



REVISTA SENNOVA

ISSN: 2389-9573 / E-ISSN: 2619-3973

Vol 5 No. 1 (2020)



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación





REVISTA SENNOVA

Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación

ISSN: 2389-9573 / E-ISSN: 2619-3973

Volumen 5

Periodicidad: anual

Enero - Diciembre de 2020

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Calle 57 No. 8 - 69 Bogotá D.C. (Cundinamarca), Colombia

Correo: revistasennova@sena.edu.co

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

Copyright

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

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.



COMITÉ EDITORIAL/CIENTÍFICO

Aylin Viviana Silva Ortiz
Doctora en Ciencias Químicas

Claudia Mercedes Ordóñez Espinosa
Doctora en Ciencias Biología

Julian Alberto Patiño Murillo
Doctor en Ingeniería - Automática

Julián Leal Villamill
Doctor(c) Planificación y manejo ambiental
de cuencas hidrográficas

Stephanía Aragón Rojas
Doctora en Biociencias.

Sugey Martha Issa Fontalvo
Doctora en Gestión de Innovación

Yuli Marcela Ordoñez Castañeda
Doctora en Biotecnología

EQUIPO EDITOR

Carlos Mario Estrada Molina
Director General
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Farid de Jesús Figueroa Torres
Director de Formación Profesional
Servicio Nacional de aprendizaje - SENA

Leidy Jhoanna Sierra Bernal
Coordinadora Nacional SENNOVA
Servicio Nacional de aprendizaje - SENA

Álvaro Fredy Bermúdez Salazar
Subdirector Centro de Comercio y Servicios
Servicio Nacional de aprendizaje - SENA

Yuli Marcela Ordoñez Castañeda
Editora
Servicio Nacional de aprendizaje - SENA

Jaime Andrés Morales Saavedra
Diseño y Gestión Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Omar Arley Arenas Quimbayo
Apoyo a la Gestión Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Adelaida Gnecco Leguizamo
Corrección de Estilo
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA



CONTENIDO

INNOVACIÓN EMPRESARIAL

Aerolíneas de bajo costo en la actividad turística en Cartagena de Indias- Colombia

Budget airlines in the tourist activity in Cartagena de Indias - Colombia.

Daniel Corzo Arévalo11

AGROINDUSTRIA

Características sensoriales de granos y licor de cacao por un panel de jueces en entrenamiento

Sensory profiles of cocoa beans and liquor by a panel of judges in training

José Manuel Vera Romero, Yuli Tatiana Mantilla Pabón 27

Evaluación de la emulsión de una proteína vegetal a base de orellanas (*Pleurotus pulmonarius*) y lenteja (*Lens culinaris*).

Evaluation of the vegetable protein emulsion based on orellanas (*Pleurotus pulmonarius*) and lentil (*Lens culinaris*).

Luis Gilberto López Muñóz, Angie Vanessa Osorio Pedraza, Nicolás David Vargas Trujillo, Valeria Fuentes Valdés, Juan David Pachón Gómez, Yildier Fabián Bejarano Ruiz 43

Dinámica biogeoquímica por microorganismos edáficos en sistemas agroforestales de cacao: revisión de literatura científica

Biogeochemical dynamics by edaphic microorganisms in cocoa agroforestry systems: a scientific literature review..

Sergio Andres Orduz-Tovar, Leidy Machado-Cuellar, Laura Constanza Rojas-Basto, Elian David Amaya-Ucue53

EDUCACIÓN

Análisis y diagnóstico estratégico del Centro de Gestión Tecnológica de Servicios: Un ejercicio de prospectiva tecnológica

Analysis and strategic diagnosis of the Center for Technological Management of Services:
An exercise in technological foresight.

Gustavo Enrique Rincón Guerrero, Michelle Castrillón Córdoba74

MEDIO AMBIENTE

Implementación de un sistema natural para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Estudio de caso para una institución educativa del municipio de Malambo - Colombia.

Implementation of a natural system for wastewater treatment in rural areas. Case study for
an educational institution in the municipality of malambo - colombia.

José José Palacin Salcedo, Jorge Luis Tanus, Iván David López Hoyos.....92

EDITORIAL

De la digitalización a la divulgación de las revistas científicas

En la era digital, la información y los resultados de investigación tienen la ventaja de llegar de forma inmediata, a través de un enlace, a los usuarios finales del conocimiento. Cada vez son más pocos los documentos que se publican únicamente de forma impresa o de forma híbrida (impresa y digital), eso reduce los costos de producción y permite la inversión en otras necesidades del proceso editorial como la divulgación de libros, artículos, cartillas o manuales publicados.

La digitalización de la información trae también algunos retos como el cambio de cultura para la búsqueda en bases de datos y el uso de plataformas como el Open Journal System que facilitan el proceso editorial. Para Sennova, la apropiación del conocimiento es uno de los pasos claves dentro del ecosistema, es por esto que el portal de revistas SENA, donde se publican contenidos en diferentes temas y resultado de procesos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación, es de acceso abierto a toda la comunidad, incluyendo empresas y emprendedores interesados en la actualización de conocimiento en diferentes temas de tendencia mundial.

Es una tarea para los investigadores y aquellos quienes están en el camino de la innovación, asiduos por los nuevos desarrollos generados en los grupos de investigación, estar consultando con frecuencia las bases de datos de preferencia, para alcanzar un nivel de actualización en los temas de interés. Así también para la comunidad SENA, las revistas publicadas por Sennova son una posibilidad de primera mano para acceder a los resultados publicados por los grupos de investigación institucionales y deberán ser por lo tanto punto de consulta y referencia en los nuevos proyectos formulados.

Para los comités editoriales, el compromiso se resume en validar los contenidos a publicar, para que sean pertinentes y que correspondan con las prioridades institucionales y con énfasis en los temas en auge y que marcan el camino de la innovación como las industrias 4.0, la sostenibilidad, la biotecnología, la seguridad alimentaria, la innovación social, entre otras. Corresponde a los editores también velar por la divulgación de los contenidos y promover entre la comunidad el buen uso de la información, referenciar de forma apropiada respetando el derecho de autor y también participando en la indexación de las revistas en los escenarios posibles, dependiendo del enfoque científico o divulgativo.

A futuro se espera que la información publicada en los artículos de las revistas científicas sean parte de procesos de ciencia abierta y de esa manera contribuyan a la generación de innovaciones requeridas por sectores específicos y que avancen en un proceso de transformación de los mercados en el país.

Yuli Marcela Ordoñez Castañeda

Grupo Sennova - Dirección de Formación Profesional



INNOVACIÓN EMPRESARIAL

Aerolíneas de bajo costo en la actividad turística en Cartagena de Indias - Colombia.

Budget airlines in the tourist activity in Cartagena de Indias - Colombia.

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.3208>

Recibido: 07.10.2020 Aceptado: 27.11.2020

Daniel Corzo Arévalo
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
dhcorzo@misena.edu.co
Colombia

Para Citar:

Corzo, D. (2020) Aerolíneas de bajo costo en la actividad turística en Cartagena de Indias- Colombia,
Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 5 (1), 11-25.
doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.3208>

RESUMEN

El modelo de negocio de las aerolíneas de bajo costo ha estado presente alrededor de ocho años en Colombia. La llegada de aerolíneas de bajo costo como Wingo y Viva Air ha causado la masificación del transporte aéreo, incrementando la frecuencia y cantidad de viajes aéreos. En el presente documento se pretende determinar los efectos de las empresas aéreas de bajo costo en la actividad turística, tomando como caso de estudio la ciudad de Cartagena de Indias, que tiene un gran flujo turístico y volumen de vuelos nacionales e internacionales. La investigación se plantea en tres fases: en la primera, se da a conocer los aspectos más relevantes de la ciudad de Cartagena de Indias y el flujo turístico aéreo que tiene. En la segunda, se presenta el modelo de las aerolíneas de bajo costo desde su fundamentación teórica, haciendo un recuento de su incursión en Colombia. Y finalmente, en la tercera fase, se realiza un análisis de la operación aérea de pasajeros antes y después de la entrada de las aerolíneas de bajo costo en el mercado colombiano, determinando su impacto en el crecimiento turístico de Cartagena de Indias.

Palabras clave: aerolíneas, Cartagena, turismo, bajo costo.

ABSTRACT

The low-cost airline business model has been present for around eight years in Colombia. The arrival of low-cost airlines such as Wingo and Viva Air has massified air travel, incrementing the frequency and number of plane trips. The aim of the present document is to determine the effects of low cost airlines in tourist activity, through a case study of the city of Cartagena, which boasts a large tourist flow and air travel volume (both national and international). In the first phase, the most relevant aspects of Cartagena are presented, as well as its tourist air travel flow. In the second phase, the theoretical foundation of the low-cost airline model is introduced, offering a review of its incursion in Colombia. In the third phase, air passenger operations before and after the introduction of low-cost airlines is analysed, in order to determine its impact on tourist activity growth in Cartagena.

Keywords: airlines, Cartagena, tourism, low cost.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la actividad turística, uno de los medios más utilizados es el avión como sistema básico de transporte, ya que permite el desplazamiento del turista y acorta el tiempo de distancias en un territorio determinado. A partir de la entrada de las aerolíneas de bajo costo, las aerolíneas tradicionales se vieron obligadas a replantear sus estrategias para no perder una figuración en el mercado; evidenciando cambios tanto en el sector del transporte aéreo de pasajeros como en el turismo. Estos cambios se deben al gran abaratamiento del precio de los boletos aéreos, ampliación de rutas e incremento de la oferta, cambiando la forma de entender los viajes de los turistas, afectando los patrones de desplazamiento y expectativas de gasto.

En Colombia, este modelo de negocio lleva alrededor de 8 años y ha generado dentro de los usuarios del transporte aéreo una masificación del servicio y ha visto un incremento en los viajes aéreos con la presencia de aerolíneas de bajo costo como Wingo y Viva Air, que en 2017 transportaron 3.5 millones de pasajeros del total de 25.6 millones que se movilizaron en rutas domésticas (La República, 2018), demostrando que el viajar en avión no es privilegio solo de algunos, este servicio está al alcance de una gran mayoría de la población colombiana. En el presente documento se pretende determinar cuales son los efectos de las empresas aéreas de bajo costo en la actividad turística, tomando como caso de estudio la ciudad de Cartagena de Indias, debido a que tiene gran

flujo turístico tanto a nivel nacional como internacional y a nivel de transporte aéreo es una de las rutas que tiene mayor demanda en Colombia.

DESARROLLO TEÓRICO

Tomando en cuenta la fundamentación teórica en relación con el transporte aéreo y el turismo, se puede afirmar que esta modalidad de transporte fue desde sus orígenes, un pilar importante para impulsar el turismo. El desarrollo del transporte aéreo alcanzó su mayor expansión a partir del año 1945, dando origen al turismo de largas distancias y modificando la forma de viajar, al permitir realizar viajes ‘punto a punto’, desde la localidad de origen de la demanda hasta el destino final, eliminando todo tipo de escala (Wallingre, 2018). El desarrollo turístico y del transporte aéreo fueron interdependientes y, en consecuencia, sus evoluciones también, reflejado particularmente en aquellos países interesados en promover la actividad turística, por considerarla importante para el desarrollo socioeconómico de las naciones, adelantando una serie de iniciativas puntuales en cuanto al mejoramiento de las condiciones de prestación de servicios y actividades turísticas, así como en el manejo de los destinos turísticos, lo que permite la definición y el cumplimiento de requisitos que promuevan la calidad y sostenibilidad del turismo en el país (Corzo, 2019).

La demanda de turismo internacional desde el 2016 siguió la tendencia positiva de años previos y numerosos destinos arrojaron

buenos resultados, aunque unos cuantos sufrieron incidentes de seguridad, en el propio país o en su región. Se ha observado algún cambio de dirección en los flujos turísticos, aunque la mayoría de los destinos se ha beneficiado del crecimiento general debido a la mayor demanda de turismo, la mejora de la conectividad, el abaratamiento del transporte aéreo y la simplificación de los trámites para obtención de visados en muchos países (Corzo, 2019a). El crecimiento del turismo depende, en muchos destinos, casi exclusivamente del crecimiento de la oferta aérea. El transporte aéreo representa en promedio el 70 % de las entradas en concepto de transporte turístico y como actividad imprescindible para el desarrollo de las naciones (Wallingre, 2018a), Las características primordiales que permiten que el transporte aéreo sea un aliado en la realización de la actividad turística básicamente se resumen en las siguientes: (1) la modalidad posee la mayor amplitud de ruta, como consecuencia que todo el espacio es áero-navegable; (2) permite y facilita la integración entre continentes, países e islas; (3) es imprescindible para el desarrollo del turismo intercontinental e insular, siendo vital para el desarrollo turístico en general; (4) es el modo que posee el más alto grado de seguridad; (5) es ideal para el transporte de personas, productos perecederos, urgentes y correo; (6) tiene un alto grado de eficiencia en el sistema de reservas y emisión de boletos, y permite la venta de sus vuelos con un importante tiempo de anticipación; (7) ofrece alta velocidad, gran capacidad de transporte, y las tarifas, según el tipo de servicio y de temporada. (Wallingre, 2018).

En la actividad turística, el transporte aéreo forma parte tanto de los servicios elementales, como de los servicios complementarios; ya que existen servicios de transporte que se prestan directamente para satisfacer a la demanda turística y, en este caso puntual, el transporte aéreo suplente esta necesidad y es la alternativa que desplaza la mayor cantidad de pasajeros por turismo en el mundo. En la actualidad el sector de las compañías aéreas se encuentra en un entorno más competitivo, esto se da a partir de la globalización y la descentralización del transporte aéreo lo cual ha concebido nuevos competidores, nuevos productos y servicios. (Parra y Mateus, 2018)

- **Modelo de Negocio “Low Cost”**

El término ‘líneas aéreas de bajo costo’ procede de la traducción inglesa ‘Low Cost Airlines’ y a su vez está interrelacionada con diferentes conceptos, los cuales se encuentran: *Low Fare* (bajo precio), *Low Cost* (bajo costo), y *No Frills* (sin adornos), estas ofrecen precios de vuelos que son más bajos que los de las líneas aéreas tradicionales, brindando tarifas económicas para su mercado objetivo y que, al mismo tiempo, son rentables para la aerolínea, realizando trayectos en los cuales no presentan *frills* (un vuelo casi sin confort para disminuir los costos) (Meissner, 2008).

La aparición del modelo de aerolínea bajo costo cambió totalmente el panorama de la industria aérea comercial. Este tipo de aerolíneas son eficientes y ofrecen cada vez más, normalmente evitan ofrecer conexiones a sus pasajeros, incluso dentro de su propia red de rutas aéreas y donde las

beneficiarias son otras compañías aéreas de bajo costo. El concepto de aerolínea de bajo costo comenzó en los Estados Unidos con la aerolínea *Pacific Southwest*, que inició operaciones el 6 de mayo de 1949; sin embargo, en 1971, Rollin King, el propietario de una pequeña compañía aérea de cabotaje y Herb Kelleher, tuvieron la idea de crear una nueva aerolínea que transportaría pasajeros entre las ciudades texanas de Houston, Dallas y San Antonio a una tarifa de 20 dólares por tramo; de esta manera inicia así: *Southwest Airlines* (Ivani, 2015).

Las características de este modelo de negocio se basan en: (1) no incluir servicios de alimentos a bordo; (2) menor cantidad de tripulantes en cabina; (3) no pre-asignación de asientos; (4) embarque por orden de llegada al aeropuerto; (5) cobro por el despacho de equipaje; (6) no ofrecer los horarios más convenientes para las partidas y arribos; (7) operar con aeropuertos de segundo nivel operativos; (8) utilización de aviones de un mismo modelo; (9) realización de vuelos punto a punto. (Wallingre, 2018b)

TRANSPORTE AÉREO EN COLOMBIA

“El transporte aéreo tiene un factor multiplicador muy grande, no es solamente lo que está generando en el valor de la venta y compra, sino toda la cadena de valor detrás del transporte aéreo, que hace que este sector contribuya mucho al PIB de Colombia”, explicó Santiago Castro, director de la Aeronáutica Civil de Colombia en 2013 (Aviacol, 2014). El sector del transporte

aéreo en Colombia ha alcanzado importantes niveles de desarrollo que brindan confianza en los prestadores de servicios aéreos y a quienes utilizan el avión como medio para movilizarse a sus destinos. Es uno de los servicios más importantes de la economía colombiana por dos razones: la primera se debe a la topografía del país, ya que esta dificulta la operación de otros tipos de transporte y es considerada un instrumento esencial para conectar y llegar a algunas de las regiones más apartadas; la segunda razón es que permite la conexión con la economía mundial como un factor vital para el desarrollo económico nacional (Olivera, Cabrera, Bermúdez, y Hernández, 2011).

Colombia cuenta en estos momentos con una cadena aérea muy bien estructurada que viajan a las principales ciudades del país, según datos de la Aeronáutica Civil de Colombia, en los últimos diez años, el país ha duplicado el número de rutas a destinos internacionales y ha mostrado incremento en el número de pasajeros movilizados; en el caso del movimiento de vuelos nacionales el aumento también ha sido significativo. Este comportamiento se debe al incremento de la clase media en Colombia y del poder adquisitivo de los ciudadanos, que se vio potenciado por la llegada de las aerolíneas de bajo costo, que le están quitando un importante mercado a los viajes terrestres (Portafolio, 2018).

El crecimiento de las aerolíneas de bajo costo en Colombia se está desarrollando bajo la estimulación de los mercados, que en el pasado no se había planteado y que a la fecha presentan excelentes resultados. En el año 2012 se presentaba un fenómeno que no era común dentro del transporte

aéreo colombiano: “Con un modelo de negocio muy conocido en el mundo y que en el país ha venido tomando fuerza”, mencionó la Revista Semana en su artículo ‘La Competencia se puso buena’. “La llegada de la compañía de bajo costo como Viva Colombia (hoy se conoce como Viva Air), movió el mercado aeronáutico. Las grandes aerolíneas ajustan sus estrategias con grandes promociones y nuevas rutas y los usuarios son los beneficiados” (Revista Semana, 2012).

El caso de Viva Colombia (ahora Viva Air) es especialmente ilustre porque también aumentó de forma significativa su oferta de vuelos y se ha mantenido como líder en precio (Parra, 2014). Las condiciones del mercado en Colombia son favorables para el sector de las aerolíneas de bajo costo, con una representación del 16% del mercado aéreo. Este fenómeno se da debido a que el país presenta una economía relativamente sólida y sigue mostrando un buen comportamiento; también se debe, en parte, al fenómeno político, social y de seguridad que vive el país en la actualidad. Un reporte entregado por Euromonitor International para el artículo periodístico del periódico Portafolio en relación a la implementación de este modelo de negocio, asegura que “se espera que Colombia registre el mayor crecimiento dentro del segmento LCC (*Low Cost Carriers*) durante el periodo 2015-2020, con un crecimiento de 28%” (Portafolio, 2017).

• Aerolíneas de bajo costo en Colombia

Dentro de la operación aérea que se lleva a cabo en el país y con el sinnúmero de

aerolíneas tanto tradicionales como de bajo costo a nivel nacional e internacional, en este apartado se hace la sinopsis de las siguientes aerolíneas, las cuales operan en la ciudad objeto de estudio de esta investigación y que son las de mayor presencia en el destino en cuanto a movimiento de pasajeros después de Avianca y Latam (como aerolíneas tradicionales).

Viva Air (antes Viva Colombia): Esta aerolínea nació en el 2007 a partir del resultado de un proyecto de grado de MBA para Stanford University a cargo de William Shaw, quien unió fuerzas con Fred Jacobsen, Gabriel Migowski y Juan Emilio Posada, el 5 de agosto de 2010. La Aerocivil (*Aeronáutica Civil de Colombia, ente gubernamental al servicio del transporte aéreo*) dio la aprobación para empezar a operar bajo este nuevo modelo de negocio y la aerolínea inició operaciones el 25 de mayo de 2012 con tres aviones Airbus A320 en ocho rutas nacionales (Viva Air, 2007). La implementación del modelo de negocio de bajo costo para esta aerolínea se presenta de la siguiente manera: (1) Avión grande de 180–189 sillas. (2) Clase única de pasajeros. (3) Vuelos cortos y frecuentes. (4) Máxima ocupación por vuelo. (5) Ventas directas de tiquetes o con pocos intermediarios. (6) Disminución de los tiempos de embarque y desembarque. (7) Reducción de costos operativos.

Esta aerolínea se caracteriza por la simpleza en el modelo de negocio: las personas pueden comprar un tiquete aéreo a una tarifa que puede rondar los COP \$49.900 (USD\$16 aprox. por trayecto), el pasajero puede elegir si llevará o no

equipaje, si quiere realizar el check in en el aeropuerto o de manera virtual, si desea consumir algo dentro del avión y si quiere llevar equipaje especial. También han implementado una forma de pago de sus tiquetes aéreos a través de las cajas de los supermercados, con esto pretenden llevar el servicio aéreo a clientes potenciales que no se encuentran bancarizados. Su base de operación se encuentra en la ciudad de Medellín en el aeropuerto José María Córdova, cuenta con 8 aviones Airbus A320, 21 rutas nacionales y 4 internacionales con base alterna el Aeropuerto Internacional El Dorado en Bogotá,

Viva Air hace parte de un selecto grupo de exitosas aerolíneas que han optado por esta línea de negocio y al mismo tiempo han transformado los mercados aéreos operaciones. Esta aerolínea ha dinamizado el mercado y ha llevado a hacer mucho más competitivos los precios al pasajero, tanto así que en las rutas en donde ha entrado a participar Viva Air se ha incrementado el tráfico y se han mejorados los niveles de precios para los pasajeros. (Parra y Mateus, 2018).

Wingo: Esta aerolínea fue creada como parte de la compañía Copa Holdings, propietaria de Copa Airlines y Copa Airlines Colombia. Inició operaciones en el mercado aéreo colombiano el primero de diciembre de 2016, y todos sus vuelos se inauguraron de forma simultánea. Entró al mercado de aerolíneas bajo costo con un nuevo modelo de negocio que busca atraer nuevos clientes con servicios a la medida. La aerolínea está a cargo Catalina Bretón, su líder general, y el objetivo de la aerolínea es llegar a

destinos turísticos que actualmente no son prestados por aerolíneas de bajo costo para ofrecer un precio competitivo que permita que más personas puedan viajar.

La implementación del modelo de negocio de bajo costo para esta aerolínea se presenta de la siguiente manera: (1) Optimización de los gastos de operación, administración y distribución para reducir costos de operación. (2) Soporte operacional, todo con el respaldo de Copa Holdings. (3) Las piezas de equipaje permitidas dentro del valor del tiquete aéreo serán una pieza personal de hasta 6 kilos, un equipaje de mano de hasta 10 kilos y los pasajeros tendrán acceso a bebidas de manera gratuita. (4) Precios bajos y amplia red de rutas. (5) Servicio de fila, asiento preferencial, check-in en el aeropuerto y se podrán transportar mascotas en la cabina de pasajeros (Aviacol, 2016).

Esta aerolínea se caracteriza por que su modelo de negocio es "una combinación de cumplimiento, frescura y cercanía para hacer que miles de personas le den rienda suelta a su espíritu viajero y descubran los mejores destinos de la región a precios increíbles". Su base de operaciones es el Aeropuerto Internacional El Dorado. En cuanto a su flota aérea, la aerolínea cuenta con aviones Boeing 737-700 next generation, con capacidad para 142 pasajeros; y maneja 17 rutas: 6 a nivel nacional y 11 a nivel internacional (Parra y Mateus, 2018).

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en tres fases. En la primera fase, a partir de la delimitación

del tema, se dan a conocer los aspectos más relevantes de la ciudad de Cartagena de Indias y el movimiento de pasajeros que tiene esta ciudad via aérea. En la segunda fase se da a conocer la implementación del modelo de aerolínea bajo costo desde su fundamentación teórica y cómo en Colombia ha incursionado este modelo. Finalmente, en la tercera fase, se realiza un análisis de la operación aérea de pasajeros antes y después de la entrada del modelo de negocio de aerolínea de bajo costo al mercado aéreo colombiano, determinando el impacto del crecimiento turístico en la ciudad de Cartagena de Indias.

Una vez desarrolladas estas etapas dentro de este trabajo monográfico, se planean las conclusiones y se vislumbra la importancia de este medio de transporte en la actividad turística del país.

DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La ciudad de Cartagena de Indias es una ciudad ubicada a orillas del mar Caribe y es la capital del departamento de Bolívar, convirtiéndose en uno de los puertos de mayor importancia en Colombia, el Caribe y el mundo, así como célebre destino turístico. La base de la estructura económica y productiva de Cartagena es el turismo, la industria, el comercio y la logística portuaria, aportando el 10% de los empleos en la ciudad.

