listas para su uso, y genera informes detallados sobre el estado general de la unidad. Estos informes incluyen información sobre el estado de los lotes, el terrario y los equipos, contribuyendo a un manejo integral y eficiente del proceso de bioconversión.

Para medir el peso, se utilizaron balanzas de precisión con capacidad de hasta 0.01 g, cumpliendo con los estándares de calibración. Estas balanzas permitieron la medición precisa de las dietas de alimentación, el sustrato de las larvas y el peso promedio de las larvas vivas, muertas y transmutadas. El software Sentinelia también permitió centralizar y categorizar los datos obtenidos, generando reportes automáticos que integraban información sobre los pesos corporales de las pupas, la tasa de mortalidad, pupas vivas, pupas muertas, pupas transmutadas, escarabajos vivos y escarabajos muertos.

Descripción de las Pruebas Realizadas: Para monitorear y evaluar el desempeño de los sistemas de calefacción y deshumidificación en una unidad de aproximadamente 25 metros cuadrados, se diseñaron y ejecutaron pruebas específicas. En este sentido, se utilizaron 15 sensores de temperatura (Tem-S1 a Tem-S15) distribuidos estratégicamente dentro de las bandejas, con el fin de registrar los datos de temperatura y humedad en diferentes ubicaciones y a lo largo del tiempo.

		RAKS			
		R1	R2	R3	R4
TERRARIOS	T1	SENSOR 13		SENSOR 7	SENSOR 1
	T2		SENSOR 10		SENSOR 4
	T3				
	T4				
	T5		SENSOR 11		SENSOR 5
	T6	SENSOR 14		SENSOR 8	SENSOR 2
	T7				
	T8				
	T9		SENSOR 12		SENSOR 6
	T10	SENSOR 15		SENSOR 9	SENSOR 3

Distribución de Sensores

Figura 1. Distribución de sensores

El objetivo fue controlar la temperatura y la humedad ambiente en la unidad utilizando diferentes equipos, como calentadores, nebulizadores y deshumidificadores. Los sensores permitieron rastrear cómo estos dispositivos afectaron la temperatura en diversas áreas de la unidad. Se planteó una función para registrar los valores de temperatura y humedad ambiente de la unidad, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

Tabla 1. Formulas aplicadas

Equipo	Estado (ON/OFF)	Equipo	Estado (ON/OFF)
Extractor 1	OFF	Ventilador 1	OFF
Extractor 2	OFF	Ventilador 2	OFF
Calentador 1	OFF	Humidificador	OFF
Calentador 2	OFF	Deshumidificador	OFF
Sistema de Nebulización		OFF	

A. Estado inicial

Equipo	Estado (ON/OFF)	Equipo	Estado (ON/OFF)
Extractor 1	OFF	Ventilador 1	ON
Extractor 2	OFF	Ventilador 2	ON
Calentador 1	ON	Humidificador	OFF
Calentador 2	ON	Deshumidificador	ON
Sistema de Nebulización		OFF	

B. Etapa de calefacción

Equipo	Estado (ON/OFF)	Equipo	Estado (ON/OFF)
Extractor 1	ON	Ventilador 1	ON
Extractor 2	ON	Ventilador 2	ON
Calentador 1	OFF	Humidificador	ON
Calentador 2	OFF	Deshumidificador	OFF
Sistema de Nebulización		ON	

C. Etapa de refrigeración

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS:

El análisis se llevó a cabo utilizando metodologías estandarizadas para el estudio de la biomasa y el comportamiento de *Tenebrio molitor*, considerando los siguientes aspectos técnicos:

Variables de Estudio:

- **Peso Individual:** Se utilizó una balanza analítica con precisión de ± 0.01 g para medir el peso de cada larva, pupa y escarabajo.
- **Masa Total del Sistema:** Se registró el peso del terrario con los especímenes para calcular la masa neta de los insectos.
- **Peso de Especímenes Fallecidos:** Los organismos fallecidos se pesaron para evaluar pérdidas de biomasa.
- **Peso de Especímenes Transmutados:** Se midió el peso inicial y final de larvas y pupas que avanzaron a la siguiente etapa para calcular su eficiencia de conversión de masa.

Condiciones Experimentales:

- **Control de Temperatura y Humedad:** El terrario se mantuvo en un rango de temperatura de 25-28 °C y humedad relativa de 55-70%.
- **Fotoperiodo:** Ciclo de luz/oscuridad de 12:12 horas para simular condiciones naturales.

Suministro de Alimento:

- **Dietas Experimentales:** Formuladas con diferentes proporciones de proteína, carbohidratos y lípidos, incluyendo harina de trigo, subproductos de pescado y residuos vegetales.
- **Cantidad de Alimento:** Calculada en función del peso corporal promedio de las larvas, con una ración inicial de 5-10% de su peso fresco.

Frecuencia de Registro:

- **Mediciones Semanales:** Para algunos grupos y quincenales para otros, dependiendo de la tasa de desarrollo.
- **Análisis de Datos:** Identificación de patrones de crecimiento, mortalidad y eficiencia en la conversión alimenticia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el caso de las condiciones establecidas en la tabla 1ª, los datos de temperatura recolectados por múltiples sensores a lo largo del día mostraron un patrón cíclico, con temperaturas más bajas en la mañana que aumentaron gradualmente hasta alcanzar un pico máximo alrededor del mediodía, para luego disminuir nuevamente. El rango de temperaturas varió entre aproximadamente 20°C y 30°C, lo cual indicó una variación significativa.

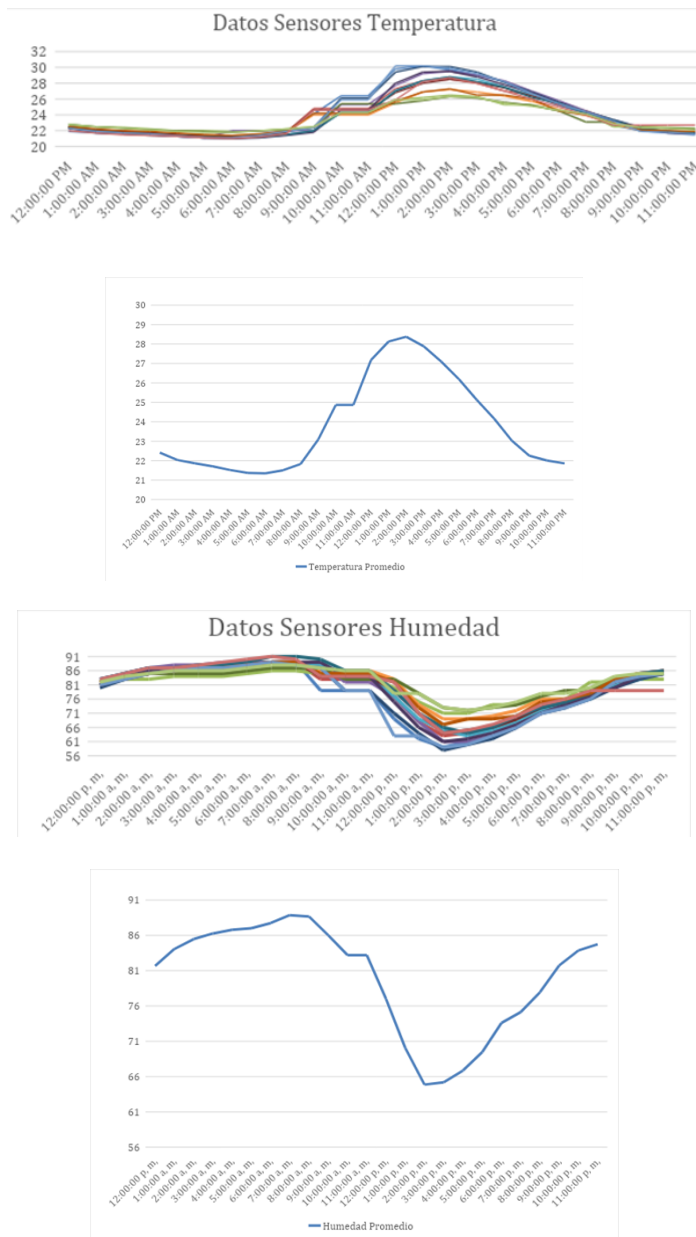


Figura 2. Resultados etapa inicial

Para el caso de las condiciones establecidas en la tabla 1B, los ciclos de temperatura siguieron un patrón regular, con picos más altos durante el mediodía y valores más bajos durante la noche. Tanto el sistema de control de calefacción como la capacidad de aislamiento térmico de la unidad lograron mantener niveles adecuados de temperatura y humedad.

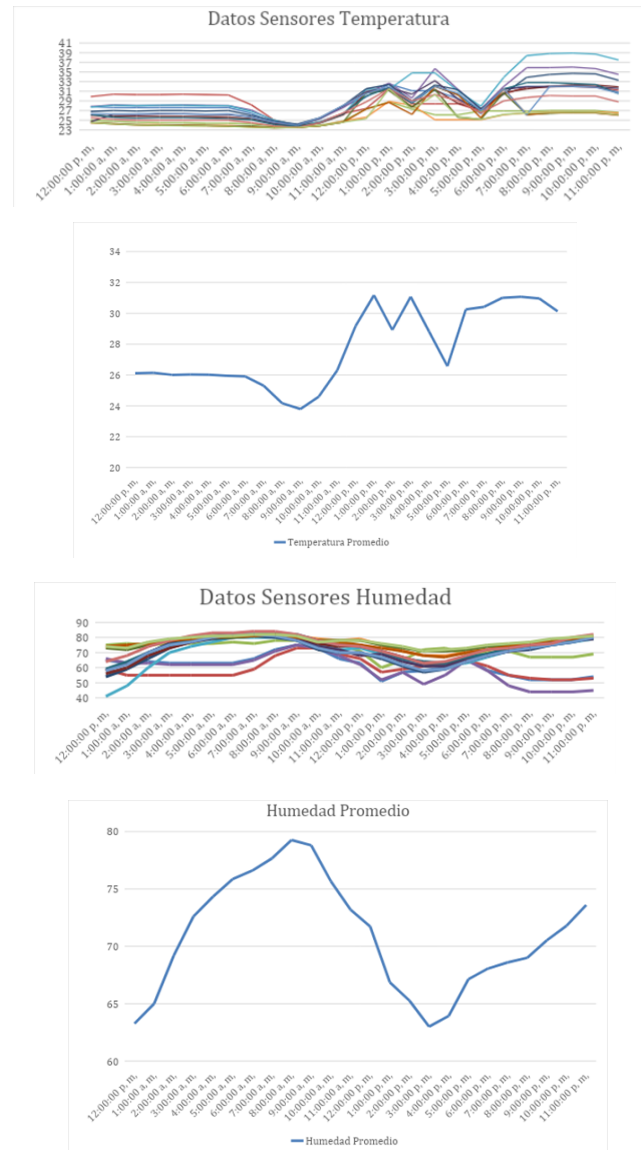


Figura 3. Resultados etapa de calefacción

Y para el caso de las condiciones establecidas en la tabla 1C. los ciclos de humedad mostraron patrones variados, con algunos sensores registrando fluctuaciones más pronunciadas y otros exhibiendo tendencias más estables. Las gráficas indicaron que el sistema de control de humedad logró mantener niveles adecuados en diversas zonas.

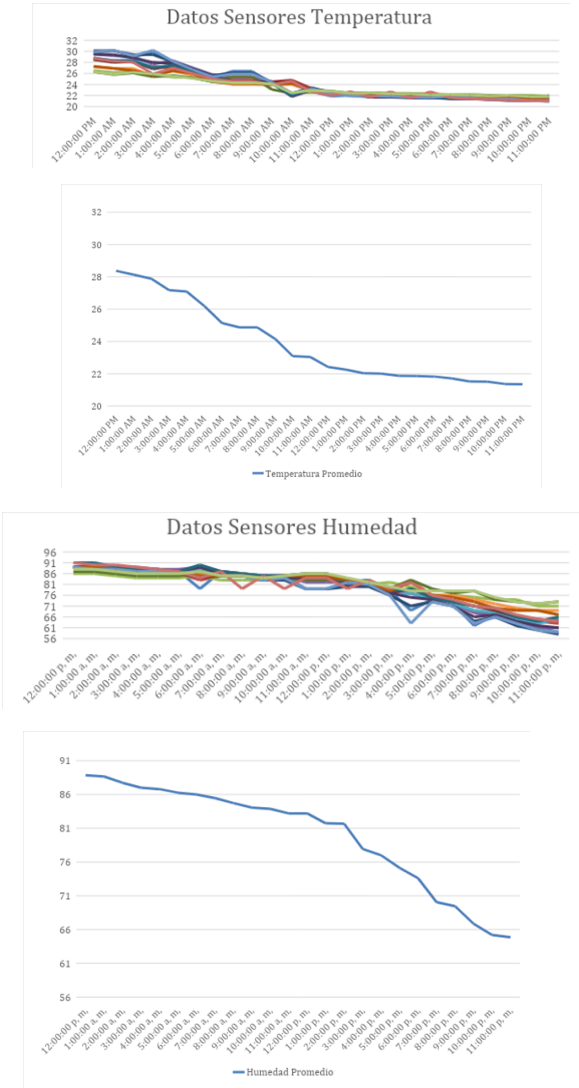


Figura 4. Resultados etapa de refrigeración

Análisis de Resultados: Las gráficas de monitoreo de temperatura y humedad en la unidad mostraron una capacidad de regulación efectiva, adaptándose a diferentes condiciones y demandas. Los equipos implementados cumplieron con los requisitos de gestión de humedad.

Estado Inicial de Pruebas de Alimentación:

Durante las primeras cinco semanas, se administró una dieta de salvado de trigo a las larvas en los terrarios, con pesos iniciales de 250 gramos, 100 gramos y 200 gramos. Aunque consumieron proporcionalmente más alimento, no se observó un cambio en su peso final durante la primera semana, sin registrar mortalidad.

Prueba de Alimento 12/07/2024							
Terrario	Etapas	Peso Inicial	Muestras	Alimento	Peso Alimento	Muertas	Transmutaron
T1	Larva	250	1666	Salvado de Trigo	375	0	6,7986
T2	Larva	250	1666	Salvado de Trigo	375	0	6,9516
T3	Larva	250	1666	Salvado de Trigo	375	0	7,191
T4	Larva	250	1666	Salvado de Trigo	375	0	8,6112
T5	Larva	100	666	Salvado de Trigo	150	0	2,43
T6	Larva	100	666	Salvado de Trigo	150	0	1,8648
T7	Larva	200	1333	Salvado de Trigo	300	0	2,817
T8	Larva	200	1333	Salvado de Trigo	300	0	2,6406
T9	Escarabajo		0	Salvado de Trigo	0	0	0
T10	Pupa		0	No Aplica	0	0	0
Total			10662		2400		39,3048

Tabla 2. Prueba de alimentos – primera semana

En las semanas siguientes, las larvas mostraron variaciones en el peso y ciertas tasas de mortalidad y transmutación.