Esta ciudad cuenta con el Aeropuerto Internacional Rafael Núñez (Código IATA: CTG, código OACI: SKCG), el cual se

encuentra ubicado al interior del casco urbano de la ciudad y está considerado como el 4to aeropuerto en importancia en relación a movimiento de pasajeros, debido a la gran cantidad de movimiento turístico (5 millones de pasajeros por año, realizando 18 operaciones por hora). El Aeropuerto Rafael Núñez, conecta a Cartagena de Indias con 7 destinos nacionales: Bogotá, Cali, Medellín, Bucaramanga, Pereira, Montería y San Andrés; y 8 internacionales: Lima, Ciudad de Panamá, Miami, Fort Lauderdale, Atlanta, New York, Toronto, Montreal y Ámsterdam (Sociedad Aeroportuaria de la costa, 2018) registrando 332 frecuencias semanales según temporada. El mayor número de frecuencias semanales en rutas nacionales se presentan para las temporadas de vacaciones de mitad y final de año.

Actualmente 14 aerolíneas operan en el Aeropuerto Internacional Rafael Núñez, en el siguiente cuadro se muestran las aerolíneas nacionales y sus números de frecuencias semanales en rutas domésticas, por ciudad de origen y aerolínea.

A nivel internacional el Aeropuerto Internacional Rafael Núñez, presenta una conectividad aérea establecida en relación a frecuencias de 1 a 3 en operación regular, para temporadas el número de frecuencias tiende a aumentar. A continuación, se muestran las aerolíneas Internacionales y sus números de frecuencias semanales en rutas internacionales, por ciudad de origen y aerolínea.

Tabla 1.

Conectividad y Tráfico Aéreo, conectividad domestica

Aerolínea	Bogotá	Medellín	Cali	Montería	B/manga	San Andrés	Pereira	Total
Avianca	126	35	14				3	178
LATAM	58	7						65
Viva Colombia	17	18	5		4	6	7	57
ADA				13				13
WINGO	7					5		12
EasyFly					7			7
Total	208	60	19	13	11	11	10	332

Fuente: (SITCAR, 2018)

Tabla 2.

Conectividad y Tráfico Aéreo, conectividad internacional

Ciudad Origen	Ciudad destino	Frecuencia semanal	Aerolínea
Panamá	Cartagena	18	Copa
Panamá	Cartagena	2	Wingo
Panamá	Cartagena	2	Air Panamá
Miami	Cartagena	7	Avianca
Miami	Cartagena	7	American Airlines
Ft. Lauderdale	Cartagena	7	JetBlue
Ft. Lauderdale	Cartagena	4	Spirit
New York	Cartagena	3	JetBlue
Nueva York	Cartagena -Pereira	3	Avianca
Atlanta	Cartagena	3	Delta
Lima	Cartagena	4	Latam
Ámsterdam	Cartagena	3	KLM

Fuente: (SITCAR, 2018)

- Movimiento de pasajeros a la ciudad de Cartagena de Indias**

A continuación, se muestran algunos datos estadísticos, los cuales pueden determinar el efecto del transporte aéreo, en la ciudad de Cartagena de Indias, según los boletines

operacionales que emite la Aerocivil, se toma como referente un solo trayecto ya que en este caso Cartagena es el destino receptor para la actividad turística, el cuadro se hace de manera evolutiva anual (periodo comprendido entre enero y diciembre)

Tabla 3.

Movimiento de pasajeros nacionales por ciudades

RUTA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
BOG-CTG	610.164	737.640	878.791	865.809	993.774	1'078.994	1'134.286
CLO-CTG	59.386	116.	130.130	128.688	149.635	157.552	137.043
ADZ-CTG	29.002	29.729	34.092	34.594	53.157	64.280	104.166
MDE-CTG	94.924	204.622	281.799	265.584	295.590	342.075	365.018
PEI-CTG	24.296	38.247	65.971	52.160	63.725	69.778	86.799
BGA-CTG	23.610	27.756	30.219	29.863	33.511	44.466	29.680

Fuente: El autor

Como se mencionaba anteriormente, en el desarrollo de esta investigación, el modelo de negocio de aerolínea bajo costo incursiona en el mercado colombiano a partir del año 2012, reflejado en el cuadro anterior, se denota un incremento en la operación aérea del destino turístico, teniendo en cuenta que antes de 2012, las únicas aerolíneas que tenían aparición eran AVIANCA y LATAM, con la aparición de Viva Air desde el año 2012, el incremento de pasajeros por año es de aproximadamente de 100.000 y si se realiza una comparación entre 2014 a 2016 (año en el cual aparece la aerolínea Wingo) el incremento se refleja en más de 200.000 pasajeros (en el caso de Bogotá puntualmente).

(Las otras rutas analizadas, a partir de la codificación internacional de la IATA son CLO: Cali, ADZ: San Andres Islas, MDE: Medellín, PEI: Pereira, BGA: Bucaramanga)

Aunque, en la delimitación del problema se menciona que también tiene recepción de la ciudad de Montería, en los boletines operacionales de la Aerocivil no se muestran registros de esta ruta.

En la tabla 4, se muestran datos estadísticos, los cuales pueden determinar el efecto del transporte aéreo, en la ciudad de Cartagena de Indias a nivel internacional, según los boletines operacionales que emite la Aerocivil, se toma como referente las llegadas. Desde los puntos de origen que recibe la ciudad, el cuadro se hace de manera evolutiva anual (periodo comprendido entre enero y diciembre).

En el cuadro anterior, se evidencia que a partir del 2014 se abren nuevas rutas directas a la ciudad de Cartagena para Nueva York y Atlanta, estas rutas las manejan las aerolíneas Spirit Airlines y Jetblue, aerolíneas que, en el mercado norteamericano, son de bajo costo, para el caso particular de Lima de igual manera se evidencia una nueva alternativa en el mercado, ya que es Viva Air la única aerolínea que ofrece esta ruta. En el caso de Panamá, con la incursión de Wingo, el movimiento de pasajeros se incrementa casi en 20.000, hay que recordar que la operación de esta aerolínea comienza en el año 2016, a nivel nacional e internacional. Fort Lauderdale es otro caso de crecimiento notable, ya que nuevamente las aerolíneas

Tabla 4.

Movimiento de pasajeros internacionales por ciudades

RUTA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
MIA-CTG	31.367	33.665	32.643	32.088	32.316	36.153	39.699
FLL-CTG	23.418	27.300	25.958	36.278	62.457	58.368	48.331
NYC-CTG	N/D	N/D	N/D	31.891	37.264	38.278	33.696
ATL-CTG	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	9.950	9.141
LIM-CTG	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	12.716	42.289
MAD-CTG	N/D	N/D	4.990	4.470	4.511	4.868	5.607
PTY-CTG	40.908	47.155	46.742	45.540	46.284	63.751	64.311

Fuente: El autor

Spirit Airlines y Jetblue abren operación directa en el país con esta ruta y se ve reflejado en el aumento de pasajeros del año 2014 a 2015. Ciudades tales como Toronto, Montreal y Ámsterdam, son operadas por aerolíneas tradicionales, de las cuales, los boletines operacionales de la Aerocivil, no muestran registros, en el caso particular de Madrid, hay presencia de operación desde el 2013, pero esta es operada por el modelo de negocio tradicional de la aerolínea Iberia. (A partir de la codificación internacional de la IATA las ciudades que se enlizaron son FLL: Fort Lauderdale, NYC: Nueva York, ATL: Atlanta, LIM: Lima, MAD: Madrid, PTY: Panamá).

Para poder determinar de manera más exacta, los efectos de las empresas aéreas de bajo costo en la actividad turística de Cartagena de Indias era importante conocer el movimiento de pasajeros por empresas, al destino, más sin embargo, este dato no es posible incluirlo en este análisis, debido a que las estadísticas de la Aerocivil, solamente muestran el movimiento de pasajeros, por empresas, pero no discriminan rutas, razón

por la cual, no es pertinente mostrar este cuadro debido a que el movimiento que se muestra en estos boletines es a nivel nacional (diferentes rutas).

- **Efectos de la actividad turística en Cartagena de Indias a partir de la entrada del modelo de aerolínea de bajo costo**

teniendo en cuenta el informe presentado por SITCAR (Sistema de Información Turística de Cartagena de Indias), los efectos de la actividad turística, con base en el transporte aéreo y la incursión del modelo de aerolínea de bajo costo, se pueden determinar de la siguiente manera:

1. Las aerolíneas cuentan con un número de frecuencias semanales autorizadas y pueden aumentarlas o disminuirlas según temporada para ajustarlas a la demanda.
2. Desde el 17 de julio de 2014, Avianca está operando la ruta Pereira-Cartagena con tres rutas semanales como parte de la ruta Pereira-Cartagena-Nueva York.

3. Viva Air aumentó sus frecuencias en la ruta Medellín-Cartagena pasando de 11 en enero a 19 frecuencias semanales reportadas en los primeros días de diciembre de 2016.
4. Viva Air, está operando en la ruta Cartagena-San Andrés, con 6 frecuencias semanales.
5. Desde el 1 de diciembre de 2016, Wingo está operando en las rutas Bogotá-Cartagena y San Andrés- Cartagena con 7 y 5 frecuencias semanales respectivamente.
6. En el 2016 se registró en la ciudad de Cartagena de Indias una gran afluencia de pasajeros nacionales para los meses de enero, julio, agosto y diciembre.
7. En mayo de 2017 la afluencia de pasajeros nacionales estuvo 7.911 visitantes por encima de la reportada en igual mes del 2016 (143.542)
8. Cartagena cuenta con 45 frecuencias internacionales directas lo cual representa el 4,49% del total de frecuencias internacionales semanales el total de frecuencias internacionales directas a Cartagena puede oscilar entre 60 y 65 semanalmente según la temporada de año. Actualmente Cartagena cuenta con 63 frecuencias por semana de conectividad internacional.
9. En 2012, la conectividad internacional hacia Cartagena aumentó con un mayor número de frecuencias desde Panamá (12 a 18 frecuencias) y con la ruta desde Nueva York operada por la aerolínea JetBlue la cual inició operaciones el 3 de noviembre con operación regular de 3 vuelos semanales y puede ascender hasta 5 vuelos por semana.
10. A partir de octubre 29 de 2014, JetBlue comenzó a operar la ruta Ft. Lauderdale-Cartagena con una frecuencia diaria.
11. A partir del 23 de febrero de 2017, la aerolínea Wingo opera la ruta que conectará a Cartagena con Panamá, inicialmente con 2 frecuencias semanales. (Corporación de turismo de Cartagena, 2017).

En cuanto a la actividad turística en la Ciudad de Cartagena de Indias, el informe evidencia que:

- Durante el año 2016, se evidenció un incremento del 22,4% en el total de viajeros extranjeros que reportan a Cartagena de Indias como su principal destino en Colombia, pasando de 299.167 en 2015 a 366.121 viajeros en el mismo periodo de 2016.
- El 85% de los extranjeros que llegan a la ciudad reportan que su principal motivo de viaje es: Vacaciones y ocio, y el 15% restante por motivos profesionales o de negocios, eventos y otros motivos.
- En lo corrido del año 2017 de enero a abril Estados Unidos sigue liderando como mercado emisor con un 21,5% de participación.
- Entre el 2008 y el 2016 la oferta de habitaciones hoteleras en Cartagena de Indias se incrementó un 54% pasando de 8.500 a 13.110 habitaciones (Corporación de turismo de Cartagena, 2017)
- En 2013 Cartagena cerró el año con 1.530.515 llegadas de pasajeros nacionales, esto es un incremento de +17,8% respecto a 2012.

- Para la temporada del mes de diciembre-enero del 2017, se recibieron 330.000 turistas, un 16% más que en el año 2016 el cual fue de 282.000 turistas, los cuales llegaron en 243.500 vuelos nacionales y 34.000 vuelos internacionales
- La ocupación hotelera puede alcanzar un porcentaje del 90% (Reportur, 2016)

CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el tema, en relación a los efectos de las empresas aéreas de bajo costo en la actividad turística en Cartagena de Indias, en Colombia, se puede concluir que: El transporte aéreo es una actividad económica influyente dentro de la actividad económica colombiana, la cual está realizando grandes aportes al producto interno bruto y permite unir regiones, de igual manera las políticas de descentralización y globalización permitieron generar nuevas competencias y nuevos modelos de negocio aplicados al transporte aéreo de pasajeros.

El aumento de la conectividad aérea internacional y el incremento de las frecuencias semanales en vuelos nacionales son factores contundentes que han conllevado al incremento de turismo que reporta a Cartagena de Indias como su principal destino en Colombia. El modelo de negocio de aerolínea de bajo costo en Colombia se está desarrollando bajo la estimulación de los mercados que en el pasado no se había planteado y que a la fecha presentan excelentes resultados esto conlleva a la generación de más ingresos y rentabilidad del negocio.

Se ha logrado captar un número de pasajeros que no era habitual en las aerolíneas tradicionales y, al ver unos precios tan atractivos, se lanzaron a la nueva experiencia del vuelo con las vivencias en cada uno de sus destinos. Este nuevo modelo de negocio ha generando una activación, en gran medida, en el transporte aéreo y el turismo en Colombia. Todo lo mencionado anteriormente obedece a un esfuerzo comercial que vienen realizando las aerolíneas para incrementar sus frecuencias y democratizar el servicio.

REFERENCIAS

- Aviacol. (2014). *Cifras consolidadas del mercado aéreo en Colombia durante el 2013*. Obtenido de <https://www.aviacol.net/noticias/cifras-consolidadas-del-mercado-aereo-en-colombia-durante-2013.html>
- Aviacol. (2016). *Nace Wingo: nueva aerolínea bajo costo en Colombia*. Obtenido de <https://www.aviacol.net/noticias/nace-wingo-nueva-aerolinea-bajo-costo-colombia.html>
- Corporación de turismo de Cartagena. (2017). *Indicadores turísticos informe junio a corte mayo 2017*. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/sistema-de-informacion-turistica-de-cartagena-de-indias-indicadores-turisticos.compressed.pdf>
- Corzo-Arévalo, Daniel H. (2019). *Las normas técnicas sectoriales como*

- estrategia de calidad en el turismo colombiano. Planificación y Gestión de Calidad en Destinos y Empresas Turísticas.* Maestría en Desarrollo y Gestión del Turismo. Universidad Nacional de Quilmes.
- Corzo-Arevalo, D. (2019). Diagnóstico preliminar para la organización del plan de desarrollo turístico del destino Santander, Colombia. *Gestión Turística*, (31), 7-47. Consultado de <http://revistas.uach.cl/index.php/gestur/article/view/6164/7260>
- Ivani, J. (2015). *Compañías aéreas de bajo costo: estudio del modelo y su viabilidad en el mercado argentino.* Obtenido de http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-0319_IvaniJV.pdf
- La República (2018). *El negocio de las aerolíneas low cost cada vez toma más vuelo en América.* Obtenido de <https://bit.ly/2J0FCzi>
- Meissner, M. (2008). *Las líneas aéreas de bajo coste.: Fundamentos teóricos y estudio empírico sobre su impacto en el transporte aéreo y en la estructura del sector turístico en Europa* (Tesis doctoral), Málaga, España. Obtenido de <http://www.biblioteca.uma.es/bbldoc/tesisuma/17678298.pdf>
- Olivera, M., Cabrera, P., Bermudez, W., y Hernandez, A. (2011). *El impacto del transporte aéreo en la economía colombiana y las políticas públicas.* Obtenido de http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/165/CDF_No_34_Abril_2011.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Parra, L. (2014). *Análisis operacional de Viva Colombia en relación con las aerolíneas Avianca y Lan al mercado aéreo nacional.* Obtenido de <https://docplayer.es/12910826-Facultad-de-ciencias-economicas-ensayo-lic-laura-victoria-parra-perilla-codigo-2000224.html>
- Parra, L., y Mateus, R. (2018). Impacto del modelo del negocio de las aerolíneas de bajo costo en Colombia. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*. 13 (2) 776. Obtenido de <https://www.theibfr.com/wp-content/uploads/2018/09/ISSN-1941-9589-V13-N2-2018.pdf>
- Portafolio. (2017). *Aerolíneas de bajo costo tendrán gran crecimiento en el país.* Obtenido de <https://www.portafolio.co/negocios/aerolineas-de-bajo-costo-tendran-gran-crecimiento-en-el-pais-506512>
- Reportur. (2016). *Cartagena prevé en temporada de fin de año un 16% más de turistas.* Obtenido de <https://www.reportur.com/colombia/2016/12/15/cartagena-proyecta-recibir-330-mil-turistas-en-temporada-de-fin-de-ano/>
- Revista Semana. (2012). *La competencia se puso buena.* Obtenido de <http://www.semana.com/economia/articulo/la-competencia-puso-buena/259259-3>
- SITCAR. (2018). *Sistema de Información Turística de Cartagena.* Cartagena de Indias: Corporación de Turismo Cartagena de Indias.

Sociedad Aeroportuaria de la Costa. (2018).

Información y ubicación del aeropuerto Rafael Nuñez CTG. Obtenido de <https://aeropuertocartagena.com.co/informacion-y-ubicacion/>

Wallingre, N. (2013). *Transporte aéreo su relación con el turismo y los servicios.* Buenos Aires, Argentina, Fundación Proturismo, 2da Edición.

Wallingre, N. (2018). *Aspectos generales del transporte turístico.* Obtenido de https://posgrado.uvq.edu.ar/file.php/2714/CLASE_2_SdeTyDT.pdf

Wallingre, N. (2018a). *Transporte aéreo, su relación con el turismo y los servicios.* Obtenido de <https://posgrado.uvq.edu.ar/mod/biblio/view.php?type=biblio&course=2714>

Wallingre, N. (2018b). *Principales características recientes del transporte mundial.* Obtenido de https://posgrado.uvq.edu.ar/file.php/2714/CLASE_3_SdelTyDT.pdf

A close-up photograph of a hand holding several golden wheat stalks. The hand is wearing a purple sleeve with a red and white striped cuff. The background is a warm, orange-hued field of wheat. A digital overlay of white lines and dots, resembling a network or data structure, is visible in the upper right corner.

AGROINDUSTRIA

Características sensoriales de granos y licor de cacao por un panel de jueces en entrenamiento

Sensory profiles of cocoa beans and liquor by a panel of judges in training

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.3232>

Recibido: 6.11.2020 Aceptado: 09.05.2019

José Manuel Vera Romero
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
jmanuelvera@misena.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-3537-0015>
Colombia

Yuli Tatiana Mantilla Pabón
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia

Cómo Citar:

Vera, J., Osorio, A., Mantilla, Y. (2020) Características sensoriales de granos y licor de cacao por un panel de jueces en entrenamiento. *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5 (1), 27-42. doi: <http://doi.org/10.23850/23899573.3232>

RESUMEN

El Centro de Atención al Sector Agropecuario del SENA, regional Santander, cuenta con un laboratorio de análisis sensorial y un panel de jueces en entrenamiento para catación de cacao. La región santandereana es la principal zona productora de cacao de Colombia. Durante el proceso de transformación de cacao se presentan defectos de los granos, siendo estos los causantes de la pérdida de las características de los nibs de cacao para obtener un licor de calidad y, a su vez, lo desvalorizan. Se hace necesario realizar una caracterización sensorial de los licores de cacao que se producen en el SENA sede Aguas Calientes del municipio del Playón, con el objetivo de identificar defectos en el grano de cacao, compartir la información obtenida con los cacaocultores para que mejoren los procesos de beneficio (fermentación y secado) y poder optimizar la calidad de los granos.

El desarrollo del proyecto de investigación se realizó con base en la guía para la ficha de catación de análisis sensorial del cacao propuesta por el Proyecto de Desarrollo de Cooperativas USAID-Equal Exchange-TCHO, Versión 2018 (en adelante USAID, EE y TCHO, 2018), además se tuvieron en cuenta los requisitos establecidos en la norma NTC-1252 de 2012 que deben aplicarse para la clasificación que debe cumplir el cacao en grano (*Theobroma cacao* L.) beneficiado, destinado al procesamiento y comercialización. Obtenida la caracterización del sabor y aroma por parte del panel de jueces en entrenamiento de los licores de cacao de los clones TCS06, FEAR5 y FSV41 seleccionados por su calidad, rendimiento, sabor, aroma fino y una clasificación de acuerdo las características presentadas por cada clon.

Todas las muestras presentaron características físicas similares de humedad y prueba de corte, pero con perfiles sensoriales diferentes frente a la evaluación sensorial.

Palabras claves: *clon de cacao, licor de cacao, panel de jueces, sabor y aroma*

ABSTRACT

The Centro de Atención al Sector Agropecuario of the SENA, regional Santander has a laboratory of sensory analysis and a judges panel in training for tasting of cacao. The region Santanderiana is the most area producer of cacao of Colombia, during the process of transformation of the cacao present different grain defects, these being the causes of the loss of the characteristics of nibs of cacao in order to get a cacao liquor quality and in turn devalues it. It becomes necessary to realize a characterization sensorial of the liquor of cacao which is produce in the SENA campus aguas calientes of the town Playón; with the objective of identify defects in the grain of cacao for share the information obtained with the cocoa growers to improve the process of benefit (fermentation and drying) and be able to optimize the quality of the grains. The development of the project of

investigation was made based on the guide for cocoa sensory analysis tasting sheet proposed by (USAID, EE y TCHO, 2018) and requirements established in the standard NTC-1252 de 2012 which must be applicable for the classification what the cocoa beans must do (*Theobroma cacao* L.) beneficiary, destined to the processing, commercialization, Obtaining the characterization of the taste and smell by judges panel in training of the cocoa liquors of the clones TCS06, FEAR5 y FSV41 selected by their quality, performance, taste, fine smell and a classification according to the characteristics presented by each clone. All samples presented physic characteristics similar to the humidity and cutting test; but with different sensorial profiles versus the sensory evaluation.

Keywords: *cocoa clone, cocoa liqueur, judges panel, flavor and scent.*

INTRODUCCIÓN

Masa, pasta o licor de cacao es el principal producto que se obtiene en el proceso de beneficio del cacao, el cual involucra múltiples etapas: fermentación, secado, horneado y molido para que el chocolate tenga un sabor, color, aroma y textura únicos (Díaz y Hernández, 2020).

Los procesos de fermentación de cacao más utilizados en Colombia son: tradicionales, montones, canastas y fermentaciones en cajas de madera. Una vez fermentado externamente, el grano se somete a un proceso de secado para que la fermentación interna pueda continuar reduciendo el amargor y maximizando el aroma (Melgarejo *et al.*, 2006).

En este trabajo se busca realizar la evaluación sensorial de los licores de cacao producidos por fermentación en cajones y secados al sol en el SENA sede Aguas Calientes del municipio del Playón, regional Santander. El instituto de alimentos de Estados Unidos (IFT) define la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones

a aquellas características de alimentos y otras sustancias que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto, y oído” (Jaeger y MacFie, 2010).

La degustación es un concepto que se deriva del latín *deglutatio* y que está asociado al verbo *degustar*, esta acción se refiere a ingerir algún alimento con la intención de captar su sabor y aroma y disfrutarlo al máximo. Para realizar una degustación es necesario saborear aquello que se consume, para estimular el olfato (olores, aromas) y sabor que están presentes en nuestra memoria sensorial.

El sentido del gusto hace referencia a los sabores en los alimentos. Este atributo se debe a la combinación de tres propiedades: olor, aroma y gusto. Cuando un individuo o catador se encuentra resfriado no puede percibir olores ni sabores, es por esto que cuando se realiza una evaluación sensorial de sabor, no solo debe tenerse en cuenta que la lengua del panelista esté en perfectas condiciones, sino que no tenga problemas con la nariz y garganta (Hernández, 2005).

El sabor es la impresión que causa un alimento u otra sustancia, y está determinado principalmente por sensaciones químicas

detectadas por el gusto (lengua), así como por el olfato (olor). El posgusto se conoce como los sabores residuales en el paladar después de degustar una muestra (USAID, EE y TCHO, 2018).

Los sabores básicos se clasifican como: dulce, salado, ácido y amargo. (Hernández, 2005). Además de los cuatro sabores básicos, existen otros que podemos percibir en las muestras de licor de cacao: ácido, frutal, acético, láctico y butírico. Amargo: positivo, negativo; y la astringencia. Los sabores y aromas que podemos percibir en referencias básicas y específicas de licor de cacao son: ácido, amargo, astringencia, floral, frutal, nuez, especias y defectos.

Según Hernández (2005), el aroma es una percepción sensorial basada en los sentidos del órgano olfativo. La acidez es la propiedad organoléptica de sustancias puras o de mezclas cuya degustación produce un sabor ácido. Ácido es el sabor elemental provocado por soluciones acuosas diluidas de sustancias ácidas tales como el ácido cítrico o el ácido tartárico. El amargor es la propiedad organoléptica de los compuestos puros o de mezclas cuya degustación provoca el sabor amargo. Amargo es el sabor elemental provocado por las soluciones acuosas diluidas de diversas sustancias, tales como la quinina o la cafeína (Moya y Angulo, 2001).

En las muestras de licor de cacao se pueden identificar algunos defectos que el catador debe percibir, por lo que las muestras son evaluadas con un bajo puntaje. Los defectos se definen por la presencia de sabores defectuosos no característicos del cacao, asociado generalmente a un

deterioro o transformación de un producto (Moya y Angulo, 2001).

El catador debe nombrar el defecto específico. Los defectos más comunes son: **moho**: guardado, húmedo, sótano. **Tierra**: lodo, tierra mojada, polvo, arcilla. **Crudo**: verde, vegetal, corteza, césped. **Contaminantes**: plástico, químicos, humo, metal combustible. **Descomposición**: jamón, carne seca, rancio, podrido, compost (USAID, EE y TCHO, 2018).

Estos defectos se pueden presentar por granos insuficientemente fermentados, grano pizarroso (grano de cacao sin fermentar, el cual presenta un color interior gris negruzco y estructura totalmente compacta), pasilla, grano infestado, grano dañado por insectos, impurezas o materias extrañas, grano germinado, grano múltiple, y grano ahumado (Norma Técnica Colombiana para Cacao en Grano 1252, 2012).

En el lenguaje del catador, es importante tener en cuenta que el licor de cacao se evalúa en términos de intensidad y calidad. La intensidad se califica de 0 a 5; donde 0= ausente, sin presencia de este atributo; 1=apenas detectable, débil en su presencia; 2=presente, se percibe claramente; 3= caracteriza la muestra, una característica resaltante; 4= dominante, produce dificultad en percibir otras características de la muestra; 5= extremo, la presentación de este atributo es la más intensa posible para cacao en la memoria sensorial del catador. Mientras que la calidad de 0 a 10; donde 0 a 2= pésimo, de 2-4= malo, de 4-6= regular, de 6-8= bueno y de 8-10= excelente (USAID, EE y TCHO, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de cacao fueron recolectadas en la sede Aguas Calientes del SENA en el municipio del Playón regional Santander, Colombia, donde las condiciones climáticas son las siguientes: altitud 469 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 31°C. Las pruebas fisicoquímicas y sensoriales se realizaron en la sede de Guatiguará, en el Laboratorio de análisis sensorial del SENA Piedecuesta regional Santander, Colombia. Se tomaron muestras de 1 kg de los clones TCS06, FEAR5 y FSV41 en una cosecha principal durante los meses de octubre y noviembre, fermentadas y secas con un contenido de humedad de 7.5% aproximadamente y fueron analizadas por triplicado. La metodología planteada está soportada en la NTC 1252 del 2012 y en el manual de análisis de cacao de (Stevenson, Corven y Villanueva, 1993). Cacao en grano: peso del grano fermentado y seco: Índice de grano (peso promedio de grano en gramos, tomado de una muestra de 100 granos de cacao seco), porcentaje de almendra y cascarilla. Los análisis sensoriales se realizaron siguiendo la metodología descrita en la ficha para análisis sensorial propuesta por (USAID, EE y TCHO, 2018) y los requisitos establecidos en la NTC 1252 del 2012 aplicados para cacao en grano, que establece los requisitos que debe cumplir el cacao en grano beneficiado, destinado al procesamiento y comercialización que deben aplicarse para su clasificación. Los datos obtenidos: índice de grano, porcentaje de almendra-cascarilla, porcentaje de humedad y la evaluación sensorial, fueron procesados empleando la herramienta Microsoft Excel (2007).

• Determinación de humedad

Empleando un detector de humedad (Coffee Moisture Tester) Agratonix serial 37665, se tomó una muestra de representativa al azar (50-60 gr) de granos de cacao a una temperatura de 20 – 25°C, tomando la lectura en el panel digital. La prueba se realiza por triplicado de cada uno de los clones analizados y se tomó el promedio de los resultados obtenidos.

• Prueba de corte

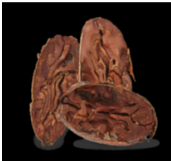
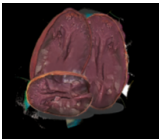
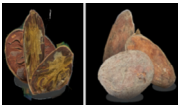
Se determinó empleando una guillotina de corte transversal, utilizando 100 granos enteros de la muestra; esto nos permitió evaluar el aroma y apariencia de los granos enteros e identificar posibles defectos como: granos mohosos, granos pizarrosos, granos dañados por insectos, granos germinados, granos insuficientemente fermentados, y los granos bien fermentados.

PREPARACIÓN DE LICOR DE CACAO

• Tostado

Se tomaron un máximo de 500 gramos de cada muestra con un porcentaje de humedad del 7,5% aproximadamente para hacer el tostado en un horno tostador Cocotown Rotiserie Showtime, en el Laboratorio de Análisis Sensorial de acuerdo con el protocolo definido con el equipo. Se precalentó el horno a 115 grados centígrados durante 10 minutos y, al ingresar la muestra, la temperatura descendió hasta los 95°C. Cinco minutos después de ingresar, la muestra alcanzó 105°C y se mantuvo constante durante 15 minutos mientras se

Tabla 1.
Clasificación y características del grano.

Clasificación	Característica	Imagen ilustrativa
Bien fermentado	Coloración marrón o marrón oscuro. Apariencia hinchada, no compacto. Estrías profundas, grietas o cavidades. Testa o cascarilla suelta.	
Fuente: Compañía Nacional de Chocolates		
Granos insuficientemente fermentados	Insuficiente tiempo de fermentación. Almendra de color o marrón violeta. Genera sabores amargos y astringentes.	
Fuente: Compañía Nacional de Chocolates		
Mohoso	Moho visible a simple vista (diversos colores). Sabor indeseable. Causa: germinación, daño mecánico o por insectos, almacenado con alta humedad y secado deficiente.	
Fuente: Compañía Nacional de Chocolates		
Pizarrosos	Ningún efecto de fermentación. Color pizarra (gris). Compacto, sin agrietamiento. Defecto serio.	
Fuente: Compañía Nacional de Chocolates		
Daño por insecto y roedores	Perforaciones o picados por insectos o roedores	
Fuente: Compañía Nacional de Chocolates		

Fuente: (Aguilar 2016)

dio la crepitación de los granos para saber que estaban listos.

• Quebrado y descascarillado

Después, se dejaron enfriar los granos de cacao durante 10 minutos; luego se empleó un molino facturador de rodillos de la marca Cocotown para quebrar los granos

tostados, se molieron los granos, luego se realizó el descascarillado (empleando un descascarillador Marca CocoaTown serial NEWI-TS-OB) separando los nibs y pesando nuevamente y se procedió a realizar el proceso de refinado para obtener el licor.

• **Transformación en licor**

Se prepararon las muestras de licor de cacao en el molino refinador de piedras Cocotown ECGC12SLTA (refinando por 2 horas aproximadamente, hasta verificación de partícula con el uso de un micrómetro marca Mitutoyo 0.001 mm). Se rotularon las muestras y se almacenaron a temperatura de congelación a -18°C con el fin de conservar la inocuidad y calidad de los licores obtenidos.

EVALUACIÓN SENSORIAL

Se realizó basada en la metodología de la guía de catación de cacao propuesta por en el Proyecto de Desarrollo de Cooperativas USAID-Equal Exchange-TCHO (2018). Los licores se fundieron a 40°C en baño maría empleando un equipo MEMBERT. Se rotularon vasos plásticos de 0.5 onzas con códigos aleatorios y se sirvieron las muestras, cada vez que se citaba el panel al laboratorio; de acuerdo a las recomendaciones establecidas en la Guía Técnica Colombiana GTC 178 parte 2, se ubicaron en cada una de las cabinas un vaso de agua, servilleta, galleta de soda, lapicero y formato guía para evaluación sensorial y el vaso con la muestra. Cada catador tomaba una cantidad pequeña de licor de cacao en el extremo de una paleta plástica colocándola sobre su lengua por un espacio de 5 a 10 segundos.

Los resultados: aroma, acidez, amargor, astringencia, defectos, sabor y posgusto fueron registrados en el formato. Los catadores esperaron de 2 a 3 minutos después

de enjuagar la boca para que se perdieran los sabores remanentes de la muestra anterior tomando agua. Se realizó una sesión por día a las 10:00 a.m., evaluando en cada sesión un máximo de 5 muestras de licor de cacao

Los pasos para analizar el sabor, aroma, acidez, amargor, astringencia y defectos se realizaron según lo indicado en USAID, EE y TCHO (2018) (Figura 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados incluyen la caracterización fisicoquímica y sensorial de tres muestras (TCS06, FEAR5 y FSV41) de licor de cacao producidas en el laboratorio de análisis sensorial del Centro de Atención al Sector Agropecuario del SENA regional Santander.

• **Contenido de humedad**

En la tabla 2 se observan los resultados promedio de tres muestras sobre el contenido de humedad para TCS06, FEAR5 y FSV41.

Tabla 2.

Contenido de humedad de las tres muestras.

Porcentaje de humedad		
Muestras	Número de muestras	Promedio% humedad
TCS06	3	7.2
FEAR5	3	7.4
FSV41	3	7.5

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de las muestras analizadas están en un promedio de 7,36% de humedad, ubicadas por encima de lo requerido en la NTC 1252 de 2002, que



MUESTRA

CATADOR

FECHA

CATEGORIAS		INTENSIDAD	DESCRIPTORES	CALIDAD (0-10)	PUNTAJE
Aroma		0 1 2 3 4 5			x 1 =
Acidez		0 1 2 3 4 5			x 1 =
Amargor	INTENSIDAD 0 a 2.5: ≥ 5 en calidad 2.5 a 5: ≤ 5 en calidad	0 1 2 3 4 5			x 1 =
Astringencia		0 1 2 3 4 5			x 1 =
Defectos		0 1 2 3 4 5			x 2 =
Sabor	Cocoa/Cacao	0 1 2 3 4 5			x 2 =
	Dulce	0 1 2 3 4 5			
	Nuez	0 1 2 3 4 5			
	Frutas secas	0 1 2 3 4 5			
	Frutas frescas	0 1 2 3 4 5			
	Floral	0 1 2 3 4 5			
	Espicias	0 1 2 3 4 5			
	Otros				
Pos gusto		0 1 2 3 4 5			x 1 =
COMENTARIOS:			PUNTOS DE CATADOR		x 1 =
PUNTAJE FINAL					

ESCALA DE INTENSIDAD

0

1

2

3

4

5

AusenteApenas detectablePresenteCaracteriza la muestraDominanteExtremo

ESCALA DE CALIDAD

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

PésimoMaloRegularBuenoExcelente

TIPS PARA EVALUAR CALIDAD EN DEFECTOS

Nombrar el defecto:

Una reducción de puntos en calidad debe ser justificado en Descriptores.

Relación inversa:

Entre más intenso el sabor defectuoso, se reduce el puntaje en calidad.

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual: No se permite un uso comercial de la obra ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Proyecto de Desarrollo de Cooperativas USAID-Equal Exchange-TCHO, Versión 2017.

Figura 1 Ficha de catación.
Fuente: USAID, EE y TCHO, 2018

Tabla 3.

Resultados obtenidos en la prueba de corte.

Muestra	Insuficientemente fermentado.	No Fermentado	Mohoso	Pasilla	Grano bien fermentado.	Total
TCS06	12	3	0	0	35	50
TCS06	10	5	0	0	35	50
FEAR5	9	3	0	0	26	50
FEAR5	11	1	0	0	38	50
FSV41	13	5	0	0	32	50
FSV41	8	1	0	0	41	50

Fuente: Elaboración propia

establece un porcentaje de humedad del grano del 7% m/m máximo, lo que evidencia que las muestras de grano de cacao estuvieron por fuera más de lo recomendado para un proceso de secado adecuado en cuanto a tiempos y temperatura para que sea considerado un buen grano y de calidad.

Un grano húmedo, con más de 8% de humedad, lo infestan los microorganismos como los hongos que deterioran la calidad. Pero si tiene menos del 6% de humedad también se deteriora al volverse quebradizo (Aguilar, 2016).

En la tabla 3 se observa el índice de fermentación de cada muestra; donde para la muestra TCS06 se encontró que el 70 % estaban bien fermentados; para la muestra FEAR5 el 64 % estaban bien fermentados; y para la FSV41 el 73 % de los granos estaban bien fermentados, lo que quiere decir que las muestras analizadas cumplen con los requisitos de porcentaje de fermentación que se establecen en la NTC 1252 para calificar el grano como bien fermentado, cuyos

parámetros son que, por cada 100 granos, se permiten de 2 a 3 granos mohosos; para la pasilla de 1 a 2, granos insuficientemente fermentados de 25 a 35; y para granos bien fermentados, 65 de 100 granos mínimo.

La prueba permite determinar el grado de fermentación y orienta sobre determinados defectos que causan sabores negativos intrínsecos en la almendra de cacao (Aguilar, 2016).

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL

Tabla 4.

Conformación integrantes de panel sensorial que degustaron las muestras.

Catador	Rol
1	Productora cacao
2	Personal administrativo SENA
3	Trabajador independiente
4	Instructor SENA C.A.S.A.

Fuente: Elaboración propia

En la GTC 178-2 se establecen los criterios para realizar la calibración del panel, ejercicio que consiste en realizar sesiones de orientación sobre una base rutinaria a fin de calibrar los evaluadores seleccionados antes de cada prueba. Los jueces en entrenamiento que se mencionan en la tabla 4 hacen parte del panel de evaluación sensorial de licor de cacao del Centro de Atención al Sector Agropecuario, y se muestran los resultados de los jueces, quienes degustaron las muestras correspondientes a los clones TCS06, FEAR5 y FSV41.

• Perfil sensorial de la muestra tcs06



Figura 2 Perfil sensorial de la muestra TCS06 catador 1

Fuente: Elaboración propia

La figura 2 muestra el perfil sensorial de la muestra TCS06 reportado por el catador 1, donde se observa acidez, amargor y astringencia altos, y un sabor y aroma intenso a cacao. Reporta también alta calidad e intensidad en el puntaje del catador y no reporta ningún defecto, indicando un adecuado proceso de fermentación y secado. En este sentido, evaluaciones de esta naturaleza confirman que el aroma del cacao y su sabor están relacionados con un adecuado proceso de beneficio (Portillo *et al.*, 2006).



Figura 3 Perfil sensorial de la muestra TCS06 catador 2

Fuente: Elaboración propia

Los resultados reportados por el catador 2 para la muestra TCS06 coinciden con el catador 1 en cuanto al perfil sensorial en términos de sabor, aroma y puntaje de calidad, cero defectos y una astringencia pronunciada. Datos que coinciden con los reportados por Solórzano y cols. (2015), quienes definen que la identidad sensorial puede convertirse en un factor clave de agregación de valor para cualquier origen local de cacao.

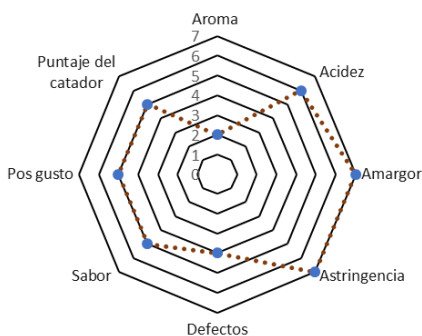


Figura 4 Perfil sensorial de la muestra TCS06 catador 3

Fuente: Elaboración propia

La figura 4 permite observar los datos reportados por el catador 3 para la muestra TCS06: alta acidez, amargor y astringencia, presencia de defectos, bajo aroma y sabor a cacao, calificación baja en el puntaje de catador comparado con lo reportado por los catadores anteriores. La acidez fuerte puede deberse a malas prácticas en postcosecha; sin embargo, la presencia de sabor ácido está relacionada al componente de secado (métodos artificiales) (Cedeño, 2010).



Figura 5 Perfil sensorial de la muestra TCS06 catador 4

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 observamos la calificación de la muestra TCS06 por parte del catador 4, quien califica con un puntaje alto los puntos de catador, sabor, aroma y astringencia altos; mientras que, para la acidez, amargor, defectos y posgusto, con un puntaje bajo. Las muestras mejor fermentadas desarrollan no solo una expresión más intensa del sabor a cacao sino también notas sensoriales aromáticas típicas de los cacaos finos o de aroma (USAID-Equal Exchange-TCHO. 2018).

• Perfil sensorial de la muestra fear5

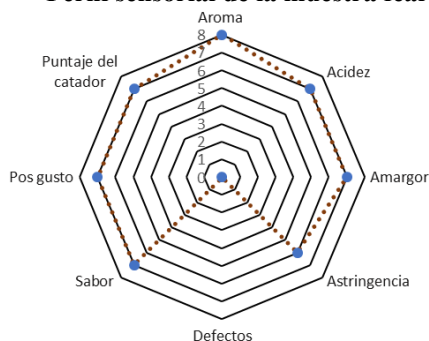


Figura 6 Perfil sensorial de la muestra FEAR5 catador 1

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 observamos el perfil sensorial de la muestra FEAR5, que se caracteriza por su elevado aroma y sabor a cacao, con notas ácidas, amargas y notable astringencia. Cero defectos y alta calidad e intensidad reportados por el catador 1 para esta muestra. Resultados similares a la muestra anterior, que indican procesos de fermentación y secados óptimos. Resultados que coinciden con los reportados por Zambrano y cols (2010), donde destaca el sabor a cacao, lo que indica que la muestra es sometida a un proceso adecuado de postcosecha.

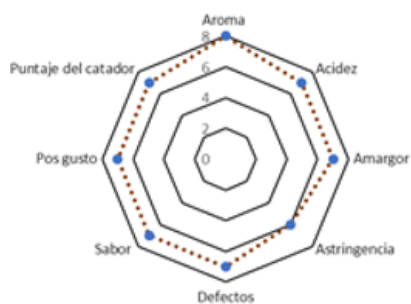


Figura 7 Perfil sensorial de la muestra FEAR5 catador 2

Fuente: Elaboración propia

La figura 7 muestra el perfil sensorial de la muestra FEAR5 por el catador 2. A diferencia del catador 1, reporta defectos en la muestra. Sin embargo, los valores de aroma y sabor a cacao son altos. Igual, tiene un buen puntaje en términos de calidad por parte del catador. Esto puede deberse a una desconcentración durante la cata o a un mal registro en el formato. Sabores como acidez y astringencia pueden influir en la precisión con que se identifica la intensidad sensorial de ambos, con frecuencia su descripción es más compleja (Luna *et al.*, 2002). Sin embargo, los atributos de sabor y aroma coinciden con un adecuado proceso de fermentación y secado.

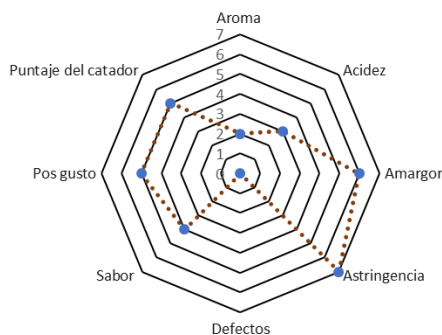


Figura 8 Perfil sensorial de la muestra FEAR5 catador 3

Fuente: Elaboración propia

El perfil sensorial de la muestra FEAR5 realizado por el catador 3 se muestra en la figura 8 y se observa baja calidad de aroma, acidez y defectos. Presencia de sabor a cacao, acidez y astringencia en la muestra, lo cual permite inferir un adecuado proceso de fermentación; sin embargo, el atributo de aroma no lo reportó con una valoración alta de intensidad, sino solo apenas detectable. Estudios realizados por Araujo y cols (2010) atribuyen que esta característica especial podría estar contenida en

la grasa del cacao, donde se encuentran ácidos grasos, principalmente oleico y esteárico; esto también podría estar relacionado a la expresión de aromas agradables (Bruni *et al.*, 2002), quienes concuerdan con Perea y cols (2011) quienes obtuvieron 52% a 54% de grasa en el cacao CCN-51, grasa neutra no aterogénico y ácido linoleico. Esta variabilidad es notoria cuando la industria usa cacao proveniente de Brasil, Ghana, Costa de Marfil, Indonesia y Ecuador (Spangenberg y Dionisi, 2001), cuyos contenidos de grasa y la composición en ácidos grasos de la manteca de cacao sí varía con el genotipo, además de la influencia climática y la época de cosecha. Esta variabilidad puede explicar por qué es heterogénea la calidad del licor y su aroma. A menudo, los fabricantes mezclan diversos tipos de granos para lograr la calidad, el aroma y el sabor requerido.

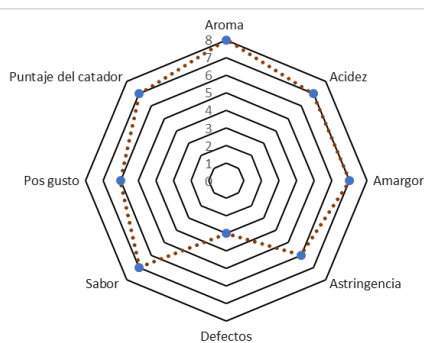


Figura 9 Perfil sensorial de la muestra FEAR5 catador 4

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del perfil sensorial de la muestra FEAR5 por el catador 4 se observan en la figura 9. Se caracteriza por su sabor, aroma a cacao, acidez, amargor y astringencia, atributos presentes en el licor

de cacao, y poca presencia de defectos. Según USAID-Equal Exchange-TCHO (2018), las almendras bien fermentadas son precursoras de los aromas y sabores agradables en granos de cacao.

- **Perfil sensorial de la muestra FSV41**



Figura 10 Perfil sensorial de la muestra FSV41 catador 1

Fuente: Elaboración propia

El perfil sensorial de la muestra FSV41 lo podemos observar en la figura 10. El catador 1 reporta alta intensidad en aroma y sabor amargo, presencia de defectos, baja astringencia y bajo sabor a cacao, presencia de defectos y un bajo puntaje en términos de calidad. Estos defectos pueden estar asociados a sabor crudo-verde, lo que demuestra que la fermentación juega un papel fundamental en el desarrollo del sabor y aroma del cacao (de Brito *et al.*, 2001).

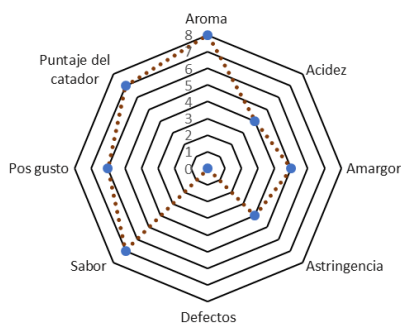


Figura 11 Perfil sensorial de la muestra FSV41 catador 2

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se observa el perfil sensorial reportado por el catador 2 para la muestra FSV41. No muestra defectos y en cambio presenta un puntaje elevado en los tributos de aroma, sabor y posgusto, datos que difieren con lo reportado por el catador 1 para la misma muestra. Esto pudo presentarse debido a las diferencias sensoriales que están condicionadas por la interacción por genotipo y ambiente. Las condiciones de fermentación y secado son parte de ese ambiente (Ho, Zhao y Fleet, 2014).

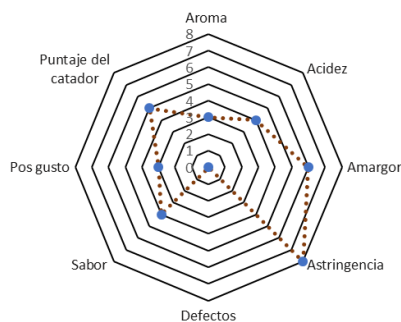


Figura 12 Perfil sensorial de la muestra FSV41 catador 3

Fuente: Elaboración propia

El perfil sensorial de la muestra FSV41 presentado por el catador 3 se observa en la figura 12. El puntaje en astringencia, amargor y acidez fue el más elevado; mientras que el sabor y aroma a cacao lo calificó con bajo puntaje y cero presencias en defectos. Según Figueira y Alemanno (2009), las relaciones negativas del sabor a cacao con el amargor, acidez y astringencia son consecuencia de la mala calidad de la fermentación que estimula la expresión de estos últimos, atenuando la expresión del sabor a cacao y de otros aromas de interés en mayor o menor medida.



Figura 13 Perfil sensorial de la muestra FSV41 catador 4

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la muestra FSV41 por parte del catador 4 se observan en la figura 13. Se caracteriza por sabor, aroma a cacao, y obtiene un puntaje alto por parte del catador; acidez amargor y astringencia presentes en la muestra y baja presencia de algún tipo de defecto. Según Solorzano y cols (2015), las mediciones y descripción de los marcadores sensoriales se expresan con distintas intensidades en los cacaos finos de aroma, lo que dificulta la diferenciación por

atributos particulares de sabor, así como en la diferenciación de orígenes comerciales.

CONCLUSIONES

Las muestras presentaron características físicas similares en humedad y prueba de corte, asociados a procesos adecuados de fermentación y secado.

Todas las muestras de cacao respondieron con perfiles sensoriales diferentes frente a la evaluación sensorial. Las muestras correspondientes a los clones TCS06 y FEAR5 presentaron expresiones más intensas, no solo para el sabor a cacao sino también a las notas sensoriales asociadas a los cacaos finos de aroma particularmente floral y frutal, y se encontraron presencia de notas sensoriales de amargor, acidez y astringencia propios del cacao.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan agradecimientos al Centro de Atención al Sector Agropecuario por facilitar el uso de las instalaciones del laboratorio de análisis sensorial y las muestras de la sede de aguas calientes del municipio del Playón. A Ana Sofía Vera Duarte por su apoyo en la traducción del texto. A los instructores, personal administrativo y de apoyo de la sede Piedecuesta, que conforman el panel de jueces en entrenamiento.