Prueba de Alimento 19/07/2024							
Terrario	Etapas	Peso Inicial	Muestras	Alimento	Peso Alimento	Muertas	Transmutaron
T1	Larva	243,2014	1621	Salvado de Trigo	244	3,17268	12,69072
T2	Larva	243,0484	1620	Salvado de Trigo	244	3,24408	12,97632
T3	Larva	242,809	1618	Salvado de Trigo	243	3,3558	13,4232
T4	Larva	241,3888	1609	Salvado de Trigo	242	4,01856	16,07424
T5	Larva	97,57	650	Salvado de Trigo	98	1,134	4,536
T6	Larva	98,1352	654	Salvado de Trigo	99	0,87024	3,48096
T7	Larva	197,183	1314	Salvado de Trigo	198	1,3146	5,2584
T8	Larva	197,3594	1315	Salvado de Trigo	198	1,23228	4,92912
T9	Escarabajo	16,89	105	Salvado de Trigo	17	0	0
T10	Pupa	39,3048	262	No Aplica	0	0	0
Total			10768		1583		73,36896

Prueba de Alimento 26/08/2024							
# Terrario	Etapas	Peso Inicial	# Muestras	Alimento	Peso Alimento	Muertas	Transmutaron
T1	Larva	227,338	1515	Salvado de Trigo	342	4,5324	10,5756
T2	Larva	226,828	1512	Salvado de Trigo	341	4,6344	10,8136
T3	Larva	226,03	1506	Salvado de Trigo	340	4,794	11,186
T4	Larva	221,296	1475	Salvado de Trigo	332	5,7408	13,3952
T5	Larva	91,9	612	Salvado de Trigo	138	1,62	3,78
T6	Larva	93,784	625	Salvado de Trigo	141	1,2432	2,9008
T7	Larva	190,61	1270	Salvado de Trigo	286	1,878	4,382
T8	Larva	191,198	1274	Salvado de Trigo	287	1,7604	4,1076
T9	Escarabajo	16,89	105	Salvado de Trigo	26	0	0
T10	Pupa	112,67376	751	No Aplica	170	0	0
Total			10645		2403		61,1408

Tabla 3. Prueba de alimentos – segunda y tercera semana

La cuarta semana presentó una mezcla de larvas, escarabajos y pupas, con una dieta de desechos vegetales y animales. A pesar de la alta aceptación de estos desechos, la mortalidad y transmutación afectaron el peso total.

Prueba de Alimento 2/08/2024							
# Terrario	Etapas	Peso Inicial	# Muestras	Alimento	Peso Alimento	Muertas	Transmutaron
T1	Larva	212,23	1414	Desechos Pescado	213	15	25,03
T2	Larva	211,38	1409	Desechos Pescado	212	16,09	21
T3	Larva	210,05	1400	Desechos Vegetales	211	7,91	12,99
T4	Larva	202,16	1347	Salvado de Trigo	203	13,5	23,45
T5	Larva	86,5	576	Salvado de Trigo	87	3,14	10,22
T6	Larva	89,64	597	Salvado de Trigo	90	5,14	12,87
T7	Larva	184,35	1229	Desechos Vegetales	185	3,14	21,11
T8	Larva	185,33	1235	Desechos Pescado	186	1,19	7,03
T9	Escarabajo	39,42	246	Salvado de Trigo	40	0	0
T10	Pupa	151,28456	1008	No Aplica	0	20	45,4

Tabla 4. Prueba de alimentos – cuarta semana

La quinta semana reflejó una disminución general en el peso inicial y final de las larvas, sugiriendo efectos de las condiciones ambientales o alimenticias.

Prueba de Alimento 9/08/2024								
# Terrario	Etapas	Peso Inicial	# Muestras	Alimento	Peso Alimento	Muertas	Transmutaron	Peso Final
T1	Larva	172,2	1148	Desechos Pescado	173	17,22	18,94	136,04
T2	Larva	174,29	1161	Desechos Pescado	175	17,429	19,17	137,69
T3	Larva	189,15	1261	Desechos Pescado	190	18,915	20,81	149,43
T4	Larva	165,21	1101	Desechos Pescado	166	16,521	18,17	130,52
T5	Larva	73,14	487	Desechos Pescado	74	7,314	8,05	57,78
T6	Larva	71,63	477	Desechos Pescado	72	7,163	7,88	56,59
T7	Larva	160,1	1067	Desechos Pescado	161	16,01	17,61	126,48
T8	Larva	177,11	1180	Desechos Pescado	178	17,711	19,48	139,92
T9	Escarabajo	84,82	530	Salvado de Trigo	85	0	0,00	84,82
T10	Pupa	173,12	1154	No Aplica	0	17,312	19,04	136,76

Prueba de Alimento 23/08/2024								
# Terrario	Etapas	Peso Inicial	# Muestras	Alimento	Peso Alimento	Muertas	Transmutan	Peso Final
T1	Larva	136,04	906	Desechos Pescado	137	120,00	0	16,04
T2	Larva	137,69	917	Desechos Pescado	138	110,00	0	27,69
T3	Larva	149,43	996	Desechos Pescado	150	125,00	0	24,43
T4	Larva	130,52	870	Desechos Pescado	131	120,00	0	10,52
T5	Larva	57,78	385	Desechos Pescado	58	50,00	0	7,78
T6	Larva	56,59	377	Desechos Pescado	57	45,00	0	11,59
T7	Larva	126,48	843	Desechos Pescado	127	62,28	0	64,20
T8	Larva	139,92	932	Desechos Pescado	140	135,00	0	4,92
T9	Escarabajo	103,86	649	Salvado de Trigo	104	0	0	103,86
T10	Pupa	266,88	1779	No Aplica	0	121,14	68,36	77,38

Tabla 5. Prueba de alimentos quinta y sexta semana

Comparando las dos pruebas de alimento, los terrarios (T1 a T8) experimentaron una disminución del 21% en el peso inicial, mientras que el terrario T9 aumentó un 22.45% y T10, que contenía pupas, incrementó un 54.16% en peso inicial y un 294.87% en transmutación, aunque con una reducción del 43.42% en el peso final. A lo largo de seis semanas, las larvas disminuyeron del 100% al 70%, mientras que las pupas y escarabajos aumentaron, reflejando el avance del ciclo de vida de los insectos en un sistema controlado.

Las dietas evaluadas mostraron que los desechos de pescado aportaron proteínas esenciales y una alta tasa de aceptación, favoreciendo la transmutación en semanas avanzadas. Los desechos vegetales resultaron ser una alternativa económica con menor impacto en el peso, y el salvado de trigo mostró estabilidad inicial, pero limitaciones a largo plazo.

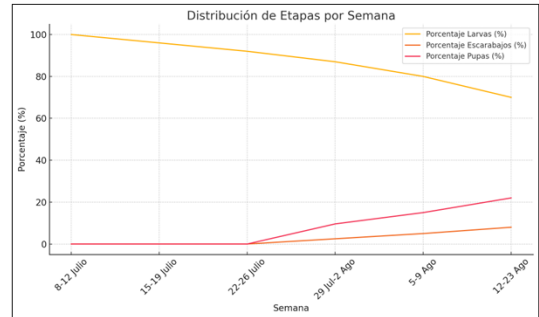


Figura 5. Estado de pruebas de alimentación

Durante la novena prueba, se redistribuyeron los terrarios. El rack 1 alojó larvas de primer grado, que no pueden ser pesadas debido a su pequeño tamaño. El rack 2 se destinó a larvas de segundo grado, grandes y que se pudieron pesar. En el tercer rack se colocaron las pupas, mientras que en el cuarto se alojaron los escarabajos, cuya población disminuyó debido a la mortalidad, quedando aproximadamente 63 gramos de escarabajos en diez terrarios. El quinto rack se reservó para los huevos.

Prueba de Alimento 27/09/2024											
Larvas 1°			Larvas 2°			Pupas			Escarabajos		
Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Peso	Huevos
R1-A			R2-A			R3-A			R4-A		R5-A
Reposo				63			18		6.29		
R1-B			R2-B			R3-B			6.29		
Reposo									6.29		
R1-C			R2-C			R3-C			6.29		
Reposo									6.29		
R1-D			R2-D			R3-D			6.29		
Reposo									6.29		
R1-E			R2-E			R3-E			6.29		
Reposo									6.29		
R1-F			R2-F			R3-F			6.29		
Reposo									6.29		
R1-G			R2-G			R3-G			6.29		
Reposo									6.29		
R1-H			R2-H			R3-H			6.29		
Reposo									6.29		
R1-I			R2-I			R3-I			6.29		
Reposo									6.29		
R1-J			R2-J			R3-J			6.29		
Reposo									6.29		

Larvas 1°	Larvas 2°	Pupas	Escarabajos	Huevos
0	63	18	62.92	0/10

Tabla 6. Prueba de alimentos novena semana

En la décima prueba, se observó un aumento en el tamaño de las larvas de primer grado y una mayor transmutación en las de segundo grado y pupas. Se cambió el sustrato del rack 4, redistribuyéndolo en los racks 2 y 3. Se registró una disminución de 9.79 en las larvas de segundo grado, 5.63 en las pupas y 14.43 en los escarabajos.

Prueba de Alimento 4-11/10/2024											
Larvas 1°			Larvas 2°			Pupas			Escarabajos		
Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Peso	Huevos
R1-A			R2-A			R3-A			R4-A		R5-A
Reposo		9.79		53.21	5.63		12.37		1.44	4.85	
R1-B			R2-B			R3-B			1.48	4.81	
Reposo									1.65	4.64	
R1-C			R2-C			R3-C			2.16	4.13	
Reposo									2.74	3.55	
R1-D			R2-D			R3-D			2.11	4.18	
Reposo									1.31	4.98	
R1-E			R2-E			R3-E			0.45	5.84	
Reposo									0.64	5.65	
R1-F			R2-F			R3-F			0.45	5.84	
Reposo											
R1-G			R2-G			R3-G					
Reposo											
R1-H			R2-H			R3-H					
Reposo											
R1-I			R2-I			R3-I					
Reposo											
R1-J			R2-J			R3-J					
Reposo											

Larvas 1°	Larvas 2°	Pupas	Escarabajos	Huevos
0	53.21	12.37	48.49	0/10

Tabla 7. Prueba de alimentos decima semana

Durante la onceava prueba, se recopilaron datos sobre el peso de larvas, pupas y escarabajos. Las larvas de primer grado se mantuvieron en 0 pero aumentaron de tamaño, facilitando su evaluación visual. Las larvas de segundo grado disminuyeron 1.41 unidades en peso, las pupas 4.86 y los escarabajos aumentaron 5.58 unidades, sugiriendo un avance en su ciclo de vida. También se evidenció la presencia de pequeñas larvas en los racks 2 y 3.

Prueba de Alimento 18/10/2024										
Larvas 1°			Larvas 2°			Pupas			Escarabajos	
Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Peso
R1-A			R2-A			R3-A			R4-A	R5-A
Reposo			1.41		51.8		4.86	7.51	0.05	9.66
R1-B			R2-B			R3-B			R4-B	R5-B
Reposo			Reposo			Reposo			0.21	4.61
R1-C			R2-C			R3-C			R4-C	R5-C
Reposo			Reposo						0.21	4.43
R1-D			R2-D			R3-D			R4-D	R5-D
Reposo			Reposo						0.2	3.93
R1-E			R2-E			R3-E			R4-E	R5-E
Reposo			Reposo						0.27	3.28
R1-F			R2-F			R3-F			R4-F	R5-F
Reposo			Reposo						0.07	4.11
R1-G			R2-G			R3-G			R4-G	R5-G
Reposo			Reposo						0.23	4.75
R1-H			R2-H			R3-H			R4-H	R5-H
Reposo			Reposo						0.18	5.66
R1-I			R2-I			R3-I			R4-I	R5-I
Reposo			Reposo						0.45	5.20
R1-J			R2-J			R3-J			R4-J	R5-J
Reposo			Reposo						0.01	5.83

Larvas 1°	Larvas 2°	Pupas	Escarabajos	Huevos
0	51.8	7.51	51.48	0/10

Tabla 8. Prueba de alimentos onceava semana

En la doceava prueba, las larvas de primer grado incrementaron a 665.06 g, mientras que las de segundo grado disminuyeron en un 47.24% y las pupas un 59.39%. Los escarabajos aumentaron en un 8.25%. Esto refleja un ajuste en el manejo del ciclo de vida, priorizando la fase inicial de desarrollo. Las larvas de primer grado se pesaron y se comenzará a alimentarlas con desechos en una proporción de 1 a 1.

Prueba de Alimento 25/10/2024										
Larvas 1°			Larvas 2°			Pupas			Escarabajos	
Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Peso
R1-A			R2-A			R3-A			R4-A	R5-A
	65.86		24.47		27.33		4.46	3.05		9.66
R1-B			R2-B			R3-B			R4-B	R5-B
Reposo			Reposo			Reposo				4.61
R1-C			R2-C			R3-C			R4-C	R5-C
	23.97		Reposo							4.43
R1-D			R2-D			R3-D			R4-D	R5-D
	70.4		Reposo						0	8.39
R1-E			R2-E			R3-E			R4-E	R5-E
	84.76		Reposo							3.28
R1-F			R2-F			R3-F			R4-F	R5-F
	116.94		Reposo							4.11
R1-G			R2-G			R3-G			R4-G	R5-G
	59.24		Reposo							4.75
R1-H			R2-H			R3-H			R4-H	R5-H
	100		Reposo							5.66
R1-I			R2-I			R3-I			R4-I	R5-I
	143.89		Reposo							5.20
R1-J			R2-J			R3-J			R4-J	R5-J
			Reposo							5.83

Larvas 1°	Larvas 2°	Pupas	Escarabajos	Huevos
665.06	27.33	3.05	55.94	0/10

Tabla 9. Prueba de alimentos doceava semana

Durante esta semana, se observaron varios cambios. Las larvas de primer grado, como en el caso de R1-A, incrementaron en un 68.7% en peso, mientras que R1-F presentó una reducción de 26.2%. Las larvas de segundo grado mostraron una leve disminución de 5.3% en peso y una transmutación de 1.45. En las pupas, se observó un aumento del 47.5% en peso. Los escarabajos mostraron cambios significativos en peso y mortalidad, con una reducción del 78.4% en peso y un incremento en la mortalidad. La mayoría de las muestras de huevos ahora están marcadas como “Activo”.