REFERENCIAS

- Aguilar, H. (2016). Manual Para La Evaluación de La Calidad Del Grano de Cacao. Recuperado de: https://www.academia.edu/33550326/Manual_para_la_Evaluaci%C3%B3n_de_la_Calidad_del_Grano_de_Cacao
- Araujo, F., Nitzke, J., Blauth, C., , Vogt, E. (2010). Chocolate and Red Wine - A Comparison between Flavonoids Content. *Food Chemistry* 120(1):109–12. doi: [10.1016/j.foodchem.2009.09.078](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.078).
- Bruni, R., Medici, A., Guerrini, A., Scalia, S., Poli, F., Romagnoli, C., Muzzoli, M., Sacchetti, G. (2002). Tocopherol, Fatty Acids and Sterol Distributions in Wild Ecuadorian *Theobroma subincanum* (Sterculiaceae) Seeds. *Food Chemistry* 77(3):337–41. doi: [10.1016/S0308-8146\(01\)00357-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00357-0).
- Cedeño, P. (2010). Determinación de perfiles organolépticos en ocho grupos de cacao mediante degustación de licor de cacao y chocolate oscuros elaborados artesanalmente. (Tesis de Ingeniería). Escuela superior agronómica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Calceta, Ecuador.
- de Brito, E.S., García, N.H.P., Gallão, M., Cortelazzo, A.L., Fevereiro, P.S. and Braga, M.R. (2001), Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao* L) during fermentation, drying and roasting. *J. Sci. Food Agric.*, 81: 281-288. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(20010115\)81:2<281::AID-JS-FA808>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1097-0010(20010115)81:2<281::AID-JS-FA808>3.0.CO;2-B)
- Díaz, Raquel O., y Hernández, MS.. (2020). Theobromas de la Amazonia Colombiana: una alternativa saludable. *Información tecnológica*, 31(2), 3-10. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000200003>
- Figueira, A y Alemanno, L. 2009. “Theobroma Cacao Cacao.” *Biotechnology of Fruit and Nut Crops* 7(2):639–69. doi: [10.1079/9780851996622.0639](https://doi.org/10.1079/9780851996622.0639).
- Hernandez, E. 2005. *SENSORIAL*. Universidad. edited by C. N. de medios de Aprendizaje. Bogota: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado de : <https://www.coursehero.com/file/45917368/Hernandez-2005-evaluacion-sensorialpdf/>
- Ho, V. T., Zhao, J., y Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International journal of food microbiology*, 174, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- Jaeger, S.R., y MacFie, M. (2010) Consumer-Driven Innovation in Food and Personal Care Products. In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-567-5.50028-9>.
- Luna, F, Crouzillat, D., Cirou, L., Bucheli, P. (2002). Chemical Composition and Flavor of Ecuadorian Cocoa Liquor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(12):3527–32. doi: [10.1021/jf0116597](https://doi.org/10.1021/jf0116597).
- Melgarejo, LM., Hernandez, M.S., Barrera, J.A., Carrillo, M. (2006). *Oferta y Poten-*

- cialidades de un banco de germoplasma del género Theobroma en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la Región Amazónica*. Recuperado de: <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/theobroma.pdf>
- Moya, F.C y Angulo, Y.B. (2001). *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. Springer. Barcelona. España.
- Perea, J.A., Ramirez, O.L., Villamizar, A.R. (2011). Caracterización Físicoquímica de Materiales Regionales de Cacao Colombiano. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* 9(1):35–42.
- Portillo, E, Graziani de Fariñas, L, y Cros, E. (2006). Efecto de algunos factores post-cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(1), 51-59. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100005&lng=es&tlng=es
- Solórzano, E., Amores, F., Jiménez, J., Nicklin, C., Barzola, S. (2015). Comparación Sensorial Del Cacao Theobroma. *Ciencia y Tecnología* 8(1):37–47.
- Spangenberg, J.E., Dionisi, F. (2001). “Characterization of Cocoa Butter and Cocoa Butter Equivalents by Bulk and Molecular Carbon Isotope Analyses: Implications for Vegetable Fat Quantification in Chocolate.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(9):4271–77. doi: [10.1021/jf001509g](https://doi.org/10.1021/jf001509g).
- Stevenson, C., Corven. J., Villanueva, G. 1993. *Manual para análisis de cacao en el laboratorio*. IICA PROCA. Coronado Costa Rica: Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. Recuperado de: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8995>
- USAID, EE Y TCHO (2018). Proyecto de Desarrollo de Cooperativas US-AID-Equal Exchange-TCHO. Recuperado de: https://equalexchange.coop/sites/default/files/Tasting-Guide_vF-JU-NIO2018-ESP.pdf
- Zambrano, A., Romero, C., Gómez, Á., Ramos, G., Lacruz, C., Brunetto, M., Máximo, G., Gutiérrez, L., y Delgado, Y. (2010). Evaluación química de precursores de aroma y sabor del cacao criollo merideño durante la fermentación en dos condiciones edafoclimáticas. *Agronomía Tropical*, 60(2), 211-219. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2010000200010&lng=es&tlng=es

Evaluación de la emulsión en una proteína vegetal a base de orellanas (*Pleurotus pulmonarius*) y lenteja (*Lens culinaris*).

Evaluation of emulsion in a vegetable protein based on orellanas (*Pleurotus pulmonarius*) and lentils (*Lens culinaris*).

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.2644>

Recibido: 6.11.2020 Aceptado: 09.05.2019

Luis Gilberto López Muñoz
Universidad de los Llanos
llopezm@unillanos.edu.co
Colombia

Angie Vanessa Osorio Pedraza
Universidad de los Llanos
angie.osorio.pedraza@unillanos.edu.co
Colombia

Nicolás David Vargas Trujillo
Universidad de los Llanos
nicolas.vargas@unillanos.edu.co
Colombia

Valeria Fuentes Valdés
Universidad de los Llanos
valeria.fuentes@unillanos.edu.co
Colombia

Juan David Pachón Gómez
Universidad de los Llanos
juan.pachon.gomez@unillanos.edu.co
Colombia

Yildier Fabián Bejarano Ruíz
Universidad de los Llanos
yildier.bejarano@unillanos.edu.co
Colombia

Cómo Citar:

López, L., Osorio, A., Vargas, N., Fuentes, V., Pachón, J., Bejarano, Y. (2020) Evaluación de la emulsión en una proteína vegetal a base de orellanas (*Pleurotus pulmonarius*) Y lenteja (*Lens culinaris*). Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 5 (1), 43-52. doi: <http://doi.org/10.23850/23899573.2644>

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objeto analizar la estabilidad (pH, dureza, rendimiento de cocción, reducción de diámetro) de una emulsión de proteína vegetal a base de orellana (*Pleurotus pulmonarius*) y lenteja (*Lens culinaris*), buscando aprovechar el 40 % del contenido proteico (base seca) presente en la seta comestible y el 23,8 % que aporta la leguminosa.

Para el desarrollo del estudio, en primera medida, se procedió a realizar pruebas preliminares de la formulación para establecer los dos tratamientos de la proteína vegetal en presentación de hamburguesa; posteriormente, fueron sometidos a pruebas de laboratorio como, dureza, pH, rendimiento de cocción y reducción de diámetro. En esta investigación se muestra la comparación de las variables que determinan la estabilidad dentro de la emulsión entre dos tratamientos con diferente formulación. Los resultados obtenidos corresponden a un diseño experimental completamente aleatorizado elaborado en el programa estadístico Minitab 18, con un nivel de confianza de 95%. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en las medias de pH y dureza, siendo el tratamiento 1 el que presenta la mayor dureza (1,36 N). El pH se encuentra en un rango neutro (6,5-6,7 pH) para ambos casos. Por otro lado, las pruebas de cocción y diámetro no presentaron diferencias entre sus medias; el rendimiento de cocción fue superior a 81% para los dos tratamientos y una reducción de diámetro entre 4-5 % para ambos casos. En conclusión, con el tratamiento 1 se obtiene una proteína vegetal con mayor consistencia, pH neutro, un rendimiento de cocción de 88,4 % y una reducción de diámetro del 5.1 %.

Palabras claves: estabilidad, lenteja, seta comestible, proteína.

ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze the stability (pH, hardness, cooking performance, diameter reduction) of an emulsion of vegetable protein based on Orellana (*Pleurotus pulmonarius*) and lentil (*Lens culinaris*) seeking to take advantage of 40% of the protein content (dry base) present in the edible mushroom and 23,8 % provided by the legume. The purpose of this research was to analyze the stability (pH, hardness, cooking performance, diameter reduction) of an emulsion of vegetable protein based on Orellana and lentil seeking to take advantage of 40% of the protein content (dry base) present in the edible mushroom and 23,8 % provided by the legume. The results showed significant differences in the mean pH and hardness, with treatment 1 showing the highest hardness (1.36 N), the pH is in a neutral range (6.5-6.7 pH) for both cases, on the other hand, the cooking and diameter tests showed no differences between their

means; the cooking yield was greater than 81% for the 2 treatments and a diameter reduction between 4-5% for both cases. In conclusion, with treatment 1, a vegetable protein with greater consistency, neutral pH, a cooking yield of 88.4% and a diameter reduction of 5.1% is obtained.

Keywords: *stability, lentil, edible mushroom, protein.*

INTRODUCCIÓN

La seta (*Pleurotus pulmonarius*), comúnmente conocida como orellana, presenta un porcentaje de proteína de alrededor del 40% en seco además contiene ácido linoleico, fibra y vitaminas como niacina y riboflavina. De igual modo, contiene todos los aminoácidos esenciales (Romero, 2000). La lenteja (*Lens culinaris*) es una leguminosa que aporta 23% en proteína vegetal, siendo la segunda después de la soya. En cuanto a micronutrientes, posee calcio, hierro, magnesio, zinc, sodio, potasio, fósforo, selenio, vitaminas B1, B2, B6, C, A, folato, niacina y compuestos fenólicos (Moreiras, 2009). Respecto a lo anterior, estos ingredientes que hacen parte de la alimentación, no solo satisfacen la necesidad del alimento, sino también la del apetito, además de ser un determinante de la nutrición.

En la actualidad se ha estado desarrollando la idea de una buena alimentación que aporte todos los nutrientes esenciales y brinde la energía necesaria a cada persona para mantenerse sana. Para ello se han venido presentando nuevas tendencias de mercado que promueven disminuir el consumo de proteína animal, dando paso a la comida vegana, que tiene como principio la abstinencia de productos derivados de animales.

La proteína vegetal consiste en el aglutinamiento de diferentes componentes, por lo cual se conoce como una emulsión de líquidos inmiscibles. Se pueden distinguir varias clases: aceite en agua (O / W), agua en aceite (W / O) y aceite en aceite (O / O) (Tadros, 2016). Los componentes de una emulsión sufren afectaciones por diversos factores, como las emulsiones estabilizadas por proteínas, que se ven afectadas tanto por las propias características moleculares de la proteína como por factores intrínsecos, siendo estos el pH, la fuerza iónica, la temperatura, azúcares, el volumen de la fase oleosa, el tipo de proteína, el punto de fusión del aceite empleado, así como los factores extrínsecos, ya sea el tipo de equipo utilizado para formar la emulsión, velocidad de incorporación del aceite y el nivel de agitación (Badui, 2006). Es así como la estabilidad física de una emulsión está condicionada por el resultado de un balance complejo de fuerzas de atracción y repulsión entre las gotas de fase dispersa, condicionado por las variables fisicoquímicas del medio continuo (Muñoz, Alfaro y Zapata, 2007).

Este trabajo evaluó la estabilidad de una emulsión por medio de la formulación de una proteína vegetal a base de orellana y lenteja, determinando las variables que afectan la matriz del alimento, como son:

la firmeza del embutido, análisis de pH, pruebas de cocción referentes a la reducción de diámetro y rendimiento de cocción, que se relacionan con un producto de buena calidad y aceptación en el mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

• Selección de materia prima

Las orellanas utilizadas para la presente investigación (Figura 1) fueron cosechadas en la Universidad de los Llanos, ubicada en el km 12 vía Puerto López de la vereda Barcelona, ciudad de Villavicencio, departamento del Meta. Las orellanas frescas de cada tratamiento fueron lavadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0,02 %, secadas mediante extrusión y acondicionadas retirando el tallo; posteriormente, fueron trituradas en un procesador de alimentos hasta que su textura formara una masa homogénea. La cantidad de setas que se utilizó en el tratamiento 1 fue de 297,66 g y en el tratamiento 2 fue de 201g.



Ilustración 2. Orellanas utilizadas como materia prima para la preparación de la emulsión.

Fuente: elaboración propia.

• Preparación de la proteína vegetal

Se optó por la elaboración de una proteína vegetal para ser usada en la hamburguesa tradicional, utilizando como ingredientes principales la lenteja y orellana. Los análisis bromatológicos de estos productos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Aporte nutricional de lenteja cruda.

Componente	Cantidad por 100 g
Energía	326 Kcal
Proteínas	24 g
Grasa	1,3 g
Hidratos de carbono	57,4 g

Fuente: Food and Agriculture Organization of the United Nations, s.f.

Tabla 2.

Aporte nutricional de la orellana

Sustancia	%
Agua	92,2
Materia seca	7,8
Ceniza	9,5
Grasa	1
Proteína bruta	39
Fibra	7,5
Fibra cruda	1,4
Nitrógeno total	2,4
Calcio	33mg/100g
Fosforo	1,34mg/100g
Potasio	3793mg/100g
Hierro	15,20mg/100g
Ácido ascórbico	90-144mg/100g
Tiamina	1,16-4,8mg/100g
Niacina	46-108,7mg/100g
Ácido fólico	65mg/100g

Fuente: Hernández y López, 2008.

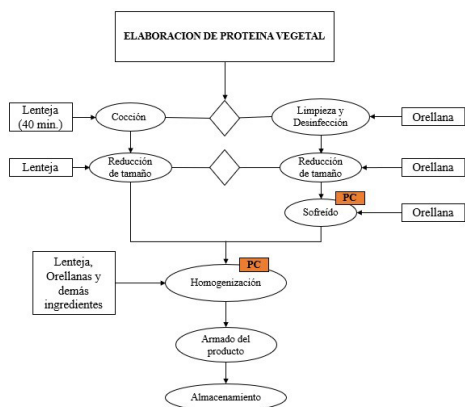


Ilustración 3. Diagrama de proceso para la elaboración de la proteína vegetal (tratamiento 1 y 2).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.
Formulación tratamiento 1.

Ingrediente	Composición (%)
Lenteja	54,57
Orellana	36,42
Fécula de papa	6,37
Polifosfato	0,45
Ácido Ascórbico	0,04
Sorbato de potasio	0,04
Condimento	0,73
Cilantro	0,46
Aceite	0,91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.
Formulación tratamiento 2.

Ingrediente	Composición (%)
Lenteja	51,78
Orellana	34,52
Fécula de papa	6,04
Polifosfato	0,43
Ácido Ascórbico	0,04

Ingrediente	Composición (%)
Sorbato de potasio	0,04
Condimento	0,69
Cilantro	0,43
Aceite	0,86
Linaza	5,15

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 3. Aspecto de la proteína vegetal elaborada. En la parte superior se observa el tratamiento 1 y en la parte inferior el tratamiento 2.

Fuente: elaboración propia.

• **Análisis de laboratorio**

Se aplicaron pruebas de cocción y fisicoquímicas en el laboratorio polifuncional de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad de los Llanos, sede Barcelona de la ciudad de Villavicencio, Meta.



Ilustración 2. Pruebas de dureza, pH y cocción.

Fuente: elaboración propia.

• **Diseño y análisis estadístico**

Se utilizó un diseño experimental cuantitativo completamente aleatorizado de 2x3, ya que este es un diseño sin condiciones de aleatoriedad, lo que quiere decir que los tratamientos se asignan a las unidades experimentales sin formar subgrupos (Díaz, 2009), y además los diseños completamente aleatorizados pueden comparar cualquier número de tratamientos, de acuerdo con distintas formulaciones para cada tratamiento, por lo que hubo variables dependientes e independientes, siendo los tratamiento 1-2 y las pruebas estudiadas respectivamente a lo largo del proceso para el resultado de la investigación.

Las pruebas de laboratorio aplicadas fueron: rendimiento de cocción, reducción de diámetro, pruebas de dureza y pH. Para las pruebas de cocción (rendimiento y reducción de tamaño) se tomaron los valores de diámetro y masa inicial para cada una de las muestras, luego se sometieron a cocción; al finalizar la cocción se volvieron a registrar los valores de diámetro y masa finales. Posteriormente, para las pruebas de dureza (penetrometría) y pH, seleccionado como un monitoreo electro analítico para caracterizar el sistema químico que se da en la emulsión (Baeza, 2005), se tomó cada muestra para ser dispuesta a una leve punción con la punta cónica del penetrómetro hasta la marca y a una leve punción por el electrodo hasta que se estabilizara en un valor, respectivamente. Como primera instancia, se realizó la prueba de normalidad para saber si los datos se encontraban en distribución normal, lo que significa que los datos presentan poca dispersión entre ellos; seguidamente, se

realizó la prueba de igualdad de varianzas para poder realizar el Análisis de varianza (ANOVA) la cual examina la diferencia de las tendencias centrales de más de dos grupos cuando la variable dependiente se mide en una escala ordinal (Malhotra, 2007; Spieguel, Schiller y Srinivasan, 2007). Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico Minitab 2018, con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizando los datos obtenidos de la tabla 5, se evidencia una diferencia significativa entre las medias de la dureza de los dos tratamientos, con una media de 1.3667 N para el tratamiento 1. Visualmente tiene un aspecto compacto y sin exudados; el tratamiento 2, con una media de 0,2667 N, muestra una superficie árida, textura muy blanda, arenosa y con presencia de exudados.

Tabla 5.

Resultados del análisis de varianza para la dureza.

Factor	Lote 1	Lote 2
Media	1.366	0.266
Desviación estándar agrupada	0.135	
IC de 95%	(1.149, 1.583)	(0.049, 0.483)
Valor F	99.00	
Valor p	0.001	

Fuente: elaboración propia.

La diferencia en la textura y apariencia del tratamiento 2 se puede explicar de acuerdo al contenido de grasa presente en dicha formulación (figura 3), donde se adicionaron 30 g de linaza y 5 g de aceite de oliva. La linaza contiene un 37,4% de grasa (Jimenez, Masson y Quitral, 2013) (Jiménez, Masson, & Quitral, 2013) por lo tanto representa, junto con el aceite de oliva, 16,22 g de grasa en la mezcla, en comparación con el tratamiento 1, donde se obtuvo solo 7,44 g. De acuerdo con Rey y Gualdrón (2011), a medida que se modifique la fase oleosa de una emulsión cambiará la textura, como se puede evidenciar en este caso, donde a mayor concentración de grasa en la mezcla, menor dureza/textura en la emulsión.

Tabla 6.
Resultados del análisis de varianza para pH.

Factor	Lote 1	Lote 2
Media	6.573	6.736
Desviación estándar agrupada	0.022	
IC de 95%	(6.538, 6.608)	(6.701, 6.771)
Valor F	82.79	
Valor p	0.001	

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del parámetro pH (Tabla 6) muestran diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2 con medias de 6.57 y 6.73, respectivamente; sin embargo, ambos tratamientos hacen parte del grupo de alimentos ácidos cercanos a neutro (Vásquez & Rojas, 2016), los cuales al tener una emulsión O/W, y según lo reportado por Mejía, Luna y Vargas (2018), el rango de pH

indicado para mantener estable el sistema debe ser alcalino (8-14). En este estudio, la mezcla contenía 4000 ppm de polifosfato con el propósito de estabilizar, secuestrar sabor y aumentar el pH de la emulsión; a pesar de eso, la proteína vegetal mantuvo un pH menor a 7 (ácido-neutro). Con el fin de mejorar el pH se podría adicionar NaCl en la etapa de homogenización y de esta manera reducir los polifosfatos a 2200 ppm como máximo, de acuerdo al Codex Alimentarius (1995), potenciar el sabor y otorgar alcalinidad a la emulsión.

Tabla 7.
Resultados del análisis de varianza para rendimiento de cocción.

Factor	Lote 1	Lote 2
Media	88.44*	81.00*
Desviación estándar agrupada	5.626	
IC de 95%	(79.42, 97.46)	(71.98, 90.02)
Valor F	2.62	
Valor p	0.181	

*Resultados expresados en %
Fuente: elaboración propia.

Respecto al porcentaje de rendimiento de cocción (Tabla 7), no se encuentra diferencia significativa entre las medias, teniendo valores de 88.44 y 81.00 % para el tratamiento 1 y 2 respectivamente. Lo que se evalúa en esta prueba es la capacidad de retención de agua (CRA) al sometimiento al calor. Este factor físico es el responsable de la rotura de la membrana celular y del cambio en la estructura de las proteínas (desnaturalización).

Por otra parte, Serna, Pabón, y Quintana (2019) enuncian que la capacidad de retención de agua de las legumbres secas se debe a propiedades tecnofuncionales y están estrechamente relacionadas al contenido proteico, es decir, a la interacción agua-proteína. Por lo tanto, la alteración de este sistema dará paso a la migración de agua al exterior de la emulsión.

Cabe resaltar que en este caso se tenían dos fuentes de proteína (lenteja y orellana), lo que favoreció a la emulsión para obtener un buen rendimiento de cocción mayor al 80% para los dos casos.

Un estudio realizado por Piñero y colaboradores (2006) presentó un 71% de rendimiento de cocción para una carne de hamburguesa baja en grasa con la adición de β -glucano. En este caso, la presencia de grasa fue menor al 2% en los tratamientos, por lo que se puede concluir que la alta presencia de proteína y baja de grasa favorece a un buen rendimiento de cocción.

Tabla 8.

Resultados del análisis de varianza para rendimiento de cocción.

Factor	Lote 1	Lote 2
Media	5.18*	4.146*
Desviación estándar agrupada	1.26860	
IC de 95%	(3.15, 7.22)	(2.113, 6.180)
Valor F	1.00	
Valor p	0.374	

*Resultados expresados en %
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para la prueba de reducción de diámetro, no hubo diferencias significativas entre las medias, siendo los valores de 5.18 y 4.156 % para los tratamientos 1 y 2 respectivamente (Tabla 8). De este análisis lo que se midió fue el encogimiento de la proteína al sometimiento al calor; en este caso la fécula de papa es un ingrediente utilizado en la industria alimenticia como aglutinante, espesante y estabilizante natural (Delité), lo cual le confirió dichas propiedades a los tratamientos realizados, permitiendo la cohesión adecuada de los ingredientes y aditivos, lo que atribuyó una mayor resistencia al encogimiento de la emulsión, obteniendo valores similares a los reportados García y cols (2009) que oscilan entre 2.18- 5.89% en una carne de hamburguesa de cachama blanca con adición de harina de soya texturizada. Finalmente, se infiere que el almidón permitió una baja reducción de diámetro, lo cual es favorable. Cabe resaltar que para otras carnes de hamburguesa se han notificado valores superiores al 20% en reducción de diámetro (Piñero *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos para esta evaluación basada en el parámetro de dureza, se concluye que la formulación más adecuada es la del tratamiento 1, al contar con buena textura y ser compacta. Esto debido a que la composición en fase oleosa no modifica las condiciones interfaciales de la emulsión. Por otra parte, para el parámetro de pH, los valores obtenidos ácidos

cercanos al neutro indicó que es necesario el uso de NaCl dentro de las formulaciones para poder aumentar estos valores hasta el neutro o alcalino, puesto que van a favorecer para mantener la emulsión como un sistema estable.

Finalmente, para las pruebas de rendimiento de cocción y reducción de diámetro, no se obtuvieron diferencias significativas en sus medias, lo que indica que los tratamientos contaron con una buena retención de agua al estar sometida al calor, lo que no permitió la rotura ni desnaturalización de la proteína. Tampoco se presentó encogimiento de la proteína al contar con un porcentaje de grasa bajo, menor del 2%, que, en conjunto con los aditivos agregados, permitió una baja reducción en el diámetro.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de los Llanos por permitirnos formar como profesionales, por brindarnos los espacios para el desarrollo de esta investigación e inculcarnos el compromiso social. También agradecemos a los docentes Luis Gilberto López Muñoz y Jaime Ricardo Laguna Chacón por su acompañamiento y orientación, al laboratorio polifuncional de ingeniería agroindustrial por los servicios brindados y a los profesionales que trabajan en él.