Prueba de Alimento 1/11/2024										
Larvas 1°			Larvas 2°			Pupas			Escarabajos	
Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Peso
R1-A			R2-A			R3-A			R4-A	R5-A
0	0	111.08	0	1.45	25.88	0	21.15	4.5	0.15	9.51
R1-B			R2-B			R3-B			R4-B	R5-B
0	0	65.89							3.93	2.80
R1-C			R2-C			R3-C			R4-C	R5-C
0	0	22.2							1.00	5.55
R1-D			R2-D			R3-D			R4-D	R5-D
0	0	78.9							4.93	5.58
R1-E			R2-E			R3-E			R4-E	R5-E
0	0	55.91							1.00	4.40
R1-F			R2-F			R3-F			R4-F	R5-F
0	0	86.28							4.93	1.30
R1-G			R2-G			R3-G			R4-G	R5-G
0	0	73.02							1.00	5.87
R1-H			R2-H			R3-H			R4-H	R5-H
0	0	117.8							6.93	0.85
R1-I			R2-I			R3-I			R4-I	R5-I
0	0	150.9							1.00	6.32
R1-J			R2-J			R3-J			R4-J	R5-J
									1.00	6.95

Larvas 1°	Larvas 2°	Pupas	Escarabajos	Huevos
761.98	25.88	4.5	49.11	6/10

Tabla 10. Prueba de alimentos treceava semana

En la última prueba, las larvas de primer grado aumentaron significativamente su peso, mientras que las de segundo grado y pupas mostraron una ligera variación. Los escarabajos aumentaron en número y peso, y la mayoría de los huevos se marcaron como “Activo”.

Prueba de Alimento 8/11/2024										
Larvas 1°			Larvas 2°			Pupas			Escarabajos	
Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Transmutadas	Peso	Muertas	Peso
R1-A			R2-A			R3-A			R4-A	R5-A
0	13.89	138.85	0	7.22	30.66	0	0	106.97	0.15	9.36
R1-B			R2-B			R3-B			R4-B	R5-B
0	8.24	82.36							0.31	2.49
R1-C			R2-C			R3-C			R4-C	R5-C
0	2.78	29.52							0.61	4.94
R1-D			R2-D			R3-D			R4-D	R5-D
0	9.86	98.63							0.61	4.96
R1-E			R2-E			R3-E			R4-E	R5-E
0	6.99	69.89							0.48	3.91
R1-F			R2-F			R3-F			R4-F	R5-F
0	10.79	107.85							0.14	1.15
R1-G			R2-G			R3-G			R4-G	R5-G
0	9.13	91.28							0.65	5.22
R1-H			R2-H			R3-H			R4-H	R5-H
0	14.73	147.25							0.09	0.75
R1-I			R2-I			R3-I			R4-I	R5-I
0	18.86	181.62							0.69	5.62
R1-J			R2-J			R3-J			R4-J	R5-J
									0.76	6.18

Larvas 1°	Larvas 2°	Pupas	Escarabajos	Huevos
947.25	30.66	106.97	44.60	6/10

Tabla 11. Prueba de alimentos catorceava semana

Durante las semanas de redistribución de *Tenebrio molitor*, se observó la aparición y fluctuación de las diferentes etapas del ciclo de vida de los insectos.

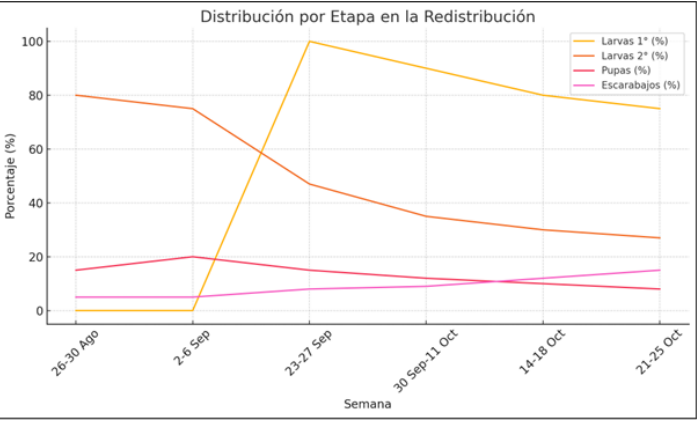


Figura 6. Estado de pruebas de redistribución

Inicialmente, del 26 al 30 de agosto, el 80% de los insectos eran larvas de segunda generación, y el 15% pupas, sin presencia de larvas de primera generación. Desde el 23 al 27 de septiembre, las larvas de primera generación aparecieron y representaron el 100% en esa semana.

A lo largo del periodo, las pupas disminuyeron progresivamente del 20% al 8%. En contraste, los escarabajos aumentaron su proporción, pasando del 5% inicial al 15% al final de las pruebas, que se realizaron del 21 al 25 de octubre. Estos cambios reflejan la transición natural del ciclo de vida de los insectos y el relevo generacional entre las larvas.

El estudio sobre *Tenebrio molitor* alimentado con diferentes dietas (salvado de trigo, desechos de pescado y desechos vegetales) revela patrones claros en términos de peso, mortalidad y transmutación.

Peso Promedio de las Larvas por Dieta: El mayor incremento de peso observado en las larvas alimentadas con desechos de pescado sugiere que esta dieta proporciona nutrientes más adecuados para el crecimiento de las larvas en comparación con el salvado de trigo y los desechos vegetales.

La diferencia de peso entre las dietas (290 g para desechos de pescado frente a 260 g y 255 g para salvado de trigo y desechos vegetales, respectivamente) podría deberse a una mayor disponibilidad de proteínas y otros nutrientes esenciales en los desechos de pescado.

Tasa de Mortalidad: La tasa de mortalidad inicial fue nula en todas las dietas, lo cual es indicativo de un buen comienzo para las larvas bajo todas las condiciones alimenticias. Sin embargo, los incrementos leves de mortalidad en la segunda semana y su posterior disminución en la tercera semana sugieren una fase de adaptación. El aumento de la mortalidad en la cuarta semana, especialmente en las dietas de salvado de trigo y desechos vegetales, podría estar relacionado con factores ambientales adversos o con limitaciones en el valor nutricional de estas dietas a largo plazo.

Tasa de Transmutación Acumulada: La tasa de transmutación más alta en las larvas alimentadas con desechos de pescado (5.5% en la tercera semana) destaca la efectividad de esta dieta para favorecer la transición a etapas avanzadas del ciclo de vida de *Tenebrio molitor*. La mayor tasa de transmutación, comparada con las otras dietas, refuerza la idea de que los desechos de pescado no solo promueven el crecimiento, sino también la maduración y desarrollo completos de las larvas.

Distribución de Terrarios por Etapa y Dieta (Semana 4): El rendimiento superior de los terrarios alimentados con desechos de pescado, en términos de aumento de peso, menor mortalidad y mayor transmutación, subraya la ventaja de esta dieta en comparación con el salvado de trigo y los desechos vegetales. Estos hallazgos podrían influir en decisiones futuras sobre la alimentación de *Tenebrio molitor* en contextos industriales y de investigación, promoviendo el uso de desechos de pescado como un recurso valioso y sostenible.

Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre la eficiencia de diferentes dietas para *Tenebrio molitor* y tienen importantes implicaciones para la gestión de residuos y la optimización de procesos de bioconversión. La inclusión de desechos de pescado en la dieta de las larvas no solo mejora el rendimiento biológico, sino que también promueve la sostenibilidad al reutilizar subproductos que de otro modo serían desechados. Estas conclusiones abren la puerta a futuras investigaciones que exploren otras fuentes de desechos orgánicos para optimizar el crecimiento y desarrollo de *Tenebrio molitor*, mejorando así la eficiencia de los sistemas de bioconversión y la gestión ambiental.

Para la optimización de la alimentación, se recomienda establecer los desechos de pescado como la dieta primaria debido a su alta eficiencia en promover el crecimiento y la transmutación de las larvas. Además, es aconsejable evaluar combinaciones con otros subproductos para diversificar las opciones de insumos alimenticios. En cuanto al monitoreo y análisis de datos, se sugiere ampliar el uso de herramientas de monitoreo IoT para recopilar datos más precisos sobre el peso, mortalidad y transmutación en tiempo real, mejorando así la toma de decisiones. Para el escalamiento del modelo, se deben implementar pilotos adicionales en otras zonas piscícolas para validar la replicabilidad y adaptabilidad del sistema en diferentes condiciones ambientales y económicas. Respecto a la investigación adicional, se debe explorar el uso de dietas suplementarias para mejorar aún más los resultados, enfocándose en subproductos vegetales y combinaciones balanceadas. También es importante realizar estudios sobre el impacto del sistema en la calidad del agua y la salud de las especies piscícolas alimentadas con productos derivados de las larvas. Finalmente, se recomienda realizar revisiones periódicas en el recipiente donde se almacena el salvado de trigo para prevenir la proliferación de polillas, las cuales no solo aumentan la mortalidad de las larvas, sino que también pueden generar aflatoxinas, compuestos tóxicos que representan un riesgo letal.

REFERENCIAS

Agrotendencia. (s.f.). Cultivo de tilapia: cómo se hace, beneficios y manejo. Agrotendencia TV. Recuperado el 7 de noviembre de 2024, de <https://agrotendencia.tv/agropedia/acuicultura/cultivo-de-la-tilapia/>

Agrotendencia.tv. (n.d.). El cultivo de la cachama. Agrotendencia.tv. <https://agrotendencia.tv/agropedia/acuicultura/el-cultivo-de-la-cachama/>

Agrozapiens. (2023). Obtenido de Guía Completa del Tenebrio Molitor: El Insecto del Futuro: <https://agrozapiens.com/guia-completa-del-tenebrio-molitor-el-insecto-del-futuro/>

European Food Safety Authority. (2024). Obtenido de <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2021.6343>

Hammer, L., Moretti, D., Abbühl-Eng, L., Kandiah, P., Hilaj, N., Portmann, R., & Egger, L. (2023). Mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and crickets (*Acheta domesticus*) show high total protein in vitro digestibility and can provide good-to-excellent protein quality as determined by in vitro DIAAS. *Frontiers in Nutrition*, 10, Article 1150581. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1150581>

Gobernación del Huila. (31 de 03 de 2023). El Huila se consolida como primer productor piscícola del país. Obtenido de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/13718/el-huila-se-consolida-como-primer-productor-piscicola-del-pais/>

Medrano Vega, L. C. (2016). Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28001/lcmedranov.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (s.f.). Costos Trucha y Tilapia. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/A1311-COSTOS%20TRUCHA%20Y%20TILAPIA.pdf>

Organización Panamericana de la Salud. (2024 de septiembre de 2024). Obtenido de <https://www.paho.org/es/noticias/19-9-2024-residuos-solidos-reto-mejorar-gestion-desde-dialogo-sobre-mejores-practicas>

Protiberia. (s.f.). Obtenido de <https://protiberia.com/transformar-los-desechos-en-proteinas/>

Sanabria García, D. L. (2023). Evaluación de parámetros productivos y nutricionales de larvas de *Tenebrio molitor* alimentadas con diferentes sustratos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Velázquez Rodríguez D. (2022). Producción de larvas de *Tenebrio molitor* como complemento alimenticio en crías de peces de interés de cultivo comercial. (Trabajo de grado de licenciatura en biología). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD XOCHIMILCO. Ciudad de México, México. Documento en línea disponible en: <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/retrieve/af4752c5-0ede-46d5-9044-d9eaafa276cf/250416.pdf>

Vida Sustentable. (s.f.). Obtenido de <https://vida-sustentable.com/tenebrio-molitor/>

Vives Humbert, A.-M. (2020). Alternativas al uso de granos de cereales en la alimentación de larvas de *Tenebrio molitor* (Tesis de pregrado). Universidad de Zaragoza, España.

Evaluación de la fecundación artificial vs natural de la abeja italiana (*Apis mellifera ligústica*) en la zona centro del departamento del Huila

*Evaluation of artificial vs. natural fertilization of the Italian honey bee (*Apis mellifera ligustica*) in the central area of the department of Huila*

KAREN MARCELA VARGAS BERNAL ¹

JORGE LEONARDO CHAVARRO TÉLLEZ ²

¹ Ingeniera Química, Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila. Garzón-Huila; e-mail: kmvargas@sena.edu.co

² Tecnólogo en Prevención y Control Ambiental, Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila. Garzón-Huila; e-mail: jlchavarro@sena.edu.co

RESUMEN

La inseminación artificial es fundamental en muchos programas de cría de abejas a nivel mundial. Las reinas hijas de madres inseminadas artificialmente se distribuyen a criadores comerciales de reinas, quienes multiplican la progenie de estas reinas para producir ejemplares de alta calidad, apareadas de forma natural, que guiarán las colmenas productivas. Este estudio aplicó dicha técnica, utilizando el equipo de inseminación chino, para evaluar la oviposición, la mortalidad y el comportamiento de las colmenas de abejas reinas inseminadas artificialmente y de apareamiento natural de la especie *Apis mellifera ligustica*. Los análisis estadísticos realizados indican que la inseminación artificial tiene un impacto significativo en la cantidad de oviposición y la calidad de la cría abierta en comparación con las reinas de apareamiento natural. Los resultados del ANOVA muestran diferencias estadísticamente significativas (valor- $p < 0,05$) entre ambos grupos, lo que respalda la efectividad de esta técnica. La razón-F para la oviposición fue de 9,87 y para la cría abierta de 31,40, lo que evidencia que la variabilidad explicada por la técnica (inseminación artificial o apareamiento natural) es considerablemente mayor que las diferencias internas dentro de cada grupo. Estos hallazgos sugieren que la inseminación artificial ofrece un control más preciso sobre la selección de características genéticas, lo que contribuye a un mejor desempeño tanto de las reinas como de sus colonias.

Palabras clave: Inseminación artificial, Oviposición, Uniformidad genética.

ABSTRACT

Artificial insemination is essential in many bee breeding programs worldwide. Queens from artificially inseminated mothers are distributed to commercial queen breeders, who multiply the progeny of these queens to produce high-quality, naturally mated specimens that will guide productive hives. This study applied this technique, using Chinese insemination equipment, to evaluate the oviposition, mortality and behavior of artificially inseminated and naturally mating queen bee hives of the species *Apis mellifera linguistic*. The statistical analyzes carried out indicate that artificial insemination has a significant impact on the quantity of oviposition and the quality of open brood compared to naturally mating queens. The results of the ANOVA show statistically significant differences (P-value < 0.05) between both groups, which supports the effectiveness of this technique. The F-ratio for oviposition was 9.87 and for open breeding was 31.40, which shows that the variability explained by the technique (artificial insemination or natural mating) is considerably greater than the internal differences within each group. These findings suggest that artificial insemination offers more precise control over the selection of genetic traits, contributing to better performance of both queens and their colonies.

Keywords: Artificial insemination, Oviposition, Genetic uniformity.

INTRODUCCIÓN

La inseminación artificial es una tecnología reproductiva diseñada para facilitar el control de la fertilización. Fue demostrada por primera vez con éxito en perros por el fisiólogo italiano Lazzaro Spallazani en 1784 (Foote, 2002). A partir de ese momento, la técnica fue explorada de forma intermitente, aunque no se lograron avances significativos durante más de un siglo. En 1899, el científico ruso Ivanovich Ivanoff recibió el encargo de desarrollar la inseminación artificial para su aplicación en la cría de caballos (Gillard & Oldroyd, 2020).

El naturalista François Huber, con la ayuda de su asistente vidente François Burnens, fue el primero en demostrar que las reinas de las abejas melíferas se aparean en el aire, fuera del nido, y no dentro de la colmena, como se creía. Huber y sus contemporáneos también fueron pioneros en intentar (sin éxito) inseminar artificialmente a las reinas, cubriendo el interior de la cámara del aguijón con semen (Huber, 1814).

Cuando una reina virgen alcanza los seis días de edad, sale de su colonia en busca de un área de congregación de zánganos (DCA), un lugar en el paisaje donde los zánganos se reúnen. Una DCA es típicamente un espacio abierto de entre 100 y 400 metros de radio, rodeado de árboles. En estas áreas, los zánganos vuelan en círculos a una altura de entre 10 y 50 metros (Galindo-Cardona et al., 2012). Las DCA son frecuentadas por zánganos provenientes de colonias situadas dentro de un radio de 44 km² aproximadamente (Utaipanon et al., 2019).

La selección en las abejas melíferas es inherentemente diferente a la selección en otros animales, ya que se realiza principalmente por rasgos de comportamiento a nivel de colonia, en lugar de características individuales (Oldroyd & Thompson, 2006).

La resistencia a las enfermedades es un factor clave para los apicultores, y en todo el mundo, las abejas melíferas son seleccionadas rutinariamente por su resistencia al ácaro ectoparásito varroa destructor.

El control del apareamiento es fundamental para avanzar en los programas de selección (Plate et al., 2019). La inseminación artificial ofrece un control total sobre el proceso de apareamiento, aunque requiere equipos y capacitación especializados. Como alternativa, los criadores de reinas suelen utilizar sitios de apareamiento aislados para restringir las parejas reproductivas a zánganos de poblaciones seleccionadas. En estos sitios de apareamiento, se trasladan las colonias de madres de zánganos y las reinas vírgenes, que se mantienen en núcleos aislados, en áreas donde las colonias no seleccionadas o las salvajes no tienen acceso.

Para comprender el proceso de inseminación artificial en abejas, es importante resaltar que su objetivo es transferir el semen de las vesículas seminales de zánganos seleccionados al oviducto medio de reinas igualmente seleccionadas. Las reinas se crían utilizando métodos estándar (Harbo, 1986) y se introducen en núcleos individuales como pupas de reina o se mantienen como vírgenes en un banco de reinas hasta ser inseminadas (Mackensen & Tucker, 1970).

Para evaluar el éxito de la inseminación artificial en abejas melíferas, se utilizan diversas medidas, siendo la más común el tiempo hasta el inicio de la oviposición. Antes del uso del CO₂ como agente narcótico, menos del 20% de las reinas inseminadas comienzan a poner huevos dentro de los 30 días posteriores a la inseminación (Mackensen & Roberts, 1948).

Sin embargo, tras el descubrimiento de Mackensen sobre la importancia de dos tratamientos de CO₂, el tiempo hasta el inicio de la oviposición en reinas inseminadas ha llegado a ser comparable al de las reinas que se aparean de forma natural, con solo unos pocos días de diferencia.

El objetivo de este estudio consistió en evaluar la influencia de la inseminación artificial en la oviposición y el desarrollo poblacional de colonias de *Apis mellifera ligustica*. Se analizaron las diferencias entre reinas inseminadas artificialmente y reinas de apareamiento natural, con énfasis en cómo la selección de características genéticas específicas optimiza el rendimiento de las colonias y mejora la calidad de las colmenas, contribuyendo al fortalecimiento de los programas de mejoramiento genético y la productividad apícola.

Métodos y materiales

Ubicación del experimento: El presente estudio se realizó en el Centro Agroempresarial y de Desarrollo Pecuario del Huila, SENA, ubicado en el municipio de Garzón, a una altitud de 830 m sobre el nivel del mar. Durante el período de estudio, la temperatura promedio fue de 27°C, con una precipitación media de 136 mm. El experimento se desarrolló en la época de floración, entre los meses de octubre y noviembre de 2024. La inseminación artificial se llevó a cabo en el laboratorio de biotecnología del centro de formación utilizando un equipo de inseminación de modelo chino, que incluye soporte, dos ganchos (uno abdominal y otro dorsal), jeringa y capilares. Además, se empleó un estereoscopio con aumento de 10X y 20X, una lámpara de luz fría y una pipeta de CO₂ con regulador de flujo y tubo flexible, para anestesiarse a la reina durante el procedimiento.

Selección de cría de reina: Se seleccionó una colmena con características excepcionales y una población significativa de nodrizas y cría operculada de la unidad apiario SENNOVA para servir como núcleo de cría.

Para estimular la postura de la reina y promover el crecimiento poblacional, se proporcionó estimulación alimentaria mediante un jarabe compuesto de azúcar en proporciones 1:1 y 1:2, una porción proteica, 1 g de sal mineralizada y el jugo de media naranja. El proceso de cría se llevó a cabo utilizando el método Cloake. Este método consistió en la construcción de un tablero Cloake, que incluye una piquera modificada con una excluidora de reina, una lámina de zinc ubicada entre la cámara de cría y una segunda alza destinada como núcleo de cría. La piquera de la cámara de cría se rotó 180 grados y se selló, haciendo que las abejas forrajeras accedieran por la nueva piquera creada en el tablero Cloake. De este modo, la sección superior de la cámara de cría quedó libre de la reina, pero las abejas obreras seguían pudiendo acceder a la sección inferior que albergaba a la reina. El núcleo de cría se conformó con cuatro cuadros extraídos de la cámara de cría inferior, que contenían nodrizas y cría operculada. Asimismo, se incorporaron un cuadro de polen, un cuadro de miel y un alimentador interno para garantizar una nutrición adecuada. Se procedió al traslarve con los siguientes materiales: marco porta-cúpulas, listones, cúpulas, cúpulas de protección, aguja de traslarve y jalea real para el cebado de las cúpulas. El proceso de traslarve se realizó en un módulo oscuro utilizando un cuadro previamente seleccionado. Las larvas, preferiblemente de unas pocas horas de edad, fueron seleccionadas y trasladadas meticulosamente a las cúpulas tratadas con jalea real usando una aguja de traslarve. Las cúpulas con las larvas fueron montadas en los listones, los cuales se insertaron en el marco porta-cúpulas. Finalmente, el marco con los listones y las cúpulas se introdujo en el núcleo de cría, añadiendo la lámina de zinc para impedir el paso de las nodrizas y abejas forrajeras a la cámara inferior. Se destapó la piquera inferior para simular un enjambramiento en el núcleo de cría, promoviendo así un aumento en la calidad y cantidad de jalea real proporcionada a las nuevas larvas y creando un entorno óptimo para el desarrollo de las futuras reinas. Después de 48 horas, se revisaron las cúpulas para verificar la aceptación de las larvas y se retiró la lámina de zinc, restaurando la circulación de las abejas por toda la colmena mientras se mantenía a la reina fuera de la cámara de cría.

Cría y recolección de zánganos: Con el objetivo de incentivar a la reina de la abeja *Apis mellifera ligustica* a depositar huevos de zángano en cuadros específicos, se llevaron a cabo modificaciones en dos colmenas mediante el corte de las esquinas de las láminas de cera de los cuadros. Es importante destacar que los zánganos alcanzan su madurez óptima entre 12 y 14 días después de emerger como adultos. Para la captura de los zánganos, se utilizaron excluidoras de reinas en la piquera de la colmena. Posteriormente, los zánganos fueron colocados en un cajón con laterales de vidrio que contenía dos cuadros provisionales con miel y nodrizas, lo que facilitó su transporte al laboratorio y ayudó a minimizar la mortalidad durante el proceso.

Recolección de semen: La recolección de esperma se realizó mediante manipulación manual utilizando los dedos pulgar e índice para estimular la eversión del aparato reproductor del zángano (Figura 1). Este procedimiento incluyó sostener la cabeza del zángano mientras se ejercía presión sobre el tórax y posteriormente sobre el abdomen, logrando así la eversión completa. Durante esta etapa, se identificaron dos sustancias: el semen, caracterizado por su color amarillo claro y consistencia líquida, y la mucosa. Para la extracción, se utilizó una jeringa de tubo capilar, asegurando que solo se recolectara el semen, el cual fue preservado adecuadamente para su uso posterior.

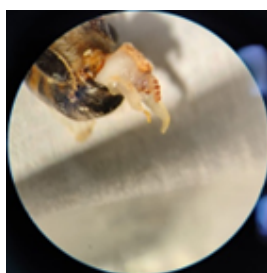


Figura 1. Aparato reproductor (endófalo) de un zángano maduro por manipulación manual.

Anestesia de la reina: Tres abejas reinas, seleccionadas del apiario SENNOVA fueron trasladadas al laboratorio de biotecnología para el proceso de inseminación artificial. Un día antes de la inseminación, cada reina fue sometida a un pretratamiento con CO₂ durante dos minutos en una cámara especializada. Este procedimiento favoreció su adaptación a la anestesia y estimuló la oviposición. Para la anestesia, cada reina se introdujo en un tubo de respaldo, donde caminó hacia atrás hasta caer en un tubo sostenedor conectado a la línea de suministro de CO₂. Este procedimiento se realizó de forma independiente con cada una de las reinas seleccionadas, asegurando uniformidad en las condiciones y preparación para la inseminación. La reina se colocó en un tubo anestésico, donde se reguló el flujo de CO₂ para iniciar el proceso de anestesia, logrando inmovilizarla en aproximadamente un minuto. Luego, se abrió la cámara del agujón con pinzas dorsales y ganchos. Primero se introdujo el gancho en la cámara del agujón, seguido por la pinza dorsal, que sujetó el agujón. Cuando ambos soportes estuvieron en posición correcta, el tejido se estiró formando una “V”. En esta apertura, se introdujo una jeringa, suministrando 8 microlitros de semen a la abeja reina mediante un capilar (Hércules & Izaguirre, 2018). Posteriormente, se cerró la abertura y la reina inseminada fue trasladada a una celda de recuperación, donde se evaluaron sus comportamientos post-anestesia durante 30 minutos. Finalmente, la reina fue colocada en un núcleo en el apiario, específicamente en una celda de puesta, para evaluar la calidad del proceso de inseminación.

Proceso de inseminación de reinas: Una vez posicionada la abeja reina en el tubo anestésico, se reguló el flujo de dióxido de carbono (CO₂) para iniciar el proceso de anestesia, logrando la inmovilización del espécimen en aproximadamente un minuto. A continuación, se procedió a abrir la cámara del agujón utilizando una pinza dorsal y ganchos especializados. Primero se introdujo el gancho en la cámara del agujón, seguido por la pinza dorsal, que sujetó firmemente el agujón.

Una vez que ambos instrumentos estuvieron en la posición adecuada, se aplicó tensión en los tejidos, formando una estructura en forma de “V”. En esta posición, se introdujo una jeringa capilar en la parte superior de la “V” y se administraron 8 microlitros de semen a la abeja reina. Tras completar la inseminación, se cerró la abertura y la reina fue transferida a una celda de recuperación, donde se observaron sus comportamientos post-anestesia durante un periodo de 30 minutos. Finalmente, el espécimen inseminado fue trasladado al apiario y ubicado en un núcleo, dentro de una celda, para monitorear la oviposición y evaluar la calidad del procedimiento de inseminación (Hércules & Izaguirre, 2018).

Verificación de la calidad en la postura de la reina y reintroducción en el hábitat: La reina inseminada fue introducida en una colmena núcleo o colmena de observación, diseñada específicamente para facilitar el monitoreo de su desempeño (Figura 2). El núcleo se estructuró con tres cuadros: uno con cera estampada para la postura, uno con cría operculada para mantener la estabilidad térmica y otro con abejas nodrizas encargadas de alimentar a la reina y atender la cría. Este mismo proceso se repitió para las reinas de inseminación natural, manteniendo condiciones equivalentes para asegurar la comparabilidad de los resultados. Cada reina fue colocada en una jaula de introducción durante 48 horas para garantizar su aceptación por parte de las obreras, las cuales reconocieron sus feromonas y comenzaron a alimentarla, favoreciendo su integración en el núcleo. Tras este periodo, la reina fue liberada, iniciando su actividad de oviposición después de un breve periodo de adaptación. En investigaciones previas, se ha reportado que reinas inseminadas pueden iniciar la postura entre 48 y 72 horas después de su introducción en un núcleo, dependiendo de factores como su condición física, la calidad de la inseminación y el entorno proporcionado (Flores et al., 2005). Este rango fue considerado como una referencia para el presente estudio. Para la obtención de los datos, se llevó a cabo un conteo cuantitativo de huevos, registrando el número total de huevos depositados y el área de cría abierta tanto para las reinas inseminadas como para las naturales.



Figura 2. Introducción de la reina inseminada artificialmente a la colmena.

La evaluación del patrón de postura se realizó utilizando la escala de Montesinos Arraiz (Tarcicio & Dionisio, 1990), observando la uniformidad y continuidad de los huevos en el panal. Este proceso se repitió en triplicado para asegurar la fiabilidad de los resultados, y los datos fueron analizados mediante un paquete estadístico ANOVA para determinar las diferencias significativas entre los métodos de inseminación. Además, se estimó la cría abierta realizando un conteo de larvas cuatro días después de la eclosión de los huevos. Este procedimiento se centró en identificar larvas sanas, un aspecto clave para evaluar la viabilidad de la postura y la calidad de la reina, independientemente de si fue inseminada de manera natural o artificial. Los resultados obtenidos proporcionan una visión comparativa del desempeño de las reinas de ambos métodos, evidenciando diferencias en la cantidad y calidad de la postura, lo que permitirá determinar cuál de los dos métodos es más efectivo para optimizar la productividad apícola en condiciones controladas.

Escala	Postura	Huevos
1	Poca	225-449
2	Regular	450-899
3	Abundante	≥900

Tabla1. Escala de ovoposición en abejas reina Apis mellifera ligústica en época de escasa floración según Montesinos-Arraiz, 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crianza de Reinas: En el proceso de producción de reinas, se colocaron 20 larvas en las celdas copa, de las cuales 9 fueron aceptadas por las abejas nodrizas, lo que resultó en una tasa de aceptación del 45%. La pérdida del 55% podría estar relacionada con las condiciones climáticas adversas, como las precipitaciones y las variaciones de temperatura dentro de la colmena. Además, se observó una baja población de nodrizas, lo que redujo la productividad interna en términos de alimentación y de forma indirecta, afectó el crecimiento natural de las larvas durante la cría de reinas. Según Hernández & Castellanos, (2020), un factor clave en este proceso es la termorregulación, que garantiza el desarrollo adecuado de las larvas al mantener el nido de cría a una temperatura óptima de entre 32 y 36°C. Esta termorregulación depende de una población adecuada de abejas nodrizas, especialmente en el centro de la colmena. Asimismo, la insuficiencia de polen en la alimentación puede resultar en la producción de reinas de calidad inferior.