REFERENCIAS

- Badui, S. (2006). *Química de Alimentos*. México: Pearson Education.
- Baeza, A. (2005). Química Analítica instrumental. Nota de clase1: Introduccion a la electroquímica analítica. Facultad de Química UNAM.
- CODEX ALIMENTARIUS . (1995). *CODEX STAN 192-1995-Norma general para los aditivos alimentarios*.
- Díaz, D. (2009). Conceptos Básicos de diseño experimental: Departamento de Estadística. *Universidas Nacional* , 12.
- García, O., Acevedo, I., Mora, J., Sánchez, A., & Rodríguez, H. (2009). Evaluación física y proximal de la carne para hamburguesas elaborada a partir de pulpa de cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) con harina de soya texturizada. *Revista UDO Agrícola*
- Jiménez, P., Masson, L., & Quital, V. (2013). Composición química de las semillas de Chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista Chilena de Nutrición* , 155-160.
- Malhotra, N. (2007). *Investigacion de mercados*. México: Pearson Education
- Mejia, D., Luna, J., & Vargas, J. (2018). Efecto del pH del agua y el tamaño del agregado del asfalteno en la estabilidad de emulsiones W/O y la eficiencia de nanopartículas de sílice para inhibirlas. *Universidad Nacional* , 14.
- Moreiras O., Varela-Moreiras G. (2009). La alimentación española: Características

- nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta. Fundación Española de la Nutrición (FEN) y Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; Madrid. España. Primera edición.
- Muñoz, J., Alfaro, M., & Zapata, I. (2007). Avances en la formulacion de emulsiones. *Departamento de Ingeniería Química, Sevilla* , 64.
- Piñero, M., Ferrer, M., Arena, L., Huerta, N., Parra, K., & Barbosa, J. (2006). Evaluación de las propiedades físicas de carne para hamburguesas de res “bajas en grasa” elaboradas con beta glucano. *Revista Científica*, vol. XIV, núm. 6, diciembre, 2004, p. 1-11. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=959/95914603>
- Rey, J., & Gualdron, L. (2011). Evaluación de la Sustitución de Grasa Animal por Grasa Vegetal Insaturada en la Elaboración de un Embutido de Carne de Búfalo (*Bubalus bubalis*). *Información Tecnológica* .
- Romero, J., Rodriguez, M., Pérez, R. (2000). *Pleurotus ostreatus*. Importancia y tecnología del cultivo. Grupo de Nutrición, Departamento de Física-Química, Facultad de Mecánica Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Cuatro caminos. Ciudad de Cienfuegos. Cuba. 2000, 16.
- Serna-Cock, Liliana, Pabón-Rodríguez, Omar V., & Quintana-Moreno, Jesús D.. (2019). Efectos de la Fuerza Iónica y el Tiempo de Remojo de Legumbres Secas sobre sus Propiedades Tecnofuncionales. *Información tecnológica*, 30(2), 201-210. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200201>
- Spiegel, M., Schiller, J., & Srinivasan, R. (2007). *Análisis de la varianza; Probabilidad y Estadística[Schaum's Outline of Theory and Problems of Probability and Statistics]*. México: McGrawHill.
- Tadros, T. F. (2016). Emulsions. Berlin, Boston: De Gruyter. doi: <https://doi.org/10.1515/9783110452242>
- Vásquez, E., & Rojas, T. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas*. México: Universidad Autonoma Metropolitana.

Dinámica biogeoquímica por microorganismos edáficos en sistemas agroforestales de cacao: revisión de literatura científica.

Biogeochemical dynamics by edaphic microorganisms in cocoa agroforestry systems: a scientific literature review.

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.2496>

Recibido: 8.11.2019 Aceptado: 16.12.2020

Sergio Andres Orduz-Tovar
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
saorduz6@misena.edu.co
Colombia

Leidy Machado-Cuellar
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
leidymachadocuellar@gmail.com
Colombia

Laura Constanza Rojas-Basto
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
larojasb@sena.edu.co
Colombia

Elian David Amaya-Ucue
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
eliandabid1@gmail.com
Colombia

Cómo Citar:

Orduz-Tovar, S. A., Machado-Cuellar, L., Rojas-Basto, L. C., & Amaya-Ucue, E. D. (2020) Dinámica biogeoquímica por microorganismos edáficos en sistemas agroforestales de cacao: revisión de literatura científica. *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5 (1), 53-72. doi: <http://doi.org/10.23850/23899573.2496>

RESUMEN

Los sistemas agroforestales son estrategias donde se realizan cultivos mixtos de especies vegetales para favorecer una producción agrícola, para optimizar la producción de cacao. La acción de microorganismos edáficos en estos sistemas no se tiene del todo descrita, por tanto, en el presente documento se consolida información acerca de la acción de los microorganismos en ciclos biogeoquímicos sobre cultivos agroforestales para favorecer la producción de cacao. Para esto, se realizó una revisión bibliográfica de los temas relacionados usando bases de datos académicas e identificando que desde 2001 se ha abordado la producción de cacao con sistemas agroforestales, así como también se ha determinado que la diversidad de bacterias edáficas es importante en tanto que participa en la transformación y biodisponibilidad de elementos como nitrógeno, fósforo y carbono; además, en el biocontrol de metales pesados que pueden afectar el grano. En la revisión bibliográfica se identificaron más de diez géneros de microorganismos con alguna acción potencial sobre la biogeoquímica de los suelos. La implementación de consorcios microbianos se convierte en una de las estrategias para fortalecer la producción de cacao sin el uso de agroquímicos.

Palabras clave: *nutrición vegetal, Theobroma cacao, microorganismos edáficos*

ABSTRACT

The agroforestry arrangements represent strategies for mixed species cultivation and favoring a particular agricultural crop, this activity is to optimize cocoa production. The action of edaphic microorganisms in these systems has not been fully described, therefore, this document consolidates information about the role of microorganisms in biogeochemical cycles on agroforestry systems to promote cocoa crop. For this, a bibliographic review of the related topics was carried out using academic databases and identifying that since 2001 cocoa production has been approached with agroforestry systems, as well as determining that the diversity of edaphic bacteria is important insofar as it participates in the transformation and bioavailability of elements like nitrogen, phosphorus and carbon. Besides, in the biocontrol of heavy metals that can affect the grain. In the bibliographic review, more than ten genera of microorganisms with some potential action on the biogeochemistry of soils were identified. The implementation of microbial consortia comes to be one of the strategies to strengthen cocoa production without the use of agrochemicals.

Keywords: *plant nutrition, Theobroma cacao, edaphic microorganisms*

INTRODUCCIÓN

La economía de muchos países se basa en la actividad agrícola que allí se desarrolla, Colombia es precisamente uno de estos y dicha actividad representó en 2017 el 6.3% del Producto Interno Bruto (BANRED, 2017). Dentro de los cultivos con mayor potencial en el país está el cacao con un incremento anual cercano al 10% en la última década, con un registro de producción cercana a 101 toneladas durante el 2018, 10% mayor que en 2017 (Agronet, 2018); sin embargo, a pasar de ser un cultivo prometedor con características únicas como atributos sensoriales (sabor, aroma, componentes nutricionales) y rendimiento por hectárea sembraba, no ha tenido un incremento sustancial en su productividad, pasando de 0.51 ton/ha a 0.53 ton/ha entre 2017 y 2018 respectivamente (Agronet, 2018).

Colombia se caracteriza por poseer cultivos transitorios de ciclo corto y otros cuya producción del fruto puede darse luego de largos periodos del cultivo vegetal como el caso del cacao, por lo cual ante periodos prolongados de cultivo, sus propiedades finales deben ser especiales desde puntos de vista fisiológico, bromatológico y sensorial. El caso del cacao presenta atributos sensoriales de sabores básicos como (astringencia, amargor, acidez y dulce) y sabores específicos como (cacao frutal, floral y nuez), además de componentes nutricionales como antioxidantes, fibra, proteína, y otros compuestos como teobromina, cafeína y compuestos volátiles, los cuales pueden

generar aromas únicos al grano de cacao, las concentraciones de estos elementos dependen principalmente de la variedad, manejo de cultivo y poscosecha (Oracz *et al.*, 2015; Barrientos *et al.*, 2019)

Varias de las estrategias implementadas para fortalecer la producción agrícola son los sistemas agroforestales, donde la principal especie productiva es quien domina el cultivo y se acompaña con especies transitorias. Estos sistemas agroforestales se caracterizan por poseer al menos dos especies que interactúan biológicamente, de las cuales una especie vegetal es leñosa perenne y la otra especie manejada se caracteriza para fines agrícolas, incluyendo pastos (Detlefsen y Somarriba, 2012).

Uno de los principales factores que influyen en la dinámica bioquímica de suelos y que por tanto repercute en la producción de los cultivos son los microorganismos que habitan e interactúan en dicha matriz (Jones *et al.*, 2014). Si bien la interacción ambiental de las bacterias y hongos es diversa especialmente por su ubicuidad y participación en componentes ecosistémicos, la caracterización específica relacionada a cultivos es poco estudiada (DeLong & Pace, 2001).

Se han establecido variables de estudio para análisis de cambios estructurales de los servicios ecosistémicos con base en indicadores funcionales (Wood *et al.*, 2015) e incluso se ha evidenciado que solo el 1% microorganismos puede tener funciones activas en suelos (Blagodatskaya & Kuzyakov, 2013). Sin embargo, la relación y participación de microorganismos edáficos

en suelos de cultivos como cacao no ha sido consolidada, pero si se ha registrado la participación de estos microorganismos en cultivos especialmente de índole fitosanitaria como estrategias de biocontrol (Sanchez, Ousset, & Sosa, 2019), Sumado a lo anterior, los microorganismos tienen un papel fundamental en el ciclo de nutrientes al causar la mineralización, otras transformaciones de la materia orgánica y ciclaje de otros materiales (Oergensen & Emmerling, 2006).

En el caso de los sistemas agroforestales no son la excepción, si bien se conoce la dinámica entre plantas usadas en los sistemas que pueden favorecer el control de virus fitopatógenos, estabilidad de suelos y homogenización biótica para estabilidad de cultivo y almacenamiento de carbono (Marconi & Armengot, 2020; Nijmeijer *et al.*, 2019; Somarriba *et al.*, 2013); no se tiene consolidada la actividad y acción que los microorganismos puedan ejercer sobre la calidad final de la producción de estos sistemas diversificados; Alfaro-Flores y col, (2015) mencionan que dado a los pocos estudios sobre el tema, es importante investigar acerca de la interacción suelo-planta, con el fin de validar el efecto de la agroforestería en el desarrollo de la biomasa microbiana (Marconi & Armengot, 2020; Nijmeijer *et al.*, 2019; Somarriba *et al.*, 2013).

Esta revisión se enfoca en identificar los microorganismos edáficos potenciales y su efecto directo o indirecto que puede fortalecer la producción de cacao cultivado con estrategias agroforestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

• Revisión bibliométrica

La información recolectada para esta revisión se basó en búsqueda bibliográfica académica especializadas, tipo artículos científicos, usando las bases de datos Science Direct (<https://www.sciencedirect.com>), Web Of Science (<http://www.webofknowledge.com/>) y SCOPUS (<https://www.scopus.com>) con periodo temporal desde 2008 a 2020; sin embargo, según citaciones bibliográficas de los autores consultados se consideraron documentos de referencia con fechas anteriores a estas fechas de acuerdo a la importancia del artículo.

Como estructura de búsqueda se utilizaron los términos AGROFORESTRY, BACTERIA, COCOA TREE, adicionando operadores booleanos AND y OR para completar ecuaciones bibliométricas relacionadas con el conjunto de temas principales que se relacionan y se reportan los elementos de exclusión (Tabla 1).

Tabla 1.

Bases de datos y ecuaciones bibliométricas relacionadas con la búsqueda de información

Ecuación de búsqueda	Base de datos	Resultados de búsqueda	Espacio temporal
(TITLE-ABS-KEY (agricultural AND systems) AND TITLE-ABS-KEY (cocoa) AND TITLE-ABS-KEY (colombia)) AND DOCTYPE (ar) AND ACESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2013	SCOPUS	3	2015-2019
(TITLE-ABS-KEY (agroforestry) AND TITLE-ABS-KEY (microbiology))	SCOPUS	43	2005-2019
(TITLE-ABS-KEY (agroforestry) AND TITLE-ABS-KEY (microbiology))	SCOPUS	43	2005-2019
TITLE-ABS-KEY (agroforestry AND "soil microbiology")	SCOPUS	17	2005-2018
(TITLE-ABS-KEY (biodiversity) AND TITLE-ABS-KEY (agroforestry)) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2020	SCOPUS	843	2008-2020
(TITLE-ABS-KEY (cacao) AND TITLE-ABS-KEY (agroforestry)) AND DOCTYPE (ar) AND ACESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2011	SCOPUS	63	2012-2019
(TITLE-ABS-KEY (cacao) AND TITLE-ABS-KEY (agroforestry)) AND DOCTYPE (ar) AND ACESSTYPE (OA) AND PUBYEAR > 2011	SCOPUS	63	
(TITLE-ABS-KEY (interaction) AND TITLE-ABS-KEY (microorganisms AND soil) AND TITLE-ABS-KEY (agroforestry AND systems))	SCOPUS	6	2010-2018
(TITLE-ABS-KEY (agroforestry AND bacteria))	SCOPUS	139	
(TITLE-ABS-KEY (agroforestry AND bacteria) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI")))	SCOPUS	108	
agroforestry AND ("cocoa tree")	Sciencedirect	54	2007-2010
bacteria AND (Phosphorus AND soil) AND cocoa	Sciencedirect	546	
TITLE-ABS-KEY (agroforestry AND bacteria)	SCOPUS	139	
TITLE-ABS-KEY (agroforestry AND bacteria) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI"))	SCOPUS	108	
agroforestry AND ("cocoa tree")	Sciencedirect	54	2007-2010

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificados los listados, se procedió a realizar filtros orientados a documentación sobre las posibles interacciones dadas entre bacterias edáficas y producción de cacao bajo sistemas agroforestales; así como eliminar duplicidad de elementos que por análisis de información se presentara. Por último, se estableció la red de temática relacionada con agroforestería, microorganismos edáficos y producción de cacao. Posteriormente se estableció relaciones entre palabras claves usando el método de normalización por asociaciones, para lo cual se utilizó el software VOSWierver Vr 1.6.13 s (Van Eck y Waltman, 2019). Por otra parte, la evolución cronológica de publicación con los respectivos autores se estableció usando el software gratuito CitiNet Explorer Vr. 1.0 incluyendo un análisis de clúster para establecer principales estrategias de colaboración internacional modificando la resolución de búsqueda (Van Eck y Waltman, 2019).

Identificación de rasgos funcionales de microorganismos edáficos en producción de cacao con sistemas agroforestales.

Para la identificación de las características funcionales de este grupo biológico edáficos, se realizó el análisis de la información identificando microorganismos que presenten o desarrollen alguna participación en los servicios ecosistémicos de la producción de cacao con sistemas agroforestales, documentando los posibles características funcionales de organismos microbianos asociados a la productividad

de cacao, especialmente en zonas de vida de bosque seco tropical, y relacionándolos con las palabras claves de mayor relevancia en los análisis bibliométricos. Los microorganismos vinculados con enfermedades de la planta y aquellos considerados biocontroladores fueron excluidos del estudio, para así realizar los esfuerzos de búsqueda en las bacterias y hongos que generen beneficios físicos, químicos o biogeoquímicos a la planta de interés primario en el sistema agroforestal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

• Análisis bibliométricos

La búsqueda generada usando como ecuación primaria (agroforestry AND theobroma) mostró que en Science Direct, Scopus y Web of Science arrojaron respectivamente 264, 416 y 229 hallazgos, la producción bibliográfica detalló los resultados en áreas como agroforestería, macroorganismos edáficos y producción de cacao con inicio de búsqueda desde 2001. El Centro de la Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD) de Francia con producción académica activa específica entre 2001 y 2019 fue una de las instituciones con mayor producción bibliográfica siendo 2018 el periodo de mayor frecuencia en generación de conocimiento en el área relacionada (Figura 1). Así mismo, la Universidad de Göttingen en Alemania también registra el mayor volumen de publicaciones según la plataforma SCOPUS aunque su mayor actividad en la temática se registró en el año 2012.

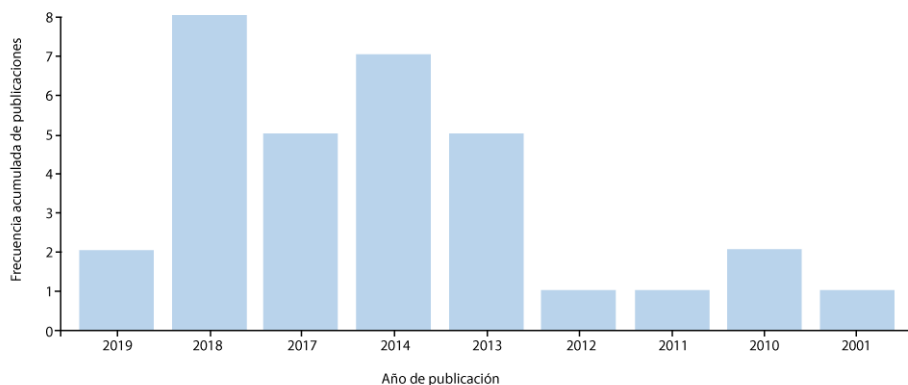


Figura 1. Frecuencia y cantidad de publicaciones sobre agroforestería y cacao realizadas por el Centro de la Investigación Agronómica para el desarrollo (CIRAD). Datos obtenidos de Web Of Science 08/11/2019

Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que la participación de microorganismos en la dinámica ecosistémica de suelos es crucial (Wartenberg *et al.*, 2017), por tanto, Colombia demanda mayor cantidad de estudios para las temáticas descritas con el fin de establecer mejores estrategias de cultivo auto sostenibles y ecoeficientes.

Función de los microorganismos en el suelo

Una de las principales actividades de los microorganismos en el suelo es su participación en ciclos biogeoquímicos (Figura 2), destacando la movilidad y transformación de nutrientes esenciales para las plantas. Se estima que cerca del 90% del CO₂ que es producido en la biosfera está asociado con la actividad metabólica de los microorganismos, los cuales participan en la descomposición de materia orgánica y otros nutrientes. Así mismo, la respiración de los microorganismos proporciona cerca

del 80% del CO₂ requerido por las plantas terrestres para realizar la fotosíntesis y de esta cantidad los hongos proporcionan cerca del 13% (Peña-Vanegas y Vanegas, 2010).

Por otra parte, los hongos están relacionados con suelos de bajas tasas en descomposición y disponibilidad de nutrientes, mientras que las bacterias están asociadas a suelos con altas tasas de descomposición y disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, un aumento en esta proporción debería reflejar una disponibilidad reducida de nutrientes y tasas de crecimiento más lentas (Orwin *et al.*, 2018) la necesidad de diversidad microbiana depende del sistema productivo que entre otras cosas se asocia a la distribución de raíz, que en este caso es cacao con los respectivos sistemas agroforestales.

Por otra parte, los hongos están relacionados con suelos de bajas tasas en descomposición y disponibilidad de nutrientes, mientras que las bacterias

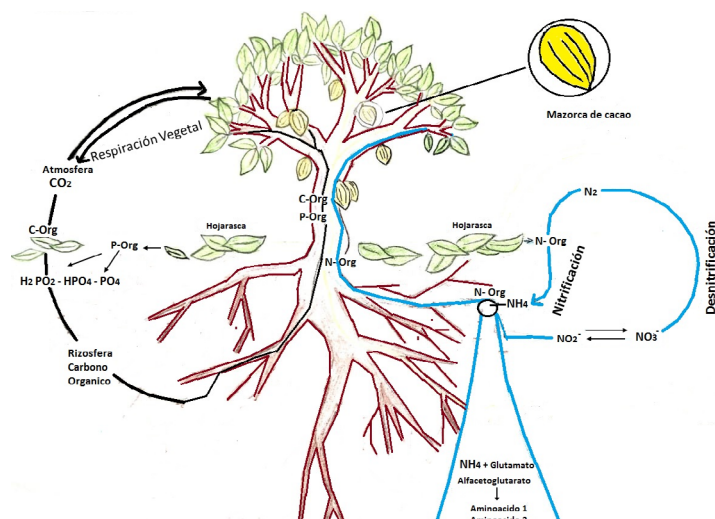


Figura 2. Diagrama de interacción de ciclos biogeoquímicos de nitrógeno y carbono y la participación de microorganismos

Fuente: Elaboración propia

están asociadas a suelos con altas tasas de descomposición y disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, un aumento en esta proporción debería reflejar una disponibilidad reducida de nutrientes y tasas de crecimiento más lentas (Orwin *et al.*, 2018) la necesidad de diversidad microbiana depende del sistema productivo que entre otras cosas se asocia a la distribución de raíz, que en este caso es cacao con los respectivos sistemas agroforestales.

Sistema radicular del árbol de cacao

El sistema radicular del árbol de cacao tiene una raíz principal de 0.8–1.5 m aproximadamente, aunque la extensión real dependerá de las características físicas edáficas, en este sentido en suelos francos puede ser más profunda y en suelos arcillosos pesados el desarrollo radicular principal es

restringido o nulo. Adicionalmente el árbol cuenta con un sistema radicular lateral en la capa superior del suelo, esta es usada para retención de la humedad y absorción de la mayoría de los nutrientes, por lo cual la aplicación de los fertilizantes cerca de las raíces del árbol favorece la absorción de estos, en el caso del fósforo, el incrementar después del primer año de aplicación y por ello la actividad microbiológica para este sistema productivo debe ser en los primeros horizontes del suelo (Nygren *et al.*, 2013)

pH

El rango óptimo de pH para el cultivo de cacao es de 6.0-7.5; esto puede variar, según las condiciones de manejo que se realice al cultivo, lo cual dependerá del tipo de fertilización que se proporcione y de las condiciones óptimas para que la planta pueda

tener un desarrollo óptimo y una absorción de nutrientes y se presente la debida acción microbiana. Según Shamshuddin y cols (2004), el cacao es muy sensible a la acidez de los suelos, sin embargo, se ha demostrado que, en suelos ácidos, es posible obtener buen rendimiento del grano de cacao cuando la acidificación está asociada a producción de compuesto ácidos orgánicos. Por tanto realizar un manejo adecuado que incluye proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo de las etapas fenológicas del cultivo, permitiría que el árbol de cacao sea r tolerante a condiciones acidas presentadas en distintos suelos (Van vliet y Giller, 2017).

Interacción de microorganismos en sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales de cacao están conformados por especies de árboles los cuales además de brindar sombra al cultivo y proporcionan otros servicios, como la producción de hojarasca, reducción de la erosión del suelo, uso de nutrientes del suelo profundo y la mejora de los procesos biológicos. Por otra parte, se han establecido sistemas de cacao con especies vegetales como *Gliricidia sepium*, *Erythrina fusca*, *Cordia alliodora*, *Guazuma ulmifolia*, *Manguijera indica*, *Musa paradisiaca*, *Persea americana*, *Citrus limon*, *Annona muricata*, *Carica papaya*, *Citrus nobilis*, *Citrus sinensis*, *Psidium guajava* y *Eucalyptus globulus*; en los cuales se registraron mejoras de las condiciones de suelos para la producción bi-dirijida (ej. Cacao – cítricos) (Minorta y Ordoñez, 2015; Oliveira *et al.*, 2018).

Es importante tener en cuenta que la estructura de la dinámica poblacional de bacterias puede ser afectada negativamente por la estrategia de siembra de especies específicas como el *Eucalyptus globulus* por tanto debe ser cuidadosa la selección de la especie agroforestal para no afectar la biodiversidad microbiológica que se desea promover en el cultivo (Chen *et al.*, 2013).

Chen y colaboradores (2006) asocian la solubilización de elementos como el fósforo tricalcico a las actividades realizadas por las bacterias edáficas en la rizósfera. Precisamente se indica que el establecimiento de estos sistemas agroforestales evita los efectos adversos del monocultivo sobre la biodiversidad bacteriana. Esto sugiere que las comunidades microbianas pueden ser restauradas mediante la implementación de la agroforestería, particularmente porque tienen el potencial de mejorar el biociclaje de fósforo (Wang *et al.*, 2017).

Los grupos bacterianos que han sido reportados como más dominantes en suelos con alto contenido orgánico son Proteobacterias, Actinobacterias y los encontrados en la capa superficial mineral son Acidobacterias y Chloroflexi. De igual manera, se ha reportado en suelos orgánicos Ascomycota y Basidiomycota en las primeras capas edáficas del suelo mineral (Chen *et al.*, 2019); teniendo en cuenta que el sistema productivo de cacao se realiza la acumulación de hojarasca, favorece el incremento de materia orgánica en suelo y por tanto esos grupos de microorganismos deben ser considerados para estudios de biodiversidad edáfica en cultivos cacao (Zavala, Merino y Peláez, 2018). Sumado

a lo anterior, y considerando que las especies arbóreas tienen diversos rasgos que devuelven al suelo materia orgánica; se puede atribuir que esta interacción de especies vegetales influye significativamente en la riqueza y composición microbiana edáfica. Por lo cual se favorece la diversidad de bacterias y hongos para contribuir a la productividad de las plantas, dado que la ausencia de especies arbóreas en el cultivo afecta la diversidad bacteriana que dependen de los productos de la fotosíntesis de las plantas (Chen *et al.*, 2019).

Por otra parte, Liu y cols (2019) encontraron que los sistemas agroforestales una mayor abundancia de Acidobacterias, Proteobacterias y Actinobacterias. Además, en los sistemas agroforestales las características del suelo como pH, fósforo disponible y nitrógeno orgánico disueltos fueron los mayores generadores de la comunidad bacteriana *Kitasatospora*, *Streptomyces*, *Nitrospira*, *Bacillus* y *Pseudomonas*.

Los microorganismos por tanto presentan una importante acción en la actividad bioquímica para el ciclaje de minerales en suelos, lo cual puede favorecer la asimilación del mineral e incrementar la productividad de los cultivos de interés, en este caso cacao.

Nitrógeno (N)

Como macronutriente el N es indispensable en cualquier sistema productivo se requiere para la síntesis de aminoácidos y participa en la producción de biomasa. La asimilación del N por la planta se da

mediante su absorción en forma de amonio (NH_3^+) principalmente, usando glutamato como aminoácido principal de flujo para ser integrado posteriormente y asimilado como proteínas o mediante translocación entre aminoácidos por alfa cetoglutarato. Precisamente Azimi (2012) evidenció que suplementar con % 45 N (urea), favorece la producción de biomasa e influye en el diámetro de hoja final. Así mismo, los sistemas agroforestales favorecen la producción de sombra, incrementando la concentración de N foliar y posiblemente la producción (Triadiati, et al, 2007) lo que constata la importancia de disponibilidad de amonio en el sistema productivo.

La dinámica del N en suelo se basa en la oxidación o reducción por la acción de microorganismos, los cuales poseen genes específicos (*napA*, *narG*, *nirK*, *nirS*, *nosZ*) que permiten la producción de enzimas para la transformación del nitrógeno, la cual puede ser asimilatoria (desde la atmósfera), nitrificación (oxidación) y desnitrificación (reducción) (Levy-Booth, Prescott, & Grayston, 2014).

Los procesos bioquímicos relacionados con el N pueden ser regulados por la concentración de N y la producción de proteínas específicas de membrana para tales fines (Leigh & Dodsworth, 2007), precisamente se ha registrado que en suelos con N-NH_4 mayor a 500 ppm, afecta de manera negativa comunidades de microorganismos edáficos (Li *et al.*, 2013) a causa de inhibición por sustrato. Esto cobra importancia porque la regulación en el flujo de N está supeditada principalmente a la acción de bacterias (Leigh & Dodsworth, 2007), aunque la dinámica de hongos puede

favorecer la captación de N e incluso su acumulación en suelos (Fontaine *et al.*, 2011).

En cultivos de cacao tradicionalmente la forma de adición de N al cultivo se basa en la fertilización, sin embargo, microorganismos endófitos pueden ser una estrategia con impacto orgánico y que además facilitan la asimilación de N continua por la planta. Esto se presenta porque estos organismos colonizan el tejido de la planta, favoreciendo la incorporación de N y produciendo sustancias promotoras de crecimiento para elongación (Santoyo, *et al.*, 2016). Aunque la fertilización es tradicional para árbol de cacao, en sistemas agroforestales se recomienda que estas actividades no sean realizadas de manera periódica, dado que puede afectar la diversidad de microorganismos influyentes en el proceso de oxidación de NO₂⁻ independiente de la cantidad de agregados que en el suelo de cultivo se desarrollen (Han *et al.*, 2018).

En este sentido, se manifiesta que la implementación de sistemas agroforestales es una adecuada estrategia para favorecer la diversidad bacteriana, la transformación y disponibilidad de nitrógeno en suelos; incrementando la producción vegetal del cacao. En el suelo, la mezcla de especies arbóreas promueve la abundancia de grupos taxonómicos como Acidobacteria, Proteobacteria y Actinobacteria y géneros como Kitasatospora, Streptomyces, Nitrospira, Bacillus y Pseudomonas que está relacionada con el ciclaje del Nitrógeno (Han *et al.*, 2018; Koch, van Kessel, & Lückner, 2019; Liu *et al.*, 2019), aunque no se puede dejar de lado el potencial de las archeas, las cuales también participan activamente en cicla-

je de Nitrógeno, especialmente en condiciones favorables como las proporcionadas por los sistemas agroforestales (Offre, Spang, & Schleper, 2013).

Fósforo (P)

El fósforo participa de manera activa en el cultivo de cacao, es usado para la producción de biomasa y generación de energía para metabolismo primario en la planta, estimula la floración en el cacao (Van vliet y Giller, 2017). La adición de este elemento al cultivo suele realizarse también mediante fertilización química, incorporándolo al suelo en forma de fosfato (PO₄⁻) aunque la disponibilidad final depende del pH; a valores bajos (<5) el fósforo suele ser inmovilizado con otros minerales como Mg o Mn, mientras que a pH altos (>8) se inmoviliza con hierro o aluminio.

Esta disponibilidad está directamente relacionada con la actividad de microorganismos en los suelos, cuya disponibilidad y actividad es afectada por actividades agrícolas y por ello se recomiendan estrategias de manejo productivo (Mander *et al.*, 2012). El uso de este micronutriente inorgánico (usado en fertilización) por parte de microorganismos está destinado a la formación de membranas celulares e incorporación metabólica para la generación de energía, por medio de enzimas específicas como : 2-oxoglutarato dihidrogenasa o Dehidrogenasa homologas; aunque uno de los principales inconvenientes de la fertilización inorgánica está relacionado con la inhibición que el fósforo añadido genera en la descomposición de

fuentes de Nitrógeno o Carbono en el suelo (White & Metcalf, 2007).

Por otra parte, la acción de bacterias u hongos para favorecer la asimilación de P por la planta se da por relaciones simbióticas, es el caso de plantas arbustivas que generan una relación estrecha entre la planta y los microorganismos en la raíz, sin embargo, la eficiencia del proceso depende de las condiciones del entorno (White & Metcalf, 2007); esto es importante puesto estas asociaciones pueden ser contraproducente cuando se evidencia crecimiento de maleza en cultivos de cacao, a razón que podría ser inmovilizado el P que el árbol productivo demanda, de allí la relevancia de control de malezas; sin embargo, la mayoría de las actividades microbianas con P se da de manera libre en el suelo.

La actividad de microorganismos libres relacionado con la transformación de fosforo se lleva a cabo principalmente con dos modalidades, producción de ácidos y presencia de sideróforos. En la primera se fundamenta la solubilización de fosforo inorgánico cercano a la célula, con producción de metabolitos primarios o secundarios generan una acidificación parcial del entorno con la consecuente liberación del fosforo. El segundo caso se da por medio de organelos creados por los microorganismos que sirve para la solubilización del fosforo orgánico e inorgánica que facilita la liberación del elemento.

Los sistemas agroforestales son indispensables para cultivos de cacao, especialmente porque la sombra puede generar condiciones ambientales adecuadas para la formación de agregados de suelos

y por ende actividades metabólicas de microorganismos (Wartenberg *et al.*, 2017).

Los géneros *Geobacter*, *Massilia* son representativos puesto se caracteriza por tener alta producción enzimática para la solubilización de suelos, así como *Phylia* como *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*, *Acidobacteria*, *Chloroflexi*, y *Cyanobacteria* (Samaddar *et al.*, 2019). En otro estudio, Alori, Glick, y Babalola (2017) consolidaron documentación donde demuestran que microorganismos como *Burkholderia gladioli*, *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp, *Burkholderia cepacia*, *Azotobacter chroococcum* o *Bacillus subtilis*, estos microorganismos se caracterizan por participar en la solubilización de fosforo mientras que favorecen el crecimiento vegetal, bien sea en tallo y hoja.

Es necesario considerar que microorganismos patógenos pueden ser muy eficientes en la solubilización de fosforo, es el caso de *E. coli*, se caracteriza por su rápido crecimiento y capacidad de interactuar con materia orgánica para solubilización de fosforo (White & Metcalf, 2007); sin embargo, al ser patógenos no deben ser usados como estrategias dentro del desarrollo de consorcios microbianos.

Potasio (K)

El potasio es importante para la translocación de carbohidratos y se cree que aumenta tolerancia al estrés hídrico debido a su influencia en la regulación del agua en las células y en los tejidos (transpiración, concentración de sales), este elemento también interviene en el

proceso de división celular y regulación de disponibilidad de azúcares por inhibición enzimática, así como en los procesos que determinan la absorción de calcio, nitrógeno y sodio, juega un papel importante en el transporte de azúcares desde la hoja hasta el fruto (Fernandez *et al.*, 2016). También está encargado del engrosamiento de frutos y promueve mecanismos de resistencia a plagas y patógenos (Alarcón *et al.*, 2012).

Carbono (C)

Las prácticas de manejo y la diversidad del sistema agroforestal aumentan el almacenamiento de Carbono, debido a la hojarasca que almacenan en ellos y a la función que cumplen los microorganismos en el suelo, mejorando la productividad del cultivo, asimismo estos suelos almacenan más carbono (C) bajo tierra que las plantas y la atmósfera, proporcionando un servicio del ecosistema (Shao *et al.*, 2019).

Además, el pH es una variable importante en la presencia o ausencia de las comunidades bacterianas y fúngicas de los suelos, estas comunidades fueron influenciadas por la relación carbono/nitrógeno (C/N), y nutrientes del suelo, lo cual afecta directamente la diversidad de especies microbianas (Chen *et al.*, 2019).

Por otra parte, en estudios realizados por Ren y colaboradores (2018) encontraron bacterias de los grupos Proteobacterias, Actinobacterias, Acidobacterias, Chloroflexi, Planctomycetes, Gemmatimonadetes, Bacteroidetes, Cyanobacterias y Nitrospirae. De las cuales Proteobacterias, Bacteroidetes, Actinobacterias y Chloroflexi; ayudan a

mantener el equilibrio del ciclo del carbono. Además, las Proteobacterias favorecen la disponibilidad de carbono y Bacteroidetes conducen a aumentar el carbono orgánico del suelo. También se identificó que las Actinobacterias son más abundantes en suelos de sistemas agroforestales.

También se ha registrado que hongos Ascomycota y Basidiomycota metabolizan la materia orgánica en rizodepositos, además la dinámica de la materia orgánica del suelo como resultado de descomposición de los residuos vegetales, influye en la abundancia de estos filos fúngicos, lo cual demuestra la relación de las comunidades fúngicas con los cambios en las fracciones de carbono (Bastida *et al.*, 2013).

Metales pesados

La disponibilidad de metales pesados en suelos es uno de los principales factores que pueden afectar el valor final del producto cacaotero, la unión europea plantea la regulación en el reglamento de la comisión N° 488/2014 de la Unión Europea, donde establecen los niveles máximos por mg/Kg de peso corporal de contaminantes en productos alimenticios.

La concentración de Cd es el principal metal encontrado en el grano de cacao, según la comisión del Codex Alimentarius, programa en conjunto FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y OMS (Organización Mundial de la Salud), esta concentración debe ser menor a 0.5 mg/kg (FAO/OMS, 2019). Por otra parte, la asimilación de Cd por cacao usando sistemas agroforestales es

un 60% menor con un monocultivo de cacao, esto se da por la competencia de asimilación de Cd por otras especies (Gramlich *et al.*, 2017). Además, hongos como las Micorrizas arbusculares ayudan a reducir la absorción de este metal que causa toxicidad en los suelos de este cultivo, los cuales pueden almacenarse en el grano de cacao y generar problemas de salud (Jacome, 2018)

Microorganismos que participan en la dinámica nutricional de los suelos de sistemas agroforestales

Se logró identificar más de diez microorganismos, llámese grupo, género o especie, que participan en la dinámica nutricional de los suelos, enfocado en la productividad de las plantas de cacao, los cuales pueden tener participación con la calidad y producción de los árboles (Tabla 2).

Tabla 2.

Características de microorganismos edáficos que pueden tener participación en la dinámica nutricional

Característica	Familia, grupo de microorganismo, género o especie involucrada	Descripción	Referencia bibliográfica
Carbono	<i>Bacteroidetes</i>	Conducen a aumentar el carbono orgánico del suelo	(Ren <i>et al.</i> , 2018)
Carbono	<i>Proteobacterias, Bacteroidetes, Actinobacterias y Cloroflexi</i>	Ayudan a mantener el equilibrio del ciclo del carbono	(Ren <i>et al.</i> , 2018)
Carbono	<i>Ascomycota, Basidiomycota</i>	Metabolizan la materia orgánica	(Bastida <i>et al.</i> , 2013)
Nitrógeno	<i>Acidobacteria, Proteobacteria y Actinobacteria y géneros como Kitasatospora, Streptomyces, Nitrospira, Bacillus y Pseudomonas</i>	Se relacionan con el ciclaje del Nitrógeno	(Han <i>et al.</i> , 2018; Koch, van Kessel, y Lückner, 2019; Liu <i>et al.</i> , 2019)
Nitrógeno	<i>Bradyrhizobium</i>	Fijadora de Nitrógeno	(Liu <i>et al.</i> , 2019)
Nitrógeno	<i>Rizobiales</i>	Son promotoras de plantas rizosféricas	(Bastida <i>et al.</i> , 2013)
Fósforo	<i>Bacillus subtilis y Pseudomonas putida</i>	Solubilizadoras de fosfato	(Bagyalakshmi <i>et al.</i> , 2017; Liu <i>et al.</i> , 2019)
Fósforo	<i>Burkholderia gladioli, Bacillus sp. Pseudomonas sp, Burkholderia cepacia Azotobacter chroococcum, Bacillus subtilis,</i>	Solubilización de fosforo, favorecen el crecimiento vegetal, bien sea en tallo y hoja	(Alori, Glick, y Babalola, 2017)
Fósforo	<i>Geobacter, Massilia, Phylia Verrucomicrobia, Bacteroidetes, Acidobacteria, Chloroflexi, y Cyanobacteria</i>	Producción enzimática para la solubilización de suelos	(Samaddar <i>et al.</i> , 2019)
Cadmio	<i>Micorriza arbuscular</i>	Contribuyen a reducir la absorción de cadmio	(Jacome, 2018)

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La producción tradicional para cultivar cacao son una estrategia típica en la producción de este cultivo, sin embargo, los sistemas agroforestales deben ser considerados puesto que permiten una mayor dinámica en la transformación de nutrientes, todo asociado por la promoción de bacterias que participan en el ciclaje de nutrientes como N y hongos que cumplen un rol especial en la mineralización de materia orgánica por degradación de compuestos orgánicos de carbono.

Los sistemas agroforestales se convierten en una estrategia para la optimización de producción orgánica de cacao, por qué favorece la biodiversidad bacteriana y fúngica para regular de manera positiva el ciclaje y aprovechamiento de los nutrientes, promoviendo así mejores condiciones de calidad vegetal en especial en unidades productivas agrícolas de cultivos perennes. Esta actividad microbiana participa activamente en la biodisponibilidad de N, P y C para que las condiciones de suelos sean idóneas y permitan la adecuada nutrición vegetal, lo que influye a la larga en las características finales del grano de cacao.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Formación Agroindustrial - Regional Huila y SENNOVA del Servicio Nacional de Aprendizaje

REFERENCIAS

- Agronet. (2018). *Base Agrícola EVA 2007-2018 (P)*. Recuperado Septiembre 18, 2019, de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Alarcón, J.J., Arevalo, P.E., Díaz, J.L., Galindo, A.J.R., Rosero, A.A., (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de cacao: Medidas para la temporada invernal*. Fedecacao. 43p.
- Alfaro-Flores, A., Morales-Belpaire, I., & Schneider, M. (2015). Microbial biomass and cellulase activity in soils under five different cocoa production systems in Alto Beni, Bolivia. *Agroforestry Systems*, 89(5), 789–798. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9812-z>
- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 8(JUN), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Azimi, A. (2012). Experimental Study on Eggplant Drying by an Indirect Solar Dryer and Open Sun Drying. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 3(4), 385–389.
- Bagyalakshmi, B., Ponmurugan, P., & Balamurugan, A. (2017). Potassium solubilization, plant growth promoting substances by potassium solubilizing bacteria (KSB) from Southern Indian tea plantation soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 12, 116-124.
- BANRED. (2017). *Coyuntura del sector agropecuario colombiano. Documento*

- to conyuntura Ganadera Colombiana. Bogotá D.C. Recuperado de <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/informe-congreso-marzo-2018-recuadro-2.pdf>
- Barrientos, L. D. P., Oquendo, J. D. T., Garzón, M. A. G., & Álvarez, O. L. M. (2019). Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia. *Food research international*, 115, 259-267.
- Bastida, F., Hernández, T., Albaladejo, J., & García, C. (2013). Phylogenetic and functional changes in the microbial community of long-term restored soils under semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry*, 65, 12-21.
- Blagodatskaya, E., & Kuzyakov, Y. (2013). Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*, 67, 192-211. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.024>
- Chen, F., Zheng, H., Zhang, K., Ouyang, Z., Li, H., Wu, B., & Shi, Q. (2013). Soil microbial community structure and function responses to successive planting of Eucalyptus. *Journal of Environmental Sciences*, 25(10), 2102-2111. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60319-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60319-2)
- Chen, L., Xiang, W., Wu, H., Ouyang, S., Zhou, B., Zeng, Y., ... & Kuzyakov, Y. (2019). Tree species identity surpasses richness in affecting soil microbial richness and community composition in subtropical forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 130, 113-121.
- Chen, Y. P., Rekha, P. D., Arun, A. B., Shen, F. T., Lai, W.-A., & Young, C. C. (2006). Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology*, 34(1), 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002>
- DeLong, E. F., & Pace, N. R. (2001). Environmental diversity of bacteria and archaea. *Systematic Biology*, 50(4), 470-478. <https://doi.org/10.1080/10635150118513>
- Detlefsen, G y Somarriba, E. (2012). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. *Ministry for foreign affairs of finland & Catie*. P. 21-26.
- FAO Y OMS, 2019. Programa conjunto sobre normas alimentarias, comité del codex sobre contaminantes de los alimentos. 32 pag. Disponible en: <https://bit.ly/3nkb9d>
- Fontaine, S., Henault, C., Aamor, A., Bdioui, N., Bloor, J. M. G., Maire, V., ... Maron, P. A. (2011). Soil Biology & Biochemistry Fungi mediate long term sequestration of carbon and nitrogen in soil through their priming effect. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(1), 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.09.017>
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros Paniagua, J., Armengot, L., Schneider, M., & Schulin, R. (2017). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of the Total Environment*, 580, 677-686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>

- Han, S., Li, X., Luo, X., Wen, S., Chen, W., & Huang, Q. (2018). Nitrite-oxidizing bacteria community composition and diversity are influenced by fertilizer regimes, but are independent of the soil aggregate in acidic subtropical red soil. *Frontiers in Microbiology*, 9(MAY), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00885>
- Jacome Molina, D. M. (2018) Efecto de la inoculación de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) sobre un sistema suelo-planta de cacao en suelos contaminados con cadmio en etapa de vivero. *Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá* (Disertación doctoral).
- Jones, L., Provins, a., Holland, M., Mills, G., Hayes, F., Emmett, B., ... Harper-Simmonds, L. (2014). A review and application of the evidence for nitrogen impacts on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 7, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.09.001>
- Koch, H., van Kessel, M. A. H. J., & Lüscher, S. (2019). Complete nitrification: insights into the ecophysiology of comammox Nitrospira. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(1), 177–189. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9486-3>
- Leigh, J. A., & Dodsworth, J. A. (2007). Nitrogen regulation in bacteria and archaea. *Annual Review of Microbiology*, 61, 349–377. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.61.080706.093409>
- Levy-Booth, D. J., Prescott, C. E., & Grayston, S. J. (2014). Microbial functional genes involved in nitrogen fixation, nitrification and denitrification in forest ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.021>
- Li, F., Liu, M., Li, Z., Jiang, C., Han, F., & Che, Y. (2013). Changes in soil microbial biomass and functional diversity with a nitrogen gradient in soil columns. *Applied Soil Ecology*, 64(2), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.10.006>
- Liu, C., Jin, Y., Hu, Y., Tang, J., Xiong, Q., Xu, M., ... Beng, K. C. (2019). Drivers of soil bacterial community structure and diversity in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 278(March), 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.03.015>
- Fernandez, J. C., Santana, W. B., & Villate, A. R. (2016). Dinámica nutricional de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 367–380.
- Mander, C., Wakelin, S., Young, S., Condron, L., & O’Callaghan, M. (2012). Incidence and diversity of phosphate-solubilising bacteria are linked to phosphorus status in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 44(1), 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.09.009>
- Marconi, L., & Armengot, L. (2020). Complex agroforestry systems against biotic homogenization : The case of plants in the herbaceous stratum of cocoa production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 287(December 2018), 106664. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106664>

- Minorta-Cely, V., Ordoñez, CM. (2015). Diversidad florística en arreglos agroforestales asociados a cacao (*Theobroma cacao*), de cuatro municipios del sur colombiano. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 2(2), 80-87.
- Nijmeijer, A., Lauri, P. E., Harmand, J. M., Freschet, G. T., Essobo Nieboukaho, J. D., Fogang, P. K., ... Saj, S. (2019). Long-term dynamics of cocoa agroforestry systems established on lands previously occupied by savannah or forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 275(October 2018), 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.004>
- Nygren, P., Leblanc, H. A., Lu, M., & Luciano, C. A. G. (2013). Distribution of coarse and fine roots of *Theobroma cacao* and shade tree *Inga edulis* in a cocoa plantation. *Annals of forest science*, 70(3), 229-239.
- Oergensen, R. G., & Emmerling, C. (2006). Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(3), 295–309.
- Offre, P., Spang, A., & Schleper, C. (2013). Archaea in biogeochemical cycles. *Annual Review of Microbiology*, 67, 437–457. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155614>
- Oliveira, P. H., Gama-Rodrigues, A. C., Gama-Rodrigues, E. F., Sales, M. V. (2018). Litter and soil-related variation in functional group abundances in cacao agroforests using structural equation modeling. *Ecological indicators*, 84, 254-262.
- Oracz, J., Zyzelewicz, D., & Nebesny, E. (2015). The content of polyphenolic compounds in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.), depending on variety, growing region, and processing operations: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(9), 1176-1192.
- Orwin, K. H., Dickie, I. A., Holdaway, R., Wood, J. R. (2018). A comparison of the ability of PLFA and 16S rRNA gene metabarcoding to resolve soil community change and predict ecosystem functions. *Soil Biology and Biochemistry*, 117, 27-35.
- Peña-Vanegas, C.P., Vanegas, G.I., (2010). *Dinámica de los suelos amazónicos: procesos de degradación y alternativas para su recuperación*, Instituto SINCHI, Bogotá, ISBN 978-958-8317-62-5.
- Ren, C., Wang, T., Xu, Y., Deng, J., Zhao, F., Yang, G., Ren, G. (2018). Differential soil microbial community responses to the linkage of soil organic carbon fractions with respiration across land-use changes. *Forest Ecology and Management*, 409, 170-178.
- Samaddar, S., Chatterjee, P., Truu, J., Anandham, R., Kim, S., & Sa, T. (2019). Long-term phosphorus limitation changes the bacterial community structure and functioning in paddy soils. *Applied Soil Ecology*, 134(July 2018), 111–115. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.016>
- Sanchez, A. D., Ousset, M. J., & Sosa, M. C. (2019). Biological control of

- Phytophthora collar rot of pear using regional *Trichoderma* strains with multiple mechanisms. *Biological Control*, 135(April), 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.012>
- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., & Glick, B. R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, 183, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>
- Shamshuddin, J., Muhrizal, S., Fauziah, I., Husni, M. H. A. (2004). Effects of adding organic materials to an acid sulfate soil on the growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings. *Science of the total environment*, 323(1-3), 33-45.
- Shao, P., Liang, C., Lynch, L., Xie, H., & Bao, X. (2019). Reforestation accelerates soil organic carbon accumulation: Evidence from microbial biomarkers. *Soil Biology and Biochemistry*, 131, 182-190.
- Smil, V. (2000). PHOSPHORUS IN THE ENVIRONMENT : Natural Flows and Human Interferences. *Annual Review Energy Environmental*, 25, 53–88.
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., ... Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>
- Triadiati, S., Guhardja, E. D. I., Sudarsono Qayim, I., & Leuschner, C. (2007). Nitrogen Resorption and Nitrogen Use Efficiency in Cacao Agroforestry Systems Managed Differently in Central Sulawesi. *Journal of Biosciences*, 14(4), 127–132. <https://doi.org/10.4308/hjb.14.4.127>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2019). CitNetExplorer. The Netherlands: Centre for Science and Technology Studies, Leiden University. Retrieved from <https://www.citnetexplorer.nl>
- Van Eck, N., & Waltman, L. (2019). VosViewer. The Netherlands: Centre for Science and Technology Studies, Leiden University. Retrieved from <https://www.vosviewer.com/>
- Wang, J., Ren, C., Cheng, H., Zou, Y., Bughio, M. A., & Li, Q. (2017). Conversion of rainforest into agroforestry and monoculture plantation in China: consequences for soil phosphorus forms and microbial community. *Science of the Total Environment*, 595, 769-778.
- Wartenberg, A. C., Blaser, W. J., Gatteringer, A., Roshetko, J. M., Van Noordwijk, M., & Six, J. (2017). Does shade tree diversity increase soil fertility in cocoa plantations?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 248(March), 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.033>
- White, A. K., & Metcalf, W. W. (2007). Microbial metabolism of reduced phosphorus compounds. *Annual Review of Microbiology*, 61, 379–400. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.61.080706.093357>
- Wood, S. A., Karp, D. S., DeClerck, F., Kremen, C., Naeem, S., & Palm, C.