Cría de Zánganos: La cría de zánganos se llevó a cabo de manera artificial durante una época climática fría, con poca floración, lo que impidió su éxito. Aunque las condiciones iniciales ofrecieron la oportunidad de aumentar la postura, junto con la técnica empleada en la cámara de cría, solo se lograron producir algunos de los ejemplares utilizados en el experimento, sin obtener los resultados esperados. Durante el proceso, la cámara de cría de zánganos se vio afectada negativamente por la baja temperatura interna de la colmena, influenciada por las condiciones climáticas externas frías del departamento. Sin embargo, se determinó que la franja horaria más adecuada para capturar zánganos en la piquera era entre las 2:00 p.m. y las 4:30 p.m. ya que los zánganos son atraídos por reinas vírgenes durante vuelos a distancias de entre 7 y 30 metros, según Loper (1992).

Extracción del Semen: Según Flores et al., (2005), un zángano maduro puede aportar hasta 1,4 μL de esperma, y la dosis estándar para inseminar a una abeja reina es de 8 μL , lo que equivale a aproximadamente 8 zánganos. En esta evaluación, se utilizaron más de 20 zánganos para obtener los 8 μL de esperma necesarios, ya que no todos los ejemplares estaban sexualmente maduros. Durante la inducción manual, se observó que algunos zánganos presentaban el abdomen suave y el aparato reproductor (esófago) no estaba completamente desarrollado.

Inseminación de Reinas: El proceso de inseminación artificial se realizó con éxito gracias a un adecuado manejo del equipo y al tratamiento pre y post-inseminación. A los quince días se verificó la presencia de postura (Figura 3).

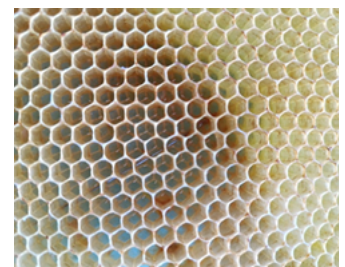


Figura 3. Marco con cuadro para cuantificar la postura de la reina.

En la evaluación de la oviposición, se observó que las reinas inseminadas artificialmente presentaron una mayor postura, con un promedio de 646 huevos, clasificados en la categoría de postura regular (450-899 huevos) según la clasificación de Montesinos (Tabla 1). En contraste, las reinas fecundadas de manera natural presentaron una postura promedio de 443 huevos, ubicándose en la categoría de baja postura. Este resultado podría haberse visto influenciado por factores como la humedad del entorno y el linaje de las reinas, que podría haber tardado más tiempo en adaptarse a las condiciones climáticas de la zona centro del Huila. Además, estas condiciones afectaron el crecimiento de la colmena y la disponibilidad de abejas nodrizas en los núcleos evaluados. En general, los resultados mostraron una diferencia significativa ($p < 0,05$) (ver Figura 4).

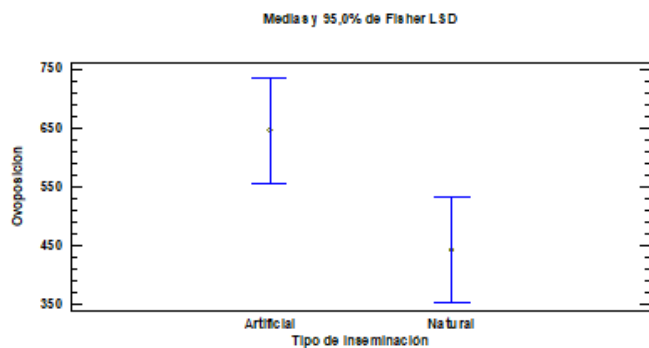


Figura 4. Resultados estadísticos de la ovoposición de la abeja italiana teniendo en cuenta el tipo de inseminación.

En la evaluación de la cría abierta, se observó que las reinas inseminadas artificialmente produjeron una mayor cantidad de cría, con un promedio de 429 larvas por cuadro, en comparación con las no inseminadas, que presentaron un promedio de 203 larvas abiertas por cuadro evaluado (Figura 5), con una diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

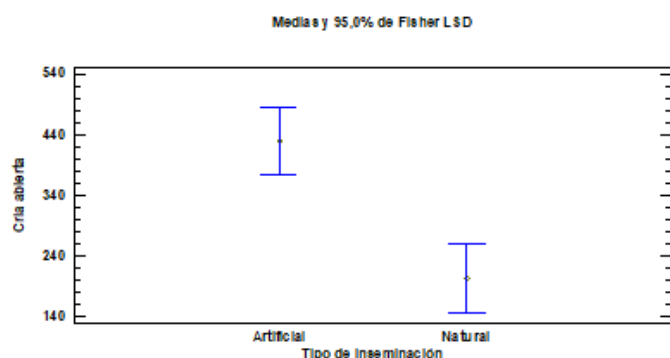


Figura 5. Resultados estadísticos de cría abierta sobre la abeja italiana teniendo en cuenta el tipo de inseminación.

El método Cloake utilizado para la producción de reinas de *Apis mellifera* presentó una aceptación moderada, con una tasa del 45%. Este resultado sugiere que tanto el manejo como los factores climáticos desempeñaron un papel relevante, ya que las condiciones adversas afectaron la producción de abejas nodrizas, lo que impactó negativamente en el desarrollo y crecimiento de las larvas durante la incubación en las celdas reales.

La pérdida del 55% de las larvas podría estar relacionada con dificultades en la termorregulación dentro de la colmena, la cual depende también del tamaño de la colonia. Además, la escasez de polen provocada por las precipitaciones repentinas durante el período de evaluación pudo haber influido en el desarrollo larval.

En el proceso experimental, se identificó un intervalo horario óptimo para la captura de zánganos en la piquera, entre las 2:00 p.m. y las 4:30 p.m., cuando estos son atraídos por las feromonas de las reinas vírgenes durante sus vuelos nupciales. También se observó que la mayoría de los zánganos maduros se encuentran en la piquera, y son los que contribuyen con mayores cantidades de semen para los procesos de inseminación artificial. Estos hallazgos provienen de múltiples aplicaciones de la técnica en campo, realizadas en la zona centro del Huila.

Por otro lado, se comprobó que la inseminación artificial resultó ser más efectiva que la fecundación natural. Los resultados mostraron que las reinas inseminadas produjeron un promedio de 646 huevos diarios y 429 larvas abiertas por cuadro. Las diferencias fueron estadísticamente significativas, lo que resalta la mejora en la productividad reproductiva apícola en la zona centro del Huila. No obstante, es importante señalar que factores climáticos podrían haber influido en los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

Flores, J.M., Ruíz, J.A., Ruz, J.M., Puerta, F., Campano, F., Padilla, F. & Bustos, M. (2005). Inseminación artificial de abejas reinas. Archivos de Zootecnia, 47: 343-345.

Foot, R.H. (2002). The history of artificial insemination: selected notes and notables. Journal of Animal Science. 14853-4801.

Gillard, T. & Oldroyd, B. (2020). Controlled reproduction in the honey bee (*Apis mellifera*) via artificial insemination. Advances in Insect Physiology, 59: 1-42.

Harbo, J.R. (1986). Oviposition rates of instrumentally inseminated and naturally mated queen honey bees (Hymenoptera: Apidae). Annals of the Entomological Society of America, 79:112-115.

Hernández C. & Castellanos, I. (2020). Efecto del tamaño interno de la colmena en la producción de cría, miel y polen en colonias de *Apis mellifera* en el altiplano central de México. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 11 (3): 757-770.

Hércules, F.J. & Izaguirre, S.I. (2018). Evaluación de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) fecundadas mediante inseminación artificial. Tesis Doctoral. Escuela Agrícola Panamericana. 100 p.

Huber, F. (1814). New Observations on Bees. American Bee Journal, Hamilton. 110 p.

Loper, G.M., Wolf, W.W. & Taylor, O.R. (1992). Honey bee drone flyways and congregation areas radar observations. Journal of the Kansas Entomological Society, 65: 223-230.

Mackensen, O., Tucker, K.W. (1970). In: USDA (Ed.), Instrumental Insemination of Queen Bees. United States Department of Agriculture, Washington, DC.

Mackensen, O., Roberts, W.C. (1948). In: USDA (Ed.), A Manual for the Artificial Insemination of Queen Bees. United States Department of Agriculture, Washington, DC.

Oldroyd, B.P., Thompson, G.J. (2006). Behavioural genetics of the honey bee *Apis mellifera*. In: Simpson, S.J. (Ed.), Advances in Insect Physiology. Academic Press, San Diego.

Plate, M., Bernstein, R., Hoppe, A., Bienefeld, K. (2019). The importance of controlled mating in honeybee breeding. Genetics Selection Evolution, 51: 1-14

Tarcicio, C. S., & Dionisio, D. S. (1990). Selección para uniformidad de oviposición y viabilidad de larvas en una población de abejas italianas (*Apis mellifera ligustica*). Agrocienia, 1.

Utaipanon, P., Holmes, M.C., Chapman, N.C. & Oldroyd, B.P. (2019). Estimating the density of honey bee (*Apis mellifera*) colonies using trapped drones: area sampled and drone mating flight distance. Apidologie, 50: 578-592.

La tipografía Ruta Turística Agroecológica para el Desarrollo Sostenible en el Municipio Rómulo Gallegos Estado Apure – Venezuela

Agroecological Tourist Route for Sustainable Development in the Rómulo Gallegos Municipality Apure State – Venezuela

ALFONSO JOSÉ FERNÁNDEZ ¹

DIXIA SIMAIRA ESPINOZA QUERALES ²

¹ Grupo de Creación Intelectual Venezuela Turística Agroecológica Venturagro Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Barinas – Venezuela alfjosefer@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-0678-7014>.

² Ingeniero y Abogado, Estudiante de Turismo Agroecológico, Docente a honores en la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel UNELLEZ, Municipio Elorza Estado Apure –Venezuela. dixiasimaira123espinoza@gmail.com/<https://orcid.org/0009-0009-0747-4667>.

RESUMEN

Las rutas de turismo agroecológico promoverán el desarrollo local, la competitividad turística y la sostenibilidad territorial en las zonas rurales. El objetivo es proponer una ruta turística para el desarrollo sostenible en el Municipio Rómulo Gallegos, Estado Apure, Venezuela, donde se detectó un desinterés en la aplicación de políticas sostenibles en materia de turismo. Sin embargo, esta región presenta un potencial turístico arraigado en lo cultural, agroecológico y natural. Para ello, se realizó una investigación cualitativa de tipo descriptiva de campo, bajo el método de investigación-acción, triangulada con el modelo sistémico de Varisco (2013) y el modelo de rutas turísticas de Pacheco (2019). Como instrumentos se emplearon la observación directa, entrevistas a profundidad y herramientas como mapas cartográficos, tablas de caracterización de recursos turísticos y análisis documental. Este último incluyó las características del territorio, aplicando dimensiones sociales, económicas, culturales, ambientales y políticas. En la Fase I (diagnóstico turístico), se evaluaron la oferta y la demanda; en la Fase II (diseño de la propuesta de rutas), se definieron los pasos y aspectos a considerar. Los resultados revelaron que la población de Elorza cuenta con una biodiversidad y megadiversidad apta para actividades de contemplación, observación de biofauna y ecoturismo. Asimismo, se identificaron siete alojamientos, dos posadas y ocho recursos turísticos entre la parroquia Elorza y Trinidad de Arichuna, lo que hace viable la promoción de las potencialidades turísticas agroecológicas existentes.

Palabras clave: Rutas Turísticas, Turismo Agroecológico, Desarrollo Sostenible, Oferta Turística y Producto Turístico

ABSTRACT

Agroecological tourism routes will promote local development, tourism competitiveness and territorial sustainability in rural areas. The objective of which is to propose a tourist route for sustainable development in the Rómulo Gallego Municipality, Apure State-Venezuela, where disinterest in the application of sustainable tourism policies was detected. However, it presents tourist potential rooted in the cultural, agroecological and natural, for this a qualitative descriptive field research was carried out, under the action research method, triangulated with the systemic model of Varisco (2013) and the Tourist Routes model. de Pacheco (2019), as an instrument, direct observation, in-depth interviews were used, with tools such as cartographic maps, a table of characterization of tourist resources and documentary analysis, which contemplate characteristics of the territory, applying the social, economic, cultural dimensions, environmental and political as part of Phase I, tourism diagnosis (supply and demand) and Phase II, design of the route proposal (Steps and aspects to consider), yielding as results that the population of Elorza has a multi-biodiversity and megadiverse for contemplation activities, observation of biofauna and ecotourism, in turn, it presents 7 accommodations and 2 inns, 8 tourist resources between the Elorza parish and Trinidad de Arichuna, considering the promotion of the existing agroecological tourism potential viable. In conclusion, the Elorza Land of Magic and History Route will strengthen agroecological tourism policies through plans that promote the sustainability of rural communities.

Keywords: Tourist Routes, Agroecological Tourism, Sustainable Development, Tourist Offer and Tourist Product.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad en Venezuela visualiza el proceso de conservación y protección de los recursos naturales y culturales en beneficio de las comunidades rurales, es decir: todo lo que conduzca a la preservación del equilibrio ecológico, sin tomar en cuenta el progreso material. Paredes et al. (2023) afirman que el turismo agroecológico “promoverá una variedad de oportunidades y beneficios sociales, económicos, culturales y ambientales” (p. 16.). Por lo tanto, el desarrollo sostenible se centra en el uso de recursos que satisfagan las necesidades actuales sin comprometer las oportunidades de las generaciones futuras.

Cabe señalar que todos los aspectos de la visión de la sostenibilidad ambiental están determinados por el uso de los recursos, no por compromisos con ellos, de modo que la próxima generación pueda disfrutar parcialmente de estos recursos, centrándose y confiando en el ambiente. Looren y Vargas (2022) afirman que “el turismo alternativo es un tipo de turismo que incluye actividades recreativas en contacto directo con la naturaleza, con el compromiso de respetar y participar en la conservación de los recursos naturales”. (p. 33). Por lo tanto, las actividades de turismo agroecológico promueven la agricultura, las prácticas ganaderas, la cultura local e integran las zonas rurales con el potencial turístico.

En este sentido, la consolidación y prosperidad del turismo agroecológico complementa el desarrollo sostenible, que incluye principalmente aspectos económicos, sociales y ambientales, teniendo en cuenta la dimensión económica de asegurar la satisfacción de la producción y el consumo de servicios turismo. Monsalve et al. (2023) mencionan que la sostenibilidad del turismo es considerada como “una nueva ética del turismo y del turista, sensible a la naturaleza, cultura y modo de vida de la región receptora, que trae innumerables beneficios a todos los actores asociados al sector de beneficio”. (s. 137).

Este estudio consiste en la propuesta de una ruta turística agroecológica para el desarrollo sostenible en el municipio Rómulo Gallegos, Estado Apure, Venezuela, con el propósito de determinar la viabilidad de un producto turístico de calidad que permita la integración de comunidades con potencial turístico.

Además de la diversificación de servicios, es fundamental atender las necesidades de los turistas locales y extranjeros, considerando nuevas ofertas turísticas que promuevan los espacios naturales, la agroecología, la cultura e historia del pueblo apureño, la artesanía y la gastronomía. Esto implica involucrar, por ejemplo, a jóvenes, residentes locales y mujeres que participan en actividades turísticas agroecológicas, con el fin de fomentar el desarrollo sostenible y transversalizar la igualdad social.

Según Rodríguez (2019), este tipo de turismo “busca satisfacer ciertos segmentos del mercado turístico interesados en el conocimiento rural y cultural rural; conjuntamente, proporciona prácticas agrícolas continuas ecológicamente sustentables que promueven nuevas formas de convivencia en la región, entornos turísticos” (p. 64).

De acuerdo con la Organización Mundial del Turismo (2020), “un producto turístico es un conjunto de componentes tangibles e intangibles, incluidos los recursos o atractivos turísticos, la infraestructura, las actividades de ocio, la imagen y el valor simbólico, que satisfacen motivaciones y expectativas y son percibidos como una experiencia turística” (p. 10).

En otras palabras, satisface las necesidades de los visitantes en todos los niveles y, al mismo tiempo, protege y promueve oportunidades futuras. En ese sentido, se alinea con la visión de los operadores y creadores de un espacio viable de entretenimiento y ocio, que se relaciona con la naturaleza y cuida del ambiente, al mismo tiempo que promueve la cultura y la ascendencia, conectando e integrando a los residentes locales.

Este estudio es de gran importancia para el sector turístico, ya que permitirá incrementar el potencial del municipio Rómulo Gallegos y determinar si esta propuesta puede convertirse en una oportunidad más para diversificar el turismo entre los residentes. A nivel regional, esta es una zona de gran atractivo natural, cultural e histórico, especialmente en la población de Elorza, que destaca las ventajas del turismo agroecológico como un punto de gran prosperidad y proyección.

Por ello, se busca dar respuesta a la interrogante: ¿Cómo la ruta turística agroecológica promoverá el desarrollo sostenible en el municipio Rómulo Gallegos, Estado Apure, Venezuela? A partir de esta pregunta, es necesario identificar las potencialidades turísticas agroecológicas existentes. Esto se logrará mediante una revisión de las operadoras, prestadores de servicios y complejos turísticos que impulsan el turismo en la zona, así como de las comunidades con potencial turístico.

Por tal motivo, el municipio Rómulo Gallegos Estado Apure – Venezuela, ubicada en la región de los llanos occidentales, presenta una superficie de 12.219 km², su población es 1.732 habitantes, según censo del Instituto Nacional de Estadística, 2018. Además, Elorza es considerada la capital de este municipio, donde muestra una cultura arraigada en el joropo, música llanera, su gente, la gastronomía y fiestas patronales. También tiene disponible hermosos paisajes naturales, la diversidad histórica, Además, su patrimonio cultural también tiene que ver con la flora y la fauna, pues Elorza fue la inspiración del gran escritor Rómulo Gallegos en su novela Doña Bárbara. Apostando a la línea de investigación del Grupo de Creación Intelectual Venezuela Turística Agroecológica, que traversa con la Biodiversidad y Sistemas Socioproductivo Venezolano, en la línea Matriz Dimensión espiritual y Turismo agroecológico, apoyada en la Sub-Línea operativa 4: Patrimonio, Turismo y Emprendimiento, con el fin de apostar al desarrollo sostenible mejora las condiciones de vida de las comunidades con potencial turísticos, incrementando los bienes y servicios para cubrir sus necesidades básicas y complementarias.

Asimismo, es necesario crear un entorno social que respete los derechos humanos, teniendo plenamente en cuenta la biodiversidad en el estudio de las relaciones entre los organismos y sus hábitats. En este mismo contexto, la introducción de fuentes complementarias se visualiza como un punto de equilibrio para la aplicación del desarrollo sostenible de la agricultura y el turismo agroecológico a nivel nacional y municipal, como prerrequisito para la inclusión de respuestas ecofisiológicas individuales además de estructura y dinámica en la organización de la población y la comunidad. Además, los flujos de energía y materia en los ecosistemas a diferentes escalas, desde la local hasta la global, son de gran importancia.

Por tanto, existe un fuerte vínculo entre lo social, lo económico y el turismo agroecológico, donde el ambiente, la propia tierra contribuyen a la economía y son esenciales para garantizar la producción sostenible de bienes y servicios. Por ello, la planificación de productos turísticos es imperante para el impulso de la economía, las sociedades y la cultura local. Según Díez (2011), “La planificación estratégica del espacio turístico interior requiere un enfoque específico para satisfacer las necesidades y expectativas del medio rural”. (15. pp.). Asimismo, se debe considerar la integración de otros espacios en la planificación turística para ayudar a formular y priorizar el territorio, el entorno natural, donde se deben priorizar los estándares de gestión ambiental y la sostenibilidad.

Cabe destacar que la ruta turística agroecológica permitirá el desarrollo local, la competitividad turística y la sostenibilidad territorial en el medio rural. Según Molina (2013), las rutas turísticas son una propuesta estandarizada de lugares y actividades a realizar en una zona bajo un régimen de tiempos y duración de visitas flexibles (p. 8). Asimismo, la ruta turística agroecológica traerá a las comunidades rurales una mejora y revitalización de la preservación de la cultura rural y el patrimonio, incrementando la venta de artesanías y la conservación del paisaje (Uscátegui y Yáñez, 2022).

Para ello, es necesario identificar, mediante la experiencia y la observación, las líneas estratégicas clave y los aspectos de mayor relevancia para la planificación efectiva de los espacios turísticos, con una visión sostenible apoyada en las prácticas agrícolas, ganadería y cultura local.

Por tal razón, el objetivo de este trabajo se centra en proponer una ruta turística agroecológica para el desarrollo sostenible en el municipio Rómulo Gallegos, Estado Apure, Venezuela, aplicando la integración y participación comunitaria con el fin de impulsar el turismo en la región a nivel nacional e internacional.

A su vez, es necesario e importante abordar el sistema turístico, combinando la oferta turística para la consolidación de productos y servicios con una visión sostenible que integre a las comunidades y demás sectores del turismo. Por lo tanto, el enfoque de sistemas constituye la base fundamental para analizar la actividad turística de manera global, incluyendo su estructura, su relación con el contexto de desarrollo y su propósito de contribuir al fortalecimiento del turismo y la mejora de la calidad de vida de los actores involucrados.

En resumen, el objetivo del desarrollo sostenible de las rutas turísticas es estimular nuevos mecanismos o estrategias competitivas en los destinos turísticos, promoviendo así una cultura de planificación competitiva, mejorando el camino a seguir. Al respecto, Arellano et al. (2020) se comprometen a introducir productos turísticos agroecológicos, utilizando activamente los recursos turísticos, protegiendo la biodiversidad para las generaciones futuras y promover conjuntamente el desarrollo económico, social y ambiental de lugares favorables. Por lo tanto, el turismo agroecológico incluye la búsqueda de varias actividades agrícolas singulares, brindando a los visitantes nuevos conocimientos y actividades diversas, al mismo tiempo que se generan ingresos mediante la comercialización de productos gastronómicos elaborados a partir de materias primas locales.

Materiales y métodos: Para este artículo se aplicó el método cualitativo de investigación descriptiva. De acuerdo a lo dicho, el objetivo de este estudio es proponer una ruta turística agroecológica para el desarrollo cultural e histórico en el municipio de Rómulo Gallegos, Estado Apure-Venezuela, donde se menciona el sistema turístico de Varisco (2013), Ver Figura 1.

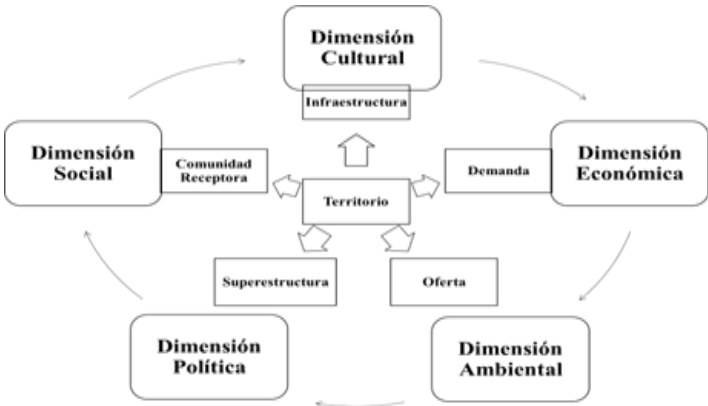


Figura 1. Sistémico Turístico como base Metodológica de Varisco (2013) Fuente: Varisco (2013)

En la Figura 1, hace referencia de los componentes de los sistemas turísticos, y las dimensiones de la sostenibilidad, sumado a las políticas y gobernanza turísticas en la región. Esta propuesta estará sustentada en la investigación acción participativa, donde se triangulara con el Modelo de diseño de rutas Turística de Pacheco (2019), el cual se visualiza en la figura 2.

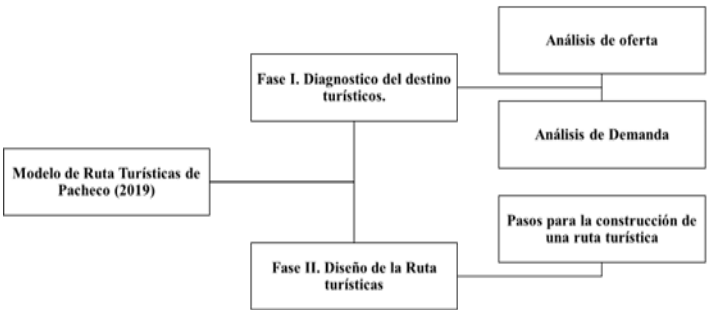


Figura 2. Modelo de diseño de rutas Turística de Pacheco (2019) Fuente: Pacheco (2019)

La figura 2 se estructura en dos fases, las cuales servirán para proponer la ruta turística agroecológica para el desarrollo cultural e histórico en el municipio Rómulo Gallegos, Estado Apure. Para la recolección de la información será a través de la observación directa, las diferentes fichas para el inventario de los recursos turísticos, registros fotográficos y cartográficos del territorio, descripción de sus potencialidades naturales, culturales, históricas y agroecológicas, con el fin de proponer la ruta turística agroecológica para el desarrollo cultural-histórico en el Municipio Rómulo Gallegos Estado Apure. La muestra serán los prestadores de servicios, instituciones públicas y comunidad local, donde se aplicaron instrumentos de tipo entrevista a profundidad.

Para el análisis de datos, es necesario triangular con el método de Pacheco (2019), Varisco (2013) y el Centro Interamericano de Capacitación Turística (CICATUR) (2019), con el fin de responder a los objetivos planteados. A su vez, se debe efectuar un análisis y una teorización de las categorías, para luego contrastarlas con cada uno de los instrumentos de recolección de información, documentando a través de fichas, mapas y entrevistas a los actores sociales que integran el sistema turístico del municipio Rómulo Gallegos, Estado Apure, Venezuela, con el propósito de impulsar la propuesta de una ruta turística agroecológica para el desarrollo sostenible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado, se busca dar respuesta el recorrido metodológico, el cual se estructura en 2 partes, la primera busca desde lo plantado por Varisco (2013) y la segunda el modelo de diseño de rutas Turística de Pacheco (2019), el cual se distribuirá en 2 fases.

Parte I. Sistema Turístico como base Metodológica de Varisco (2013)

En este primer abordaje, Varisco (2013), presenta un sistema dinámico y complejo, el cual se muestra en la tabla 1. Para ello, se efectuó un análisis de territorio, la superestructura, demanda, oferta, turistas y comunidad receptora, donde se combina el Modelo propuesto por Pacheco (2019), que planea en su primera fase, el diagnóstico del destino, bajo esta perspectiva se estudiara el Municipio Rómulo Gallegos Estado Apure-Venezuela. En este sentido, el municipio Rómulo Gallegos se ubica en el Estado Apure, Venezuela, y pertenece al segundo de los siete municipios de la entidad llanera.

Limita con los municipios Muñoz y Páez al norte, Pedro Camejo y el país vecino Colombia al sur, Achaguas al este, y nuevamente con Colombia y el municipio Páez al oeste. Fue fundado en 1866 por José Andrés Elorza. Sus coordenadas geográficas son 6°49'42"N y 69°26'31"O, con una superficie de 12.219 km² (ver Figura 3).

En tal sentido, el municipio Rómulo Gallegos cuenta con una gran variedad de sitios históricos que son parte fundamental de su acervo cultural. Esta localidad tiene la particularidad de haber compartido su casco urbano con la vecina República de Colombia hasta la presidencia de Eleazar López Contreras. La parte venezolana, ubicada en la zona este, recibió el nombre de Elorza en homenaje al prócer Andrés Elorza, mientras que la parte colombiana, en la zona oeste, se denominaba El Viento.

Dimensión Ambiental

En este sentido, la figura 3, se puede observar la ubicación geográfica del Municipio Rómulo Gallegos Estado Apure-Venezuela, el territorio presenta un clima de sabana con una temporada promedio anual de 27 °C a 30 °C, considerado la ecorregión de Los Llanos presenta un clima típico Aw (en la escala de Köppen), caracterizado por dos periodos climáticos bien distintos: el seco (verano) y el húmedo o de lluvias (invierno). (Ulloa, 2012). Del mismo modo, el relieve es llano, predominan planicies de desborde de los grandes ríos que las circundan. La mayor altitud no supera los 91 m s.n.m. Las formas típicas del llano son: Banco, esteros, bajíos y médanos. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2014).

Del mismo modo, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2014) señala que la biodiversidad es variada y compleja de identificar, donde los mamíferos están distribuidos en el cachicamo sabanero (*Dasypus sabanicola*), la danta (*Tapirus terrestris*), el chigüire o capibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) y el jaguar (*Panthera onca*). También se encuentra el caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*), la tortuga arrau (*Podocnemis expansa*), el morrocoy (*Geochelone carbonaria*) y la baba (*Caiman crocodilus*), entre otras especies.

Por otra parte, la flora representa aproximadamente 3,137 especies, incluyendo 126 helechos, 2,141 dicotiledóneas y 870 monocotiledóneas, lo que constituye el 22.3 % de la flora total del país; 41 de ellas son endémicas de la ecorregión (Aymard y González, 2007). Por otra parte, el municipio está representado por ríos y caños, considerando una red fluvial de ríos como el Arauca, Capanaparo, Riecito y Cinaruco: otros recursos importantes son las lagunas Santa Elena, del Término, Laguitas, Los Laureles, La Guafita y Campo Alegre. La expansión no controlada de la frontera agrícola y urbana ha conducido a la pérdida del hábitat de numerosas especies, muchas de las cuales están en peligro de extinción (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2014).