- A. (2015). Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in Ecology and Evolution*, 30(9), 531–539. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.013>
- Zavala, W., Merino, E., & Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493-501.

The image features a person's hands holding an open book, with the text 'EDUCACIÓN' overlaid in a dark box. The background is a warm, orange-toned photograph of a person reading. A digital network of yellow and white lines is superimposed on the upper half of the image, with a bright light source on the right creating a lens flare effect. The overall color palette is dominated by warm oranges and reds, with a cool blue/purple light on the right side.

EDUCACIÓN

Análisis y diagnóstico estratégico del Centro de Gestión Tecnológica de Servicios: un ejercicio de prospectiva tecnológica

Analysis and strategic diagnosis of the Center for Technological Management of Services: An exercise in technological foresight

<http://doi.org/10.23850/23899573.2561>

Recibido: 06.12.2019 Aceptado: 24.11.2020

Gustavo Enrique Rincón Guerrero
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
gerincong@sena.edu.co
Colombia

Michelle Castrillón Córdoba
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
micastrillonc@sena.edu.co
Colombia

Cómo Citar:

Rincón, G., Castrillón, M. (2020) Análisis y Diagnóstico estratégico del Centro de Gestión Tecnológica de Servicios: Un ejercicio de prospectiva tecnológica. *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5 (1), 74-90. doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.2561>

RESUMEN

La prospectiva estratégica y la visión de mediano y largo plazo, en el campo organizacional y en el desarrollo de los territorios ha venido tomando mayor fuerza en las últimas décadas, debido a los constantes cambios que impactan directa o indirectamente el desarrollo de una organización o territorio, a la necesidad de garantizar sostenibilidad en el tiempo y a la baja capacidad de previsión de algunas áreas de conocimiento para ofrecer modelos que se ajusten a la realidad y acierten en sus previsiones. Estas razones justifican cada vez más la utilización de modelos prospectivos en la planeación estratégica de las organizaciones y territorios a nivel mundial.

Es así como, este documento presenta un diagnóstico estratégico a partir de la implementación de técnicas y métodos prospectivos, que aporta a la confrontación asertiva de los retos en materia social, económica, política y tecnológica a los que se enfrenta el Centro de Gestión Tecnológica de Servicios (CGTS) Regional Valle como centro de formación del SENA. A su vez, este ejercicio hace parte del trabajo prospectivo que se ha venido realizando en este centro de formación para la construcción de su Plan Tecnológico con un horizonte de tiempo 2020 – 2030 que representa un compromiso de mejora continua sobre el ejercicio de planeación institucional donde se establecen estrategias, proyectos estratégicos, alianzas que permitan el cumplimiento y la articulación entre cada uno de ellos.

Palabras Claves: *prospectiva tecnológica, desarrollo organizacional, diagnostico estratégico, planeación, métodos prospectivos, vigilancia científico-tecnológica*

ABSTRACT

The strategic prospective and long-term vision, in the organizational field and in the development of the territories, has been taking greater force in recent decades, due to the constant changes that directly or indirectly impact the development of an organization or territory, to the need to guarantee sustainability over time and to the low capacity of forecasting of some areas of knowledge to offer models that conform to reality and make their forecasts accurate. These reasons justify more and more the use of prospective models in the strategic planning of organizations and territories worldwide.

Thus, this document presents a strategic diagnosis based on the implementation of prospective methods, which contributes to the assertive confrontation of the social, economic and technological challenges faced by the Service Technology Management Center (CGTS) Regional Valle as a training center for SENA. In turn, this exercise is part of the prospective work that has been carried out in this training center for the construction of a Technological Development Plan with a 2019-2029 horizon that represents a commitment to continuous

improvement over the institutional planning exercise where establish strategies, strategic projects, alliances that allow compliance and articulation between each of them.

Keywords: *technology prospective, organizational development, strategic diagnostic, planning, prospective methods.*

INTRODUCCIÓN

En América Latina alrededor de las últimas dos décadas, la planificación estratégica ha venido tomando fuerza a la hora de pensarse el desarrollo a futuro de las organizaciones, gobiernos y territorios. Por tal razón, en las agendas de los gobiernos es cada vez más necesario incluir mecanismos de planificación que aporten al diseño de estrategias innovadoras y permitan abordar de manera eficaz los principales retos y desafíos presentados en las regiones, y que por supuesto varían de acuerdo con su propio contexto. Es así, como en la mayoría de los casos de las regiones de América Latina se ha venido promoviendo una planificación renovada en la que, según lo expone Bitar (2014) en un estudio desarrollado para la CEPAL, se pueden distinguir aspectos comunes como la participación ciudadana, coordinación entre niveles y sectores de gobierno, incorporación de mecanismos de monitoreo y evaluación de la eficacia y la eficiencia del gasto público y construcción de visiones de país de largo plazo, orientadas principalmente al cierre de brechas de desarrollo.

A su vez, es clara la necesidad de fortalecer dicha planificación con un componente prospectivo que permita

identificar los diferentes escenarios a los que las regiones pueden verse expuestos a futuro, así como poder establecer las herramientas que amplíen la capacidad de reacción ante acontecimientos inesperados, entre los que se encuentran riesgos o potencialidades para la disminución de las brechas del desarrollo que solo se podrán materializar en el largo plazo como resultado de la planificación estratégica y las políticas de Estado (Máttar y Cuervo, 2016).

Entendiendo el papel que desempeña la planeación y la prospectiva en la generación de elementos pertinentes para la toma de decisiones estratégicas no solo en el campo de acción que ocupa al gobierno o a los territorios, sino también a las organizaciones que los componen, es primordial que el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), realice cambios en el corto y en el largo plazo encaminados a mejorar su capacidad competitiva, territorial, de formación, y de planificación, pues se enfrenta al reto de posicionarse como institución de formación para el trabajo en un contexto altamente competitivo con avances tecnológicos que de manera continua transforman la cotidianidad de las personas (SENA, 2017).

En este sentido, este documento presenta un diagnóstico estratégico que aporta a la confrontación asertiva de los retos de

la sociedad del conocimiento a los que se enfrenta el Centro de Gestión Tecnológica de Servicios (CGTS) Regional Valle como centro de formación perteneciente al SENA. A su vez, este ejercicio hace parte del trabajo prospectivo que se ha venido realizando en este centro de formación para la construcción de un Plan de Desarrollo Tecnológico con horizonte 2019-2030 que representa un compromiso de mejora continua sobre el ejercicio de planeación institucional donde se establecen estrategias, proyectos estratégicos, alianzas que permitan el cumplimiento y la articulación entre cada uno de ellos.

De esta manera, el documento tiene en cuenta diferentes insumos y procesos de la planificación estratégica, tales como las autoevaluaciones, los documentos de registro calificado¹, informes realizados dentro de los procesos internos del CGTS, los resultados de los estudios llevados a cabo internamente sobre la base de una encuesta tipo Delphi aplicada a expertos temáticos y talleres de trabajo con instructores y personal administrativo del centro de formación.

A continuación, se presentan los resultados de un ejercicio que se centra en el proceso de análisis y diagnóstico estratégico del CGTS que consta de tres secciones además de esta introducción. En la primera sección se realiza una descripción de la metodología utilizada para establecer el diagnóstico del centro de formación a través de la implementación de algunos métodos de la prospectiva expuestos

por Medina y Ortegón (2006). En la segunda se registra el análisis externo, donde se analiza los contextos económico, social, jurídico-legal y de ciencia, tecnología e innovación. En esta misma sección se definen las oportunidades y amenazas que el entorno ofrece al CGTS. Seguidamente, se presenta el análisis interno en el que se abordan aspectos históricos y una referencia institucional, como el estado del talento humano, los programas de formación, la infraestructura administrativa y de formación e investigación propias del CGTS, donde se identifican las fortalezas y debilidades del CGTS. A su vez se presentan los resultados del ejercicio de vigilancia tecnológica y competitiva realizada. Finalmente, en la tercera sesión se especifican las conclusiones del análisis y diagnóstico, así como una serie de recomendaciones estratégicas a aplicar para el cierre de brechas y la mejora continua del centro de formación.

METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó en la construcción del diagnóstico estratégico del CGTS, hace parte de la primera fase del proceso de prospectiva para el diseño de un plan tecnológico con horizonte 2030, en el que la prospectiva toma un enfoque hacia lo que se ha venido conociendo como “prospectiva tecnológica”, entendiéndola como el conjunto de “tentativas sistemáticas para observar a mediano y largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que probablemente produzcan los mayores beneficios económicos y/o sociales” (Martín, 2001).

¹ El registro calificado es un mecanismo, administrado por el Ministerio de Educación Nacional, para verificar y asegurar las condiciones de calidad en los programas académicos de educación superior, según lo establecido en la Ley 1188 del 25 abril 2008 y el Decreto 1295 del 20 de abril de 2010

En este sentido, se buscó establecer el análisis y diagnóstico estratégico del CGTS a partir de la implementación de un análisis interno y externo del centro de formación con el fin conocer los recursos y capacidades actuales del mismo y así poder establecer sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.

Posteriormente se aplicaron tres tipos de vigilancia: Vigilancia Estratégica, Científica Tecnológica y Competitiva, cada una compuesta tal y como se describe en la figura 1



Figura 1. Metodología para construcción del análisis y diagnóstico estratégico basada en lineamientos propuestos por Sistema PREVIOS²

Fuente: Instituto de Prospectiva, Innovación y Gestión del Conocimiento, Universidad del Valle, 2017.

Así, la vigilancia estratégica consistió en la identificación de aspectos relacionados con el entorno y las macro tendencias que direccionan el desarrollo de los diferentes sectores económicos. Estos aspectos serán propuestos, posteriormente en la definición de escenarios, como factores de cambio. Por otro lado, la vigilancia tecnológica permitió identificar los avances científico tecnológicos del sector de los servicios

y las redes de conocimiento que abordan los programas de formación del CGTS, para lo cual se hizo uso de la base de datos científica SCOPUS. Por último, la vigilancia competitiva consistió en estudiar detalladamente los competidores actuales y potenciales (a nivel internacional y nacional) en bases de datos estratégicas, redes sociales y páginas web, analizando sus capacidades de I+D+i³, su infraestructura, su personal y sus productos, entre otros.

Con el fin de complementar el análisis interno y las vigilancias ya descritas, se abordaron métodos prospectivos de orden cualitativo que se fundamentan en el conocimiento de una élite experta para desarrollar visiones a mediano y largo plazo y permiten generar escenarios de futuro, reportes subjetivos, síntesis o evaluación de ideas y documentos, y métodos de orden semicuantitativo donde aplican algunos principios matemáticos y estadísticos a procesos subjetivos del conocimiento (Medina y Ortegón, 2006).

En el caso de los métodos cualitativos se implementaron:

Revisión de literatura para la exploración del entorno en aspectos económicos, social demográficos, político legales y tecnológicos.

Análisis DOFA, que acompañó el análisis interno para identificación de fortalezas y debilidades del centro de formación y la vigilancia estratégica para establecer oportunidades y amenazas. Este análisis

³ Investigación, Desarrollo e innovación, es un concepto de reciente aparición en el contexto de los estudios de ciencia, tecnología y sociedad; como superación del anterior concepto de investigación y desarrollo (I+D).

se realiza a partir de la implementación de dos talleres, uno realizado con el equipo administrativo del CGTS y otro con instructores de los diferentes programas de formación.

Panel de expertos conformado por al menos dos expertos temáticos por cada red de conocimiento que aborda el centro de formación, sumando un total de 31 expertos en su conjunto. Este ejercicio permitió validar los resultados de las vigilancias tecnológica y competitiva, así como las estrategias derivadas del análisis DOFA.

Por su parte, el método semicuantitativo que se utilizó corresponde al Metodo Delphi que se implementó a través de una encuesta con algunas preguntas abiertas con el fin de obtener puntos de vista diferentes sobre la oferta educativa de centro de formación y su pertinencia a futuro.

Con los insumos de los talleres el equipo del proyecto completó el proceso de vigilancia tecnológica y competitiva, tabuló y analizó los datos de las encuestas aplicadas a los expertos temáticos. También se tabularon, consolidaron y analizaron los datos de las matrices DOFA por redes de conocimiento y del equipo administrativo. Se consolidó la información proveniente de fuentes primarias y secundarias.

DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO CENTRO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA DE SERVICIOS (CGTS)

Como resultado de la implementación de los diferentes métodos de prospectiva, en esta sesión se presentan los aspectos más

relevantes que se derivaron de cada una de las etapas que permitieron establecer el diagnóstico estratégico del CGTS como centro de formación para el trabajo.

• Análisis interno

El análisis del contexto interno del centro de formación para la identificación de sus capacidades se realizó tomando como dimensiones el talento humano, los programas de formación, la investigación y la infraestructura. Inicialmente, se identifica como su propósito en el inicio de su funcionamiento en el año 1957, atender la demanda de las empresas del sector servicios, ofreciendo especialidades en Contabilidad, Secretariado y Ventas. Posteriormente, a este objetivo, se le suma dar respuesta a los requerimientos de formación del sector servicios del Valle del Cauca y apoyar en sus procesos organizacionales a los otros Centros de Formación de esta región.

En la actualidad el CGTS, imparte formación técnica, tecnológica y complementaria, tanto presencial como virtual, en las áreas de: Hotelería, Turismo y Gastronomía, Comercio, Administración y Finanzas, Salud y Servicios Personales, Actividad Física, Logística y Gestión de la Producción Industrial y Ambiental, atendiendo en su mayoría a jóvenes de poblaciones vulnerables y de bajos recursos de la ciudad y de municipios cercanos como Yumbo, Vijes, Tuluá, Dagua, Jamundí y La Cumbre. La oferta de formación del CGTS también se direcciona a trabajadores de empresas del sector privado e instituciones gubernamentales de las áreas mencionadas, a través de alianzas estratégicas que consisten en capacitar y formalizar los

conocimientos de sus trabajadores, como es el caso de la Gobernación del Valle, la Alcaldía de Santiago de Cali, INDERVALLE, Grupo Éxito, Almacenes la 14, Banco de Occidente, Davivienda, Banco AV Villas, Clínica de Occidente, Fundación Valle del Lili, Tecnoquímicas, entre otras. Así, por ejemplo, para el año 2017 la oferta de formación titulada⁴ del CGTS alcanzó un total de 19.000 cupos distribuidos en programas del sector servicios en un 71,1%, Comercio en un 15,5%, Salud en un 5,87%, Hotelería y turismo en un 5,27% y Transporte en un 2,26%.

Además de la formación profesional integral (FPI), servicio certificado bajo las normas NTC ISO 9001/2015 y NTC ISO 14001/2015, el CGTS ofrece otros servicios a la comunidad, que también se encuentran certificados, como son la asesoría para la creación de empresas, la evaluación y certificación de competencias laborales, la asesoría para el crecimiento y escalabilidad empresarial, la normalización de competencias laborales y programas de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico.

En términos de las capacidades con las que cuenta el centro de formación, en la Tabla 1, se describen los recursos más relevantes que conforman cada una de las dimensiones de análisis interno, bajo las cuales se realizó la identificación de debilidades y fortalezas.

Tabla 1.

Identificación de capacidades para el CGTS

Formación	Redes Tecnológicas de mayor impacto: 1. Gestión administrativa y servicios financieros. 2. Ventas y comercialización 3. Logística Gestión de la producción 4. Salud 5. Hotelería, turismo y gastronomía 6. Actividad física, deporte y recreación 7. Ambiental 8. Servicios personales Programas de formación 28 programas de formación de nivel tecnológico (registro calificado) 8 programas de formación de especialización tecnológica (registro calificado) 26 programas de formación de nivel técnico laboral
Recurso humano	112 funcionarios de planta 261 contratistas En su conjunto suman 243 instructores que orientan la formación de los programas que oferta el centro y 70 administrativos que brindan apoyo a los procesos paralelos a la formación 7 trabajadores oficiales (mantenimiento)
Infraestructura	16 laboratorios - Ambientes simulación 129 Ambientes de Formación (distribuidos en tres sedes) 5 Ambientes deportivos

⁴ La formación titulada es la formación que oferta el SENA en los niveles operativo, técnico o tecnológico. Se divide en dos etapas la lectiva y la productiva. Las herramientas que se emplean son las virtuales y presenciales y de más medios de complementación

Continuación Tabla 1.

Otras áreas de impacto	Mesa Sectorial: El Centro de formación cuenta con la secretaría técnica de la mesa sectorial de Servicios Personales Investigación: 1 grupo de investigación 10 Semilleros 25 personas asociadas a procesos de investigación 18 proyectos de investigación (2018) Evaluación y certificación de competencias laborales 10 áreas de conocimiento 20 competencias 3018 certificados (2017)
------------------------	---

Fuente: Elaboración propia. Información de coordinaciones misional y académicas del CGTS, 2017

Por otro lado, teniendo en cuenta las respuestas obtenidas a partir de la encuesta tipo Delphi aplicada a expertos temáticos en cada red de conocimiento, en la que se indagó sobre los limitantes o potencialidades del CGTS con respecto a la formación, se logró evidenciar que aun cuando se programa con un año de anticipación los programas a ofertar y teniendo en cuenta la demanda del momento por parte de las empresas y la matriz de pertinencia, los instructores que imparten formación identifican que hay programas que no se deben ofertar ya que presentan muy baja demanda por parte de los aprendices o hay un alto índice de deserción. A su vez, se evidencia como prioridad actualizar algunos programas ya que el currículo no está vigente en relación con los lineamientos político legal vigentes.

También se identifica por parte de los expertos temáticos, la necesidad de implementar algunas mejoras a los

ambientes con el fin de optimizar el proceso de formación y que se pudieran tener en cuenta en la remodelación de la infraestructura del centro de formación. En este sentido coinciden en la importancia de “Convertir los ambientes en laboratorios reales de aprendizaje donde se pueda simular y aplicar los conocimientos adquiridos en la formación - aprender haciendo”. Así mismo concuerdan en que, aunque ha habido actualización de los ambientes, aún hay falencias que hay que resolver en temas como la conectividad de algunos equipos tecnológicos, sobre todo en ambientes situados en las sedes alquiladas.

• Análisis externo

En esta sección se presentan los aspectos que lograron identificarse a partir de la revisión de la literatura, como aquellos que pueden incidir directa o indirectamente en el desarrollo competitivo del centro. Dichos aspectos se especifican de acuerdo con el análisis del contexto externo realizado alrededor de las dimensiones económica, social-demográfica, político legal y ciencia, tecnología e innovación.

Dimensión económica

- Influencia de la entrada de las industrias 4.0 en los procesos productivos y en la tecnificación laboral. Su adaptación en las economías nacionales dependerá de la capacidad de cada nación para desarrollar e incorporar las Tecnológicas de la Información y Comunicación en sectores económicos que más aportan al crecimiento económico de las naciones (Novick, 2018).

- Gran participación del sector servicios en la economía nacional y local que puede potencializar el crecimiento económico de la región (CEPAL, 2015).
- Continua necesidad de recurso humano calificado (CEPAL, 2015), lo cual representa una oportunidad para las Instituciones de formación para el trabajo de competir y posicionarse.
- La población entre 15 y 24 años de la ciudad de Cali presentará un menor crecimiento para el 2035 (7%), en relación con otras ciudades (CEPAL, 2015) planteando retos en términos económicos, pues en un periodo de 20 años, ese bajo crecimiento, puede reflejarse es un envejecimiento poblacional y, por lo tanto, de la mano de obra.
- Mayor relevancia de habilidades cognitivas y sociales en el desarrollo de los diferentes procesos productivos – complemento de la formación con competencias transversales y habilidades blandas. Procesos sociales de aprendizaje (Novick, 2018).
- Baja incidencia de los acuerdos de paz en el crecimiento económico, ya que los beneficios van en vía directa con la implementación de las políticas nacionales en cuanto la reactivación del campo, del turismo y de la reincorporación de los excombatientes. (Ariza, 2018).
- En medio del posicionamiento de algunos subsectores y nuevas economías en el país, por la composición productiva de Cali y el Valle del Cauca y en últimas la

diversidad de sus recursos, el turismo, la gastronomía e industrias culturales representan grandes apuestas productivas – Cali, capital creativa de Colombia, sede del Consejo Nacional de Economía Naranja.

Dimensión Social Demográfica

- En el periodo 2010 – 2017 Colombia redujo sus niveles de pobreza multidimensional un 13,4% (DANE, 2018).
- Teniendo en cuenta las proyecciones del CENSO 2005 realizado por el DANE, el Valle del Cauca presenta una composición poblacional diversa, con altos porcentajes de población vulnerable. Las dinámicas del narcotráfico se alimentan de las problemáticas nacionales.
- El desarrollo turístico que se ha presentado en la región trae consigo el reto de involucrar a los reincorporados que hagan parte de las diferentes comunidades. Este reto generará, a mediano plazo un desarrollo en la reconstrucción del tejido social de las comunidades más afectadas.
- Baja capacidad estatal para disminuir brechas sociales en cuanto a acceso a servicios básicos y trabajo formal (Cagiao *et al.*, 2018).
- Cobertura en materia de educación media y superior, con un 17% y un 27% respectivamente.

Dimensión Político Legal

- Respaldo legal a la formación para el trabajo como aspecto relevante en el

desarrollo social y económico de una sociedad.

- Recomendación 195/2004 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT)
- Constitución Política de Colombia Art 54 “empleadores deberán ofrecer formación y habilitación profesional y técnica a quienes lo requieran”
- Ley de Educación Superior (Ley 115 de 1994) Art 36. Educación no formal

Dimensión Tecnológica

- La capacidad de las naciones para innovar está aumentando, aunque pocos han logrado traducir estas inversiones en un impacto económico o social significativo.
- Las patentes están disminuyendo ya que la transformación actual se nutre de un tipo distinto de innovación, cada vez más basado en las tecnologías digitales y en los nuevos modelos de negocio que estas permiten (Foro Económico Mundial, 2016).
- Evidente brecha de infraestructura de TIC frente a países de la región y de otros continentes.
- Aunque se cuenta con las instituciones para promover la Ciencia Tecnología e Innovación (CTeI), el sistema aún tiene deficiencias para promover una sociedad del conocimiento en el país, lo que lo hace vulnerable a continuar rezagado tecnológicamente.
- Baja inversión en Investigación y Desarrollo a nivel nacional. Mientras en el año 2014 se logró una inversión del 0.308% del PIB, para el 2017 sólo

alcanzó una inversión del 0,244% del PIB (Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, 2017).

• Análisis DOFA

Como resultado del análisis interno y externo del centro de formación se lograron identificar una serie de amenazas, oportunidades, debilidades y fortalezas que giraron en torno a factores como la formación, las redes de conocimiento, los aprendices, los recursos humanos, el sector productivo (empresas), la internacionalización y la generación de alianzas. Después de priorizadas las amenazas, oportunidades, debilidades y fortalezas, se realizó el cruce de estas permitiendo establecer una serie de estrategias que resultaron en cinco potencialidades (derivadas del cruce de fortalezas y oportunidades), tres estrategias para prevenir los riesgos (fortalezas y amenazas), siete estrategias para superar las limitaciones (debilidades y amenazas) y siete estrategias que permitirán al centro acercarse al logro de sus principales desafíos (debilidades y oportunidades).

Tabla 2.
Estrategias cruce DOFA

Potencialidades	EP1: Diseñar un sistema de vigilancia competitiva articulado a los clústeres de la agenda de competitividad del Valle del Cauca para establecer demandas reales en materia de formación y actualización del talento humano de las entidades que lideran los sectores de economía de la Región. EP2: Creación de escenarios de dialogo técnico entre instructores, empresarios y académicos del Sector. EP3: Gestionar nuevas alianzas con los sectores productivos de la Región. EP4: Orientar proyectos formativos de acuerdo con la política de economía de naranja y otras iniciativas del gobierno (industrias 4.0, transformación cultural y transformación digital). EP5: Gestionar proyectos de transferencia internacional de acuerdo con las especialidades de formación. (complementar con actualización de instructores y proyectos).
Riesgos	ER1: Fomentar la implementación de proyectos de investigación que promuevan el componente de internacionalización en todas las redes de conocimiento, vinculando al sector productivo ER2: Crear espacios para encuentros con el sector productivo, las entidades territoriales y los equipos técnico pedagógico de cada red de conocimiento para retroalimentar procesos actuales, tendencias y oportunidades de proyectos con el sector productivo (congreso, seminarios, investigación, foros), liderados por el SENA. ER3: Conformación de equipos técnico-pedagógicos con asignación de tiempo y recursos disponibles para adelantar acciones relacionadas con el aseguramiento de la calidad.
Desafíos	ED1. Mayor participación de los instructores adscritos al centro en el diseño curricular por red de conocimiento ED2. Gestionar por diferentes fuentes, recursos que permita la modernización y actualización tecnológica del centro con ambientes y laboratorios dotados con equipos y tecnológicas apropiadas a cada programa de formación ED3. Fortalecer el quehacer pedagógico de los instructores y disminuir las cargas de procesos administrativos, recuperando los espacios de desarrollo curricular. ED4. Optimizar un plan de contratación de personal administrativo para atender los procesos académicos del centro acorde a las metas. ED5. Promover actividades para el egresado que permitan conocer su experiencia, necesidades de formación y construir una base de datos. ED6. Implementación de indicadores de gestión que permitan medir el impacto y percepción del sector productivo, con respecto a la calidad de los egresados de los diferentes programas de formación de nuestro Centro. ED7: Diseñar e implementar una estrategia de seguimiento a las condiciones de empleabilidad y desempeño de los egresados del Centro.