Dimensión Social

Este Municipio cuenta con dos parroquias Elorza y La Trinidad de Orichuna. Se estima una población 1.732 habitantes, considerando que el resto de la población está disperso en los fundos, hatos y comunidades indígenas. Cabe destacar, que la mayoría de los habitantes vive en las zonas rurales, una pequeña proporción de los habitantes son indígenas de las etnias Pumé y Cuiba, presentando una cultura arraigada a las prácticas ancestrales.

Asimismo, la infraestructura turística, y considerando lo expuesto por los informantes clave, indica que existe escasez de abastecimiento de servicios básicos como agua blanca y servida, electricidad, aseo urbano. Las telecomunicaciones son deficientes debido a la falta de antenas repetidoras, las fallas eléctricas y la conectividad para la promoción de la oferta turística existente.

En salud, prevalecen los diferentes centros hospitalarios, como (1) el Centro de Diagnóstico Integral (CDI), un Centro de Rehabilitación Integral (CRI), siete módulos de Barrio Adentro, 12 módulos de Salud Indígena y dos ambulatorios rurales. A pesar de contar con centros de salud, presentan deterioro en su infraestructura y falta de equipamiento. Sin embargo, cuenta con el Banco Bicentenario, el Banco Agrícola de Venezuela, la Biblioteca Pública, el Liceo Bolivariano Manuel Antonio Nieves, el Liceo Bolivariano Ignacia Rodríguez de Mayor y la Escuela Primaria Simón García Rosales.

Además, en el sector educativo; predominan 67 escuelas de educación básica y siete liceos (tres en zonas urbanas y cuatro en áreas rurales). Actualmente, funcionan cinco universidades o núcleos derivados de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Universidad Nacional Experimental «Simón Rodríguez» (UNESR), Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales «Ezequiel Zamora» (UNELLEZ), Universidad Politécnica Territorial del Alto Apure «Pedro Camejo» (UPTAAPC) y de la Universidad Bolivariana de Venezuela (UBV).

Es importante destacar que, en cuanto a la accesibilidad, las comunicaciones están basadas en dos carreteras: una que comunica con las ciudades de Mantecal y Bruzual, y otra que conecta con la población de La Trinidad de Arichuna y la ciudad de Guasdualito. También existen diversos puntos fluviales a través del río Arauca y un aeropuerto que asegura la comunicación aérea. El transporte, tanto público como privado, es muy frecuente. Existe un pequeño aeropuerto con una pista de aterrizaje, la cual se encuentra activa, pero no para vuelos comerciales. En cuanto a terminales terrestres, está el de la asociación cooperativa Rómulo Gallegos, con salidas diarias solo dentro del territorio estatal. Aledaño a este terminal se encuentran oficinas de los autobuses que hacen su recorrido desde el estado Apure hacia la parte central del país.

Dimensión Económica

El municipio está económicamente sustentado en las prácticas de agricultura, ganadería y pesca, presentando un 4% de las Unidades de Producción Agrícola (UPA) del estado, las cuales ocupan el 14% de las hectáreas productivas de la entidad (MAT, 2008). Asimismo, se destaca la producción de queso y mantequilla, el procesamiento de cuero y ciertos trapiches para la elaboración de productos a base de caña de azúcar. En relación con la planta turística, predominan los servicios de hospedaje, restauración, entre otros.

Considerando la planta turística, “son todos los servicios turísticos directos proporcionados por los prestatarios turísticos (hoteles, restaurantes, agencias de viajes)” (Ronquillo, 2015). Ver Tabla 1.

N°	Nombre establecimiento	Oferta de Servicios	Ubicación
	Hotelería		
1	Hotel Don Juan	Cuenta con excelentes habitaciones tipo rustico, todos los servicios correspondientes además de un restaurante disponible durante el día, estacionamiento y seguridad.	Carretera vía Elorza – Guasdualito a 3 km del puesto de control la vuelta del cacho,
2	Hotel Rosalía	Excelente servicio con una estructura de dos plantas, posee habitaciones confortables, todos los servicios básicos y vigilancia	500 mts en la entrada al pueblo después del monumento al joropo
3	Hotel Don Santo	Cuenta con habitaciones de muy buena calidad, atención esmerada de sus dueños, servicios básicos y estacionamiento.	100 mts aproximadamente después del monumento al joropo.
4	Hotel Virginia	Tiene una infraestructura de dos plantas, habitaciones, acordes como las pida, estacionamiento privado y servicios básicos.	Avenida principal entrando al pueblo.
5	Hotel Aeropuerto	Habitaciones confortables, estacionamiento privado y servicios básicos.	Avenida aeropuerto, ofrece excelentes.
6	Hotel Mayuliana	Ofrece una gran variedad de habitaciones confortables, posee una sola planta con estacionamiento propio excelentes servicios básicos y vigilancia.	Calle Eneas Perdomo diagonal al polideportivo.
7	Hotel Capanaparo viejo	Presenta una infraestructura de dos plantas que ofrece habitaciones familiares y unifamiliares, excelente atención, servicios básicos al día, estacionamiento privado y vigilancia.	Ubicado detrás de la manga de coleo Alí morales Guerrero.
	Posadas		
1	Pasada Herencia Bolivariana	Ofrece habitaciones de muy buena calidad, infraestructura de una sola planta, y servicios básicos.	Frente a la plaza las tres razas,
2	Posada los Galápagos	Ofrece habitaciones matrimoniales y dobles para turistas de paso con servicios básicos y estacionamiento	Vía el caribe.

Tabla 1. Inventarios de Alojamientos y Restaurantes Fuente: Elaboración Propia (2024)

Referente a la Tabla 1, el municipio cuenta con prestadores de servicios en los alojamientos turísticos, distribuidos en 7 hoteles y 2 posadas. Estos ofrecen servicios básicos, aire acondicionado, restaurante, internet, zonas wifi y cómodas habitaciones. Además, los restaurantes ofrecen comidas típicas de la región, como el pescado frito, el picadillo llanero, la cachapa de maíz fresco con cochino frito y, por supuesto, la carne, además de una gran variedad de dulces preparados con frutas de producción local.

Dimensión Político

Del mismo modo, el municipio está constituido por la Alcaldía Bolivariana del Municipio Rómulo Gallegos, el Concejo Municipal, el Registro Subalterno de notarías, el Hospital tipo I, la Fundación del Niño, y el Centro Nacional de Atención al Niño, Niña y Adolescente (CEDNNA). Por otra parte, las políticas en materia de turismo son aplicadas por el Instituto Nacional de Turismo en conjunto con la Dirección de Cultura y Turismo, la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), sede del Municipio Rómulo Gallegos del estado Apure, la cual está impulsando el motor turismo desde el 2020 con el Programa de Formación de Grado en Licenciatura en Turismo Agroecológico, a través de la capacitación, recaudación y promoción del destino Apure. También se incluyen las fiestas patronales de San José “19 de marzo” (los meses se escriben en minúscula), o Fiestas de Elorza, donde los prestadores de servicios en alojamientos, restaurantes, operadoras locales y la comunidad receptora promueven la actividad turística en la región y a nivel nacional e internacional, por tener al hermano país Colombia en sus límites.

Dimensión Cultural

Considerando que el municipio se ubica en la región apureña, y razón su cultura está arraigado al joropo, música llanera (Arpa, cuatro y maracas), representaciones étnicas, gastronomía singular a la producción de ganadería como carne asada, picadillo, pescado, sancocho, la producción de queso y procesamiento del cuero como patrimonio cultural inmaterial, integrando la dulcería y bebidas típicas del municipio.

Parte II. Modelo diseño de rutas Turística Agroecológicas Según Pacheco (2019)

De acuerdo con Pacheco (2019), quien presenta 5 fases para diseñar rutas turísticas. Por ello, solo se tomara (error ortográfico) la dos (error de redacción) primeras fases, con la finalidad de triangular las dimensiones ambientales, sociales, económicos, políticos y culturales propuesto (error de rdacción) por el sistema turísticos de Varisco (2013), para ello será necesario efectuar la Fase I, el diagnósticos Turístico (plural o singular) (Oferta y demanda) de las potencialidades turísticas, y Fase II, el diseño de la ruta turística (Estructura de la ruta o productos y servicios).

Fase I. Diagnósticos Turístico (Oferta y demanda)

Partiendodelafigura1,sedarárespuestaalaestructura para el análisis de potencialidades, comenzando con el análisis de las potencialidades turísticas (oferta y demanda), según Pacheco (2019). Considerando que la oferta turística es una combinación de servicios y productos que se presentan para su consideración por un cliente turístico que desea realizar un viaje (Llupart y Rodríguez, 2022). Ver Tabla 2.

NRO.	RECURSO	CATEGORIA	TIPO	JERARQUIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS
1	Fiestas en honor al santo patrono San José del 15 al 19 de marzo	Atractivos Culturales	Fiestas Patronales	V	Presentaciones de actividades folclóricas expresiones culturales territoriales, desde épocas ancestrales
2	Casco históricos de Elorza (Casas Históricas) y La Trinidad de Orichuna, (Bioparque lamanguera)	Atractivos Culturales	Lugares arqueológicos, sitios históricos, entre otros.	V	Recursos excepcionales y de gran significado para el mercado turístico internacional
3	Monumento a Pancha Vásquez (Doña Bárbara)	Atractivos Culturales	Patrimonio histórico y museos	V	Recursos excepcionales y de gran significado para el mercado turístico internacional
4	Ríos, campos, Fincas	Atractivos naturales	Prácticas Agrícola, ganadera y agroecológica	V	Áreas naturales que por sus atributos propios son considerados parte importante del potencial turístico.
5	Casa de la cultura (Cultores de Elorza)	Atractivos Culturales	Patrimonio histórico y museos	V	Recursos con algunos rasgos llamativos capaces de interesar a visitantes.
6	Procesamiento del Cuero	Atractivos Culturales	Prácticas Agrícola, ganadera y agroecológica	V	Recursos con algunos rasgos llamativos capaces de interesar a visitantes.
7	Preparación del Queso	Atractivos Culturales	Prácticas Agrícola, ganadera y agroecológica	V	Recursos con algunos rasgos llamativos capaces de interesar a visitantes.
8	Sistema de Siembra	Atractivos Natural	Prácticas Agrícola, ganadera y agroecológica	V	Recursos con algunos rasgos llamativos capaces de interesar a visitantes.

Tabla 2. Oferta de Potencialidades de Recursos Turísticos Fuente: Elaboración Propia (2024)

De acuerdo con la tabla 2, el Municipio Rómulo Gallegos, oferta una variedad de potencialidades turísticas agroecológicas, considerando que esta modalidad integra las prácticas agrícolas y ganadera como principal oferta, los paisajes naturales, la cultura, su gente, su singular gastronomía y tradiciones orales de la zonas, la historia y la biodiversidad, impulsando la economía de las fincas, hatos y granjas de la zona. Según el Centro Interamericano de Capacitación Turística (CICATUR) (2019) y Lluart y Rodríguez, (2022), que muestran que la oferta turísticas está constituida por productos, servicios y atractivos singulares, en este sentido que se distribuye en dos categorías (2 - naturales y 6 - culturales), de tipo fiesta patronales, lugares arqueológicos, sitios históricos, museos, prácticas Agrícola, ganadera y agroecológica, con una nivel V de Jerarquía, considerando un potencial de desarrollo sostenible para las comunidades locales.

Por otra parte, el Hato Cedral como operadora turísticas a nivel local, presta servicios de guías de turismo, recorridos por los diversos espacios naturales, prácticas agrícolas, ganadera y agroecológica. Con relación a la Demanda turísticas, para el año 2023 se registra en las temporadas altas como La Fiesta de Elorza una considerable aumento de afluencia de turistas de los estados vecinos como Barinas, Guárico, Cojedes, Portuguesa, Mérida, achira, al igual de Colombia, que traen artistas interprete de la canta criolla y los máximos exponente del país a celebrar dicha fiestas.

Sin embargo, el Municipio Rómulo Gallegos presenta desventajas con otras ofertas turísticas, por la faltas de condiciones de infraestructura e servicios básicos (información turística, señalización adecuada, organización, alojamientos con un mínimo de confort. Un producto turístico bien definido y dirigido a un mercado determinado. De ahí que es altamente importante evaluar el potencial turístico del territorio y establecer un plan que oriente las acciones necesarias por realizar, con el fin de aprovechar mejor y de manera sostenible el potencial turístico que existe en el lugar, y de superar posibles limitantes.

Fase II. Diseño de la ruta turística (Estructura de la ruta o productos y servicios).

De acuerdo con lo expuesto en la fase I, se procede a Proponer la ruta turística agroecológica para el desarrollo sostenible en el Municipio Rómulo Gallegos Estado Apure-Venezuela. En este sentido, Barrera y Bringas (2009), señala que para la construcción de una ruta turística se deben considerar diversos aspectos. Ver tabla 3.

Pasos	Aspecto
1	Delimitar la ruta, establecer los municipios y/o lugares que serán parte de dicha ruta.
2	Realizar un estudio de la oferta turística por medio del cual se identifiquen los bienes, productos y servicios que estarán disponibles y que podrán ser aprovechados por los turistas.
3	Identificar y realizar una lista de los atractivos turísticos, es decir, de los parques, los monumentos, las iglesias, los centros comerciales, los espacios naturales, entre otros.
4	Identificar y realizar una lista de los lugares donde se puede degustar la gastronomía y clasificarlos, por ejemplo: restaurantes de comida rápida, de comida típica, de comida extranjera, de comida vegetariana, y demás.
5	Identificar la receta, la preparación y el proceso de los productos sobresalientes que pertenezcan a dicha ruta, puesto que este componente se convierte en un factor motivacional.
6	Promocionar la ruta por los diferentes medios de comunicación departamentales y municipales, así como en redes sociales, cuñas radiales en las emisoras de la región, etc.
7	Crear folletos y/o afiches para que las personas que forman parte de la zona tengan conocimiento de la ruta. Se hará un “voz a voz” para que el posterior lanzamiento de la ruta sea un éxito.

Tabla 3. Pasos para la construcción de una ruta turística Fuente: Prieto y Triana (2019).

Cabe destacar en la tabla 3, el paso 1, la ruta estará delimitada en el Municipio Rómulo Gallego Parroquia Elorza y Trinidad de Arichuna, para ello se muestra la figura 4.



Figura 4. Propuesta de la ruta turística agroecológica para el Desarrollo Sostenible Fuente: Elaboración Propia (2024)

Asimismo, la figura 4 muestra la oferta turística, igualmente en la tabla 3, se expresa el listado de las potencialidades turísticas existente en dicho municipio, cumpliendo con el paso 2, 3 y 4, a su vez; los alojamientos y restaurantes ofrezcan la comida típica de la región, para ello se presenta la ficha para el levantamiento de los recursos turísticos. Ver tabla 4.

Nombre de la Ruta:		Recursos Turística Agroecológica de Elorza				
Ubicación:		Elorza Capital del Municipio Rómulo Gallegos del Estado Apure.				
Estado:	Apure	Municipio:	Rómulo Gal- lego	Parroquia:	Elorza	Coordenadas: Latitud 7° 3' 35 y N Longitud 69° 29' 48
Distancia desde:	Diosa Agricultura	K.M.	4,7 Km	Horas: 2 Horas	Dificulta Ruta:	Baja
Categoría			Tipo		Clase	Jerarquía (1-5)
Sitios naturales		x	Ríos, campos, Fincas		Central	V
Manifestaciones culturales e históricas		x	Elorza (Casas Históricas) y La Trinidad de Orichuna, (Bioparque lamanguera)		Central	V
			Monumento a Pancha Vásquez (Doña Bárbara)			
			Casa de la cultura (Cultores de Elorza)			
Folclor y cultura tradicional			Monumento al Folclor		Central	V
Realizaciones técnicas, científicas y artísticas contemporáneas			Procesamiento del Cuero		Central	V
			Preparación del Queso			
			Sistema de Siembra			
Acontecimientos programados			Fiestas en honor al santo patrono San José del 15 al 19 de marzo		Central	V
			Casco históricos			
Breve descripción del atractivo: Elorza tierra magina e histórica que representa la expresión cultural del llanero, donde su geste y la gastronomía singular invita a un cumulo de emociones a través de la ríos, campos y fincas con grandes riquezas en paisajes naturales para la observación de la biofauna, cabalgata en los atardeceres, recorridos por monumentos simbólicos de la época de antaño, donde grandes escritores como Rómulo Gallego consagro su novela Doña Bárbara representada en un obelisco en homenaje a Pancha Vásquez, igualmente el folclore y manifestaciones culturales e histórica representada en el monumento al folclore o joropo, las fiesta patronales y la elocuencia de los grandes productores de leche que practican el procesamiento del queso, al igual los ganaderos que percuten el cuero como práctica ancestral, los agricultores con la presentación de sus diversos cultivos para la realización de ferias de la agricultura, mostrando la gastronomía típica como la carne asada, pescado y pisillos, como también la dulcería y bebidas típicas del momento.						
Acceso					Valor (1 a 4)	Acciones Recomendadas
Por camino asfaltado		x	4			V
Por camino sin asfaltado						V
Actividades Actuales:		Recreación, ecoturismo, turismo agroecológico, prácticas agroecológicas de siembras, preparación de queso y cuero de ganado, el ordeño y faena del ganado.				
Actividades potenciales:		Senderismo, campismo, observación de aves, prácticas agrícolas, recolección de semillas, siembra de árboles, fotografía, cicloturismo, talleres de prácticas agroecológicas, preparación de queso y cuero de ganado.				

Tabla 4. Fuente: Elaboración Propia (2024)

En tal sentido, la tabla 4, muestra un sinfín de recursos turísticos de valor inigualable, con una jerarquía de nivel V, por ser un potencial internacional, se ubica entre las fronteras de Venezuela y Colombia, donde solo el río Arauca los divide, a su vez; presenta 8 atractivos que puede generar el desarrollo sostenible en el Municipio Rómulo Gallegos, integrando los prestadores de servicios turísticos locales, comunidad organizada y empresas privadas. Según Gambarota (2022), hace mención que “el turismo es reconocido como impulsor del desarrollo en un territorio, por lo que surge la posibilidad de revalorizarlo e incorporarlo entre sus actividades”. (p. 112).

A partir de esta propuesta, la ruta turística agroecológica Elorza tierra de magia e historia tiene como objetivo prioritario, impulsar el desarrollo sostenible de las comunidades vulnerable con potencial turísticos a través de recorrido por fincas, hatos, lugares culturales y monumentos, al igual que los diferentes restaurantes de comida típica, presentando una propuesta de alojamiento para la estadía durante su visita al Municipio, con guías especializados que presente una alternativa de sustentabilidad económicas, sociocultural y ambientalmente sensibilizados, en la preservación del patrimonio cultural y natural de la población de Elorza.

Por tal motivo, el recorrido tiene su punto de inicio en la Plaza Bolívar de Elorza, representada por el centro histórico, luego a la casa de los cultores, seguidamente al paseo alma llanera, en este tramo se visitara el Restaurante el buen Sabor, donde degustaran una rico desayuno criollo, luego al Club agroturismo piscina La Molinera donde gozaran una tarde de recreación, esparcimiento y ocio, seguidamente se visitara el monumento al Joropo y luego Hospedarse en Hotel Rosario, en este primer día se muestra la cultura arraigada en la historia de la época de antaño, y las expresiones y manifestaciones autóctona de Elorza.

Lauro Carrillo donde se llegara a la Plaza Doña Bárbara, seguidamente llegar al Restaurante de Juan para disfrutar un almuerzo al estilo llanero carne en vara, yuca y ensalada, para partir hacia la Trinidad de Arichuna a la Granja La Caribera Ranch donde se podrá observar la biofauna, la cultivos, el ordeño y procesamiento de queso y cuero del ganado, degustar un recorrido a caballo y disfrutar un atardecer entre las llamaradas de la sabana y el cielo azul estrellado. Por último, retornar al Centro de Elorza para despedirlos en el Aeropuerto.

CONCLUSIONES

La ruta de turismo agroecológico para el desarrollo sostenible en el Municipio Rómulo Gallegos, Estado Apure, Venezuela, es considerada un producto turístico vivencial que impulsa la economía local y genera beneficios tangibles e intangibles para la jurisdicción. Al respecto, Gambarota (2022) indica que “una de las formas más utilizadas para promover el crecimiento de una región a través del turismo es la conformación de rutas turísticas, las cuales consisten en unir varios sitios a través de una temática común”. (p. 5). Por ello, esta actividad económica contribuirá al desarrollo sostenible de las zonas rurales, la protección del patrimonio cultural y natural con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas.

Asimismo, el propósito de la propuesta es brindar una actividad turística diferente al turismo tradicional, que integre elementos ambientales, culturales, sociales, agroecológicos que promueva el desarrollo económico, utilizando métodos de agricultura, ganadería y piscicultura como potencial para el desarrollo sostenible. En este sentido, Romero (2013) afirma que el turismo agroecológico permite “un equilibrio sostenible para el desarrollo de las zonas rurales, proporcionando productos y servicios asociado a la agricultura y pecuarias.” (p. 15).

De esta manera, la ruta de turismo agroecológico se ubica en el mapa entre las fronteras de Venezuela y Colombia, en la ciudad de Elorza, en el municipio Rómulo Gallegos, en el estado Apure. Para ello, el Sistema Turístico Varisco (2013) y el Modelo de Ruta Turística Pacheco (2019) desarrollan fase I, diagnósticos turísticos (oferta y demanda) y desarrollo de rutas que integran las dimensiones ambiental, social, económica, política y cultural del territorio. Se muestra la belleza natural y cultural de la zona de las llanuras.

Como se muestra en las Tablas 2 y 3, los 8 recursos turísticos con nivel 5 son atractivos icónicos y simbólicos según los lineamientos del Centro Interamericano de Capacitación Turística (CICATUR) (2019) y Llupart y Rodríguez, (2022), presentan una colección de ofertar turísticos como recursos, servicios y productos experienciales donde visitantes y turistas utilizan los espacios agrícolas y pecuario para la recreación, la sensibilización y la integración familiar. Además, contribuye al desarrollo sostenible de las comunidades locales y de los operadores turísticos locales.

En este sentido, las rutas turísticas son consideradas un clúster de actividades y atracciones que incentivan la cooperación entre diferentes áreas y que sirven para estimular el desarrollo a través del turismo, implicando que deben tener una serie de elementos que las respalden como destino turístico. (López, 2011, p. 919). Por tal motivo, en la fase II, se presenta la propuesta de diseño de ruta turística (Figura 4) a través del diagnóstico presentado en la tabla 2 y 3, conjuntamente los pasos para la construcción de una ruta turística (tabla 4), se pudo mostrar una ficha de levantamiento de información de la propuesta de un producto turísticos nuevos e innovador.

Por tal motivo, Elorza Tierra de Magia e historia es un potencial para el turismo agroecológico con valores culturales y naturales que se puede potenciar aplicando políticas sostenibles y potenciando el espacio rural. En síntesis, la ruta de turismo agroecológico sostenible en Rómulo Gallegos, Estado Apure, Venezuela, visibiliza la posibilidad de la sostenibilidad comunitaria y llama al desarrollo de planes estratégicos de turismo como mecanismo para promover y aplicar políticas de sostenibilidad en este contexto. El sector turismo de comunidades locales fortalece el turismo agroecológico y cultural como motor de empleo directo e indirecto, mejorando así la calidad de vida y promoviendo la integración de los sectores.

REFERENCIAS

Arellano, J., López, J., y León, F. (2020). Turismo Agroecológico: Potencial desarrollo en zona rural del Guayas. Revista Delos: Desarrollo local sostenible, Vol 13 nro. 36. Recuperado de: <https://www.eumed.net/rev/delos/36/turismo-agroecologico.html>

Aymard, G., y González, V. (2007). Consideraciones generales sobre la composición florística y diversidad de los bosques de los Llanos de Venezuela. (págs. 59-72). FUDENA, FUNDACIÓN POLAR, FIBV. https://www.researchgate.net/profile/Gerardo_Aymard/publication/292122237_Consideraciones_generales_sobre_la_composicion_floristica_y_diversidad_de_los_bosques_de_los_Llanos_de_Venezuela/links/57154e6208ae1a840264f89d/Consideraciones-generales-sobre-la-composicion-floristica-y-diversidad-de-los-bosques-de-los-Llanos-de-Venezuela.pdf?origin=publication_detail

Centro Interamericano de Capacitación Turística (CICATUR) (2019). Diseño y operación de productos agroturísticos. ISBN 978-92-9248-869-7. República Dominicana. Publicado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Enlace: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8653>

Díez, D. (2011). La planificación estratégica en espacios turísticos de interior: Claves para el diseño y formulación de estrategias competitivas. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/18097>

Gambarota, M. (2022). Propuesta de una ruta turística termal en el sudoeste bonaerense (Argentina). Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía, (31), 112. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.31-208>

Instituto Nacional de Estadística (2018). Densidad poblacional según municipio de Apure. Editorial: INE. Venezuela.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2014). Plan de desarrollo turístico del municipio Rómulo Gallego, estado de Apure, Venezuela. Editorial: IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2604>

López-Guzmán, T. y Jesús, M. (2011). Turismo, cultura y gastronomía. Una aproximación a las rutas culinarias. Tourism & Management Studies, 1, 929-922. <https://www.redalyc.org/pdf/3887/388743867083.pdf>

Looren, J. y Vargas, A. (2022). El agroturismo, una alternativa para el desarrollo de comunidades rurales. VII Congreso Internacional Virtual sobre Desarrollo Económico, Social y Empresarial en Iberoamérica, celebrado del 20 al 30 de junio de 2022. <https://www.fundacionmicrofinanzasbbva.org/agroturismo-desarrollo-para-las-zonas-rurales-y-concienciacion-medioambiental/>

Llupart, N., & Rodríguez, M. (2022). La oferta turística: precisiones teóricas para su análisis. Encuentros. Revista de Ciencias Humanas, Teoría Social y Pensamiento Crítico., (16), 406-422. <http://www.encuentros.unermb.web.ve/index.php/encuentros/article/view/335/288>

Monsalve, M., Tovar, A., y Salazar, E. (2023). Revisión Documental sobre el Turismo Sostenible en el Marco de los ODS. *Journal of Tourism & Development* | n.º 40 | 2023 | [137 - 153] . DOI: <http://doi.org/10.34624/rtd.v40i0.31483> e-ISSN 2182-1453

Molina, A. (2013). Las Rutas Turísticas y Su Incidencia En El Turismo Del Cantón Sigchos De La Provincia De Cotopaxi. Ambato: Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6790?mode=full>

Molina, S. (2000). Conceptualización del Turismo. Editorial: Limusa. México. <https://es.scribd.com/document/352917346/Sistema-Turistico-Sergio-Molina#>

Organización Mundial Del Turismo (2020). Desarrollo De Productos Turísticos. Editorial: Unwto. <https://www.unwto.org/es/desarrollo-productos-turisticos>

Paredes, M.; Cáceres, B. & Fernández, A. (2023). Turismo agroecológico como modelo sostenible en las comunidades: Agroecological tourism as a sustainable model in rural communities. *Revista De Investigación Cañetana*, 2(1). <https://doi.org/10.60091/ric.2023.v2n1.03>

Pacheco, K. (2019). Diseño de una Ruta Turística Gastronómica del Cantón Sigchos, Provincia De Cotopaxi Ecuador. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/11090>

Prieto, F. y Triana, F. (2019). Las rutas gastronómicas en el departamento del Meta: una propuesta de sustentabilidad turística. *Turismo y Sociedad*, xxv, pp. 169-194. doi: <https://doi.org/10.18601/01207555.n25.09>

Rodríguez, G. (2019). El Agroturismo, una visión desde el desarrollo sostenible. *Centro Agrícola*, 46(1), 62-65. Recuperado en 18 de septiembre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000100062&lng=es&tlng=es.

Ronquillo, S. (2015). El aporte de la actividad turística y el ingreso de divisas para el Ecuador. *Revista Empresarial, ICE-FEE-UCSG*. Edición No. 35 Vol. 9 – No. 3 - Pág#35-43. ISSN No. 1390 – 3748. Julio - Septiembre, 2015. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6419737.pdf>

Romero, S. (2013). Ecoagroturismo y agroecoturismo, conceptos integradores de la actividad turística del medio rural. *RIDE Revista Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*. Publicación n°10. https://www.researchgate.net/publication/281295956_Ecoagroturismo_y_agroecoturismo_conceptos_integradores_de_la_actividad_turistica_en_el_medio_rural

Uscategui, M. y Yáñez, Y. (2022). Ruta turística agroecológica en la Finca El Coporo en la comunidad La Legua Parroquia San Silvestre, Municipio Barinas Estado Barinas. *Unellez. Venezuela*.

Ulloa, R. (2012). Prioridades de conservación en las sabanas inundables de Los Llanos del Orinoco. Mérida, Venezuela: (Trabajo de Grado de Maestría en Ecología Tropical). Universidad de Los Andes. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/35450>

Varisco, C. (2013). Capítulo 2. Sistema turístico. Subsistemas, dimensiones y conceptos transdisciplinarios. Universidad Nacional de Mar del Plata. <http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2208/1/varisco.2013.pdf>