Continuación Tabla 2.

Limitaciones	EL1: Brindar incentivos como reconocimiento de horas directas y participación en espacios de capacitación en temas de investigación e innovación a instructores de planta y contratistas que fomenten la creación de semilleros e investigación aplicada. EL2: Reconocer espacios de formación y actualización a través de la ENI a los instructores contratistas que permitan cualificar sus conocimientos y estar a la vanguardia de los cambios del sector real. EL3: Identificar y actualizar periódicamente las herramientas tecnológicas (software y hardware) utilizadas en el proceso de formación en el Centro para garantizar su buen funcionamiento y pertinencia. EL4: Formular e implementar indicadores que permitan establecer la utilización de las herramientas tecnológicas con las cuales cuenta la institución y específicamente el centro de formación, destacando entre ellas los ambientes de simulación (laboratorios). EL5: Plantear un programa de difusión y sensibilización para generar conciencia en la comunidad educativa sobre la importancia del uso de las herramientas tecnológicas con las cuales cuenta el centro de formación. EL6: Generación de un programa de bienestar para el aprendiz, que tenga un desempeño medible y efectivo, para garantizar una mayor tasa de permanencia por parte de los aprendices del centro de formación. EL7: Promover proyectos de modernización de los ambientes de formación, que se ajusten a los requerimientos del ministerio de educación para la obtención de los registros calificados.
--------------	---

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis DOFA

• **Vigilancia Tecnológica**

El CGTS, es un centro de formación con amplia oferta educativa en diversos sectores productivos, razón por la cual, como se evidenció en el análisis interno, se encuentra vinculado a nueve redes de conocimiento. Esto implica que el espectro de vigilancia es amplio y complejo, por lo que la vigilancia científica y tecnológica se delimitó en redes de conocimiento, a la luz del planteamiento de focos de vigilancia establecidos a raíz de la identificación de necesidades y fuentes de información relevantes.

Dicho de otra forma, se determinó realizar la vigilancia por red de conocimiento, donde los expertos temáticos definieron cuatro focos de vigilancia a los programas

de formación incluidos en cada red y cuya trazabilidad quedó registrada en una bitácora de búsqueda.

Tabla 3.

Focos de vigilancia científico-tecnológica por red de conocimiento.

Red de conocimiento	Focos de vigilancia
Comercio y Ventas	Servicio al cliente
	Contact center
	Marketing digital
	Neuromarketing

Continuación Tabla 3.

Gestión Administrativa y Financiera	Habilidades blandas
	Asesoría y consultoría
	Gestión del conocimiento
	Vigilancia tecnológica
Gestión Logística Gestión de la Producción	Plataforma tecnológica
	e- commerce
	Distribución y transporte: multimodal intermodal
	Implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo en pymes
Actividad Física, recreación y deporte	Implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo en pymes
	Fuerza muscular
	Contracción Muscular
	Test deportivos
Salud	Entrenamiento deportivo
	Rendimiento deportivo
	Equipos deportivos
	Entrenadores personales
Salud	Sistemas de información en salud
	Gestión del riesgo en salud
	Tecnologías de información en salud
	Tendencias en Farmacoterapia
	Automatización de farmacias
	Servicio al cliente en turismo

Hotelería y Turismo	Turismo ecológico
	Gastronomía y turismo
	Tendencias en turismo
	Minería de datos
Ambiental	Gestión Ambiental
	Desarrollo Sostenible
	Desastres Causados por el Hombre
	Contaminación atmosférica
Servicios Personales	Colores Desgastados
	Salud Capilar
	BOTOX
	Uñas artificiales
	Cosméticos y cosmetología

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la vigilancia científico-tecnológica, en cada una de las redes señaladas, permitieron identificar las tendencias de mayor potencial para el centro de formación CGTS, convirtiéndose en el principal insumo para establecer los direccionadores de desarrollo, las áreas y líneas tecnológicas que componen el mapa de trayectoria tecnológica a través de cual se trazan las rutas para promover y acelerar la transferencia tecnológica y la incorporación de nuevas tecnologías en los procesos que comprenden la misión del centro de formación.

Así, se encontró que los temas que están ejerciendo mayor influencia en las tendencias investigativas giran alrededor del desarrollo e implementación de la industria 4.0 a través de las crecientes economías digitales y la poten-

cialidad que representan las economías creativas, sin dejar de lado los desafíos como el uso eficiente de los recursos, la optimización del uso de la energía, los nuevos modelos de producción y el cambio demográfico como también lo sustenta Rojas y Rodríguez (2019).

Bajo estos referentes, se establecieron entonces como principales direccionadores de desarrollo las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), la ciencia y tecnologías digitales aplicadas, la gestión del conocimiento y la innovación, el desarrollo sostenible, ambiental, sociocultural y económico, la gestión clínica, y la gestión de procesos y productos. En este sentido, en el CGTS que es considerado un centro con fortaleza en tecnologías blandas, se proyecta la inclusión de la industria 4.0 como herramienta primordial en la formación, la investigación y la prestación de servicios a las empresas.

• Vigilancia competitiva

La vigilancia competitiva hace referencia a la revisión de las capacidades de empresas clientes y proveedores, competencia, productos, tecnologías, mercados, reglamentaciones, oportunidades comerciales, entre otras, que pueden ser tomadas como referentes debido a su mayor desarrollo. En este ejercicio, se determinó realizar la vigilancia por red de conocimiento, donde los expertos temáticos tomaron como referente instituciones similares al SENA en Colombia y a nivel internacional, que puedan ser vistas como competidoras.

Esta búsqueda se centró en instituciones consideradas fuentes nacionales e internacionales de referencia, para poder identificar el entorno organizacional y tecnológico en el que se desenvuelven. Se realizó la búsqueda

para conocer la oferta de instituciones de educación superior y del Sena, relacionadas con las tecnologías del centro. Sin embargo, las instituciones no cubren la totalidad de los programas que maneja el Centro CGTS, por lo que se seleccionaron las instituciones que cubrieran la mayor cantidad posible de programas por cada red de conocimiento.

Tabla 4.
Instituciones referentes para vigilancia competitiva por red de conocimiento

Red de conocimiento	Institución referente Internacional	Institución referente Nacional
Comercio y Ventas		
Gestión Administrativa y Financiera		
Logística y Gestión de la Producción		 
Ambiental		
Salud		
Hotelería y Turismo		
Actividad Física, recreación y deporte		
Servicios Personales		

Fuente: elaboración propia

Como resultado de la vigilancia competitiva realizada en cada una de las redes, se identificaron similitudes y brechas respecto al que hacer del centro de formación en comparación con sus homólogos nacionales e internacionales. Estas últimas en materia de desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, metodologías pedagógicas y de aprendizaje, servicios que complementan la formación, como educación continua y respaldo de universidades reconocidas para realizar cadena de formación, al mismo tiempo que la existencia de fuertes alianzas estratégicas con otras instituciones y organizaciones del sector productivo.

La identificación explícita de estas brechas frente a las instituciones referentes permitió establecer una serie de líneas estratégicas de acción sostenida con miras al cierre de las mismas. Estas estrategias tienen que ver con el fortalecimiento en tres direcciones: la formación, las alianzas estratégicas y la modernización.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la importancia de construir visiones de largo plazo, orientadas a prever acontecimientos que puedan representar grandes oportunidades de mejora sostenibles en el tiempo o riesgos que puedan afectar el funcionamiento eficiente y eficaz de una organización, este ejercicio permitió establecer un diagnóstico estratégico como primera medida de dicha construcción de visiones de largo plazo para el CGTS como centro de formación para el trabajo.

En este sentido, la aplicación de métodos de prospectiva en la realización de este diagnóstico amplió el campo de análisis tanto a nivel interno como externo con el fin de lograr articular las capacidades propias del centro de formación con las que está generando el contexto. A su vez permitió establecer como factores de cambio a incluir en la construcción de escenarios futuros, el comportamiento económico, los aspectos sociales y demográficos, las políticas públicas y leyes alrededor de la misión del centro de formación y los aspectos relacionados con la tecnología y la innovación.

Como una de las principales conclusiones el ejercicio permitió reflexionar sobre la necesidad de establecer una línea medular transversal que integre las diferentes redes de conocimiento, así como las áreas temáticas que las integran, concluyendo que los “SERVICIOS” debe ser ese eje transversal integrador. Los servicios entendidos como un eje transversal que permita direccionar las estrategias de acercamiento con los empresarios, definir la oferta de productos y servicios a la comunidad y al sector empresarial desde el concepto de producción de centro, direccionar los proyectos de investigación y la modernización tecnológica y física e inclusive los perfiles de personal administrativo y de instructores.

También se concluye sobre la necesidad de concretar la acción del centro en menos redes de conocimiento y por lo tanto abordar la posibilidad de renunciar a algunos de los programas ofertados desde el centro. De hecho, los resultados tempranos del

ejercicio de Plan Tecnológico 2019 - 2029 dejan insumos como la propuesta por parte de los expertos temáticos sobre cuales programas abandonar, modificar o incluir.

Por último, a partir de la vigilancia competitiva y el análisis DOFA se logra evidenciar tres factores a intervenir y sobre los cuales se generan algunas estrategias, estos son: la formación, la modernización y las alianzas estratégicas. A continuación, se relacionan algunas de las recomendaciones a tener en cuenta en la planeación estratégica del centro de formación con miras a reducir brechas y que resultaron del ejercicio aquí presentado:

- Establecer un banco de propuestas de investigación, docencia y desarrollo profesional.
- Fortalecer la investigación aplicada desde los aprendices a través de los proyectos formativos.
- Revisión y actualización de los programas de formación ofertados de acuerdo con la demanda social y productiva de la región y las tendencias
- Retomar formación dual en convenio con las instituciones de salud, realizándola 100% en las entidades hospitalarias.
- Institucionalizar un día al mes donde cada especialidad haga la presentación de los avances, desafíos, problemas e innovaciones que aparecen y su aplicabilidad en el programa. (Actualización tecnológica mensual)
- Articulación del desarrollo curricular con las necesidades

reales y potenciales del Sector.

- Crear laboratorios de investigación aplicada y modernizar ambientes de formación con tecnología.
- Creación de un comité de Ética único, que puede ser liderado desde la red de Salud y con representantes de las cinco principales regionales del país.
- Fortalecimiento de las relaciones internacionales para permitir el intercambio y modalidad de los diferentes miembros de la comunidad educativa.

REFERENCIAS

- Ariza, E. (2018). Análisis de los efectos económicos en Colombia por la implementación de un acuerdo de paz con la guerrilla de las FARC. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10596/18135>
- Bitar, S. (2014). Las tendencias mundiales y el futuro de América Latina.
- Cajiao, A., González, P., Pardo, D., & Zapata, O. (2018). *Una aproximación al crimen transnacional organizado: redes de narcotráfico Colombia-España*. Fundación Ideas para la Paz.
- CEPAL. (2015). *Políticas sociales diferenciada para las ciudades en Colombia*. Bogotá: CEPAL.
- DANE. (2018). *Boletín técnico. Pobreza monetaria y pobreza multidimensional en Colombia año 2017*. Bogotá: DANE.

FORO ECONÓMICO MUNDIAL, (2016). *Global Information Technology Report (Informe Mundial sobre la Tecnología de la Información)*. Tomado de: http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/WEF_GITR_Full_Report.pdf

Martin, Ben R. (2001) "Matching Societal Needs and Technological Capabilities: Research Foresight and the Implications for Social Sciences" SPRU. University of Sussex. *Chapter 11 of Social Sciences and Innovation*, OECD Proceedings; Paris: 2001, 105-115.

Máttar, J., & Cuervo González, L. M. (2016). *Planificación y prospectiva para la construcción de futuro en América latina y el Caribe*. Textos seleccionados 2013-2016. CEPAL.

Medina, J. & Ortegon, E., (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina*. Santiago de Chile, Chile: Naciones Unidas

Novick, M. (2018). El mundo del trabajo. Cambios y desafíos en materia de inclusión. *Serie Políticas Sociales* N° 28, 1-50.

OBSERVATORIO COLOMBIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, (2017). *Indicadores de Inversión en Investigación y Desarrollo*. Consultado en: <http://www.portafolio.co/economia/los-indicadores-de-inversion-en-investigacion-desarrollo-su-medicion-y-resultados-517555>

Rojas, F. E., & Rodriguez, N. Y. (2019). El panorama de la industria 4.0 en el marco

de la formación profesional del talento humano en salud. *REDIIS/Revista de Investigación e Innovación en Salud*, N°2, 99-111. Obtenido de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rediis/article/view/2081>

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (2017). *Guía metodológica para la formulación y/o actualización de los planes tecnológicos de centros de formación*.



MEDIO AMBIENTE

Implementación de un sistema natural para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Estudio de caso para una institución educativa del municipio de Malambo - Colombia.

Implementation of a natural system for wastewater treatment in rural areas. Case study for an educational institution in the municipality of Malambo - Colombia.

doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.2382>

Recibido: 7.09.2019 Aceptado: 27.11.2020

José José Palacin Salcedo
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
josepalacin@misena.edu.co
Colombia

Jorge Luis Tanus
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
jltanus@misena.edu.co
Colombia

Iván David López Hoyos
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
idoopez81@misena.edu.co
Colombia

Cómo Citar:

Palacin, J., Tanus, J., López, I. (2020) Implementación de un sistema natural para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Estudio de caso para una institución educativa del municipio de Malambo - Colombia. Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 5 (1), 92-103. doi: <http://doi.org/10.23850/23899573.2382>

RESUMEN

La presión que sufren los recursos hídricos ha generado una problemática muy amplia y compleja en todo el mundo. Los ecosistemas acuáticos han sido severamente afectados como consecuencia del estrés impuesto de forma directa o producida por las actividades antrópicas, lo que conlleva a consecuencias graves para la salud humana y el desarrollo económico. Esta afectación económica y social se da principalmente en las poblaciones más marginadas, sobre todo en aquellas que viven en zonas suburbanas o en aquellas zonas rurales que dependen directamente del consumo de agua de fuentes cercanas. Por esta razón, es prioritario que se investiguen nuevas tecnologías sostenibles o apropiadas de bajo costo que puedan influir en el desarrollo de la comunidad, estimulando los procesos de participación, aumentando los conocimientos técnicos de sus miembros y creando el sentimiento de apoderamiento de la tecnología, dando lugar a un mayor interés en su mantenimiento. Por esta razón, en el presente trabajo de investigación se empleó como ejemplo de tecnología de tratamiento los sistemas basados en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal (HC-FSSH) como alternativa natural para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales del municipio de Malambo, Atlántico. Estos sistemas, a lo largo de este estudio, demostraron ser eficientes para la remoción de materia orgánica y nutrientes, por lo que pueden constituirse en una estrategia para la mitigación de contaminantes en los principales afluentes de abastecimiento del municipio de Malambo.

Palabras Claves: *contaminación hídrica, reúso del agua, carga contaminante, salubridad, sostenibilidad ambiental.*

ABSTRACT

The pressure on water resources globally has generated a very broad and complex problem throughout the world. Aquatic ecosystems have been severely affected as a consequence of stress imposed directly or produced by anthropic activities. Which leads to serious consequences for human health and economic development. This economic and social impact occurs mainly in the most marginalized populations, especially in those who live in suburban areas or in those rural areas that depend directly on the consumption of water from nearby sources. For this reason, it is a priority to research new sustainable or appropriate, low-cost technologies that can influence the development of the community by stimulating participation processes, increasing the technical knowledge of its members and creating the feeling of ownership of technology, leading to increased interest in their maintenance. For this reason, in this research work, systems based on constructed horizontal subsurface flow wetlands (HC-FSSH) were used as an example of treatment technology, as a natural

alternative for wastewater treatment in rural areas of the Malambo municipality. - Atlantic. These systems throughout this study proved to be efficient for the removal of organic matter and nutrients, which is why they can become an alternative treatment for the mitigation of organic pollutants present in wastewater from small communities, as a strategy to reduce pollutants. in the main supply tributaries of the Malambo municipality.

Key words: *water pollution, water reuse, pollutant load, sanitation, environmental sustainability.*

INTRODUCCIÓN

El agua es indispensable para la vida, y el acceso a ella y al saneamiento no solo es un derecho humano sino que se considera un factor indispensable en cualquier análisis relacionado con la pobreza, pues un servicio inadecuado de agua y saneamiento aumenta los costos de subsistencia para la población más marginada, disminuyendo su potencial de ingresos y aumentando los riesgos para su vida. Más de 2.000 millones de personas en el mundo carecen de acceso a los servicios básicos de agua y saneamiento, asegura un informe mundial de la ONU sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWAP, 2019). De acuerdo con Bretas (2020), se estima que en América Latina menos del 28% del agua residual es tratada adecuadamente y muchos hogares, sobre todo en el medio rural, no están conectados a redes de drenaje, significando esto serios problemas ambientales y, por lo tanto, sociales y económicos en la región (Navarro, 2013).

Colombia posee 1.900 ciénagas con un área total de 478.418 ha, siendo el complejo cenagoso del río Magdalena el más importante, cubriendo unas 320.000

ha. Dentro de este complejo de ciénagas se encuentra la ciénaga de Malambo, que está ubicada en el departamento del Atlántico, con coordenadas geográficas 10°51'19" de latitud norte y a 74°45'23" de longitud oeste. Este recurso hídrico guarda un alto nivel de contaminación por la desembocadura del arroyo Caracolí, El Sapo y San Blas; sin embargo, es utilizada por la población de la zona para su consumo y llevar a cabo tareas domésticas (Meza, 2018).

El municipio de Malambo, como otros territorios del departamento del Atlántico, es vulnerable a la contaminación de las fuentes de agua debido a que presenta ciertas presiones que han ocasionado el deterioro de su ecosistema, como es el caso de la ciénaga de Malambo, que, debido a la sobrecarga de materia orgánica producida por los vertimientos de aguas residuales domésticas no tratadas, a la construcción de terraplenes sobre los canales de intercambio de agua, a las basuras y vertimientos que arrastran los arroyos temporales que desembocan en la ciénaga, ha visto disminuido su potencial de uso (CRA, 2012).

La contaminación del agua puede definirse como la alteración de sus condiciones naturales por la introducción

de sustancias, formas de energía o la combinación de ellas, que causen desequilibrio ecológico, por causas naturales o derivadas de la actividad humana que representa severos riesgos para los ecosistemas y la salud humana (Marrugo y Restrepo, 2014). Los ríos siempre han sido los más importantes recursos de agua dulce, y la mayoría de las actividades de desarrollo siguen siendo dependientes de ellos. Como ecosistemas, son intensamente modificados y contaminados por la actividad humana; los problemas de la calidad de sus aguas se han intensificado por el crecimiento de la población y la industria, además de cambios indiscriminados en el uso del suelo y la deforestación de sus riberas. Esto último incrementa la contaminación difusa, con la pérdida de la capa útil del suelo y la incorporación de fertilizantes químicos a las corrientes (Ramos y Aguilera, 2014). El agua contaminada es un vehículo importante para el transporte de patógenos, cada vez más resistentes a los antibióticos por el uso indiscriminado de estos y su presencia en el medio acuático (Ramos y Aguilera, 2014). Además de los contaminantes orgánicos persistentes, la presencia de productos de uso personal pone en la atención de académicos, políticos y público en general la seguridad química, indisolublemente ligada al desarrollo sostenible.

Para una gestión integral y sostenible del agua es fundamental tener en cuenta el reuso de aguas, que cuando se sustenta en el proceso de tratamiento, tiene como objetivo devolver al agua su calidad inicial de forma

parcial o total. Una vez las aguas son habilitadas, son especialmente indicadas para una gran variedad de usos industriales, agrícolas, domésticos y para la recarga de acuíferos. El reuso de aguas es una opción que ayuda a promover un uso sostenible del agua. Mediante la reutilización de agua se fomenta el uso racional del agua potable, diferenciando entre la calidad del agua necesaria para el consumo humano directo y la destinada para funciones de limpieza y transporte de residuo. En todo proyecto de reutilización de aguas se debe tener en cuenta los riesgos sanitarios para la salud pública, por este motivo es fundamental determinar los niveles de calidad adecuados para cada uso, así como el proceso de tratamiento para regenerar el agua con la finalidad de alcanzar los niveles de calidad establecidos previamente (García *et al.*, 2003).

Conciliar la aspiración a mejorar el bienestar de todos con el reconocimiento y respeto a los límites del entorno natural, de manera que se garantice su conservación, exige no solo un giro en los objetivos de esta política, sino un cambio en las escalas de valor y en la cultura que impregnan nuestra sociedad (Arrojo y Martínez, 1999; Arrojo, 2001). La llamada “Nueva Cultura del Agua” asume un nuevo enfoque holístico e integrador de valores en la gestión del agua. Este compromiso ético pasa por construir alternativas y ejemplos prácticos que se basen en la recuperación y conservación de los ecosistemas hídricos. En definitiva, se trata de vivir mejor con menos recursos, pero de mejor calidad y más equitativamente repartidos (Arrojo y Martínez, 1999; Arrojo, 2001; Grande *et al.*, 2001).

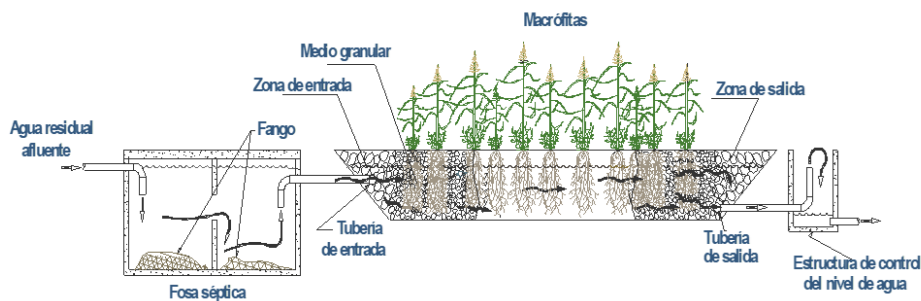


Figura 1. Diagrama de un humedal construido de flujo subsuperficial mostrando un tanque séptico como tratamiento primario y las estructuras de control del nivel del agua.

Fuente: Elaboración propia.

En entornos naturales, un conjunto de plantas, microorganismos, medio granular y agua residual constituyen el escenario donde se llevan a cabo los procesos de remoción de contaminantes. Los HC pueden ser de flujo superficial cuando el agua residual está en contacto con la atmósfera y de flujo subsuperficial si el agua circula por un manto de grava sin salir a la superficie. En los de flujo subsuperficial el caudal puede aplicarse en sentido vertical (desde arriba hacia abajo o viceversa) u horizontal (el agua circula horizontalmente desde una zona de entrada hasta una zona de salida). En la Figura 1 se pueden reconocer las estructuras típicas de un humedal construido de flujo horizontal.

La remoción de contaminantes en humedales construidos (HC) se atribuye a diferentes procesos, tanto bióticos como abióticos, que actúan simultáneamente e influyen unos en otros, por lo que resulta difícil la comprensión del sistema como un todo. Los mecanismos dependen considerablemente de las condiciones hidráulicas, el tipo y número de microorganismos presentes, las propiedades del agua que se trata y otras condiciones

ambientales. No obstante, predominan los procesos biológicos de remoción. Se considera también que las plantas juegan un papel positivo en el trabajo del humedal a través de diversos mecanismos de fitorremediación (Diordo *et al.*, 2011).

En varias regiones del mundo la aplicación de HC para mitigar el impacto por contaminantes en ríos y aguas superficiales ha revelado que el tratamiento de un río contaminado con HC debe focalizarse sobre la reducción de contaminantes de sus afluentes, precisamente en las tierras de inundación cerca de la confluencia de un afluente mayor (Zheng *et al.*, 2013). La aplicación de humedales construidos en países en vías de desarrollo con clima tropical se ha considerado una opción sostenible por las condiciones ambientales presentes que permiten una mayor actividad biológica y productiva que se ve reflejada en una mayor eficiencia en el tratamiento (Dong *et al.*, 2015).

En Taipei (China), Teng *et al.*, (2012) evaluaron los beneficios económicos y ambientales de un HC para tratar el agua municipal de una cuenca hidrográfica

urbana, concluyendo que los costos de dicha implementación estarían comprendidos entre 0.42 y 3.621 dólares por cada kg de DBO eliminada, mostrando un beneficio adicional sobre la recreación y educación ambiental respecto de un sistema convencional de tratamiento. Igualmente, en la China Central, como un estudio demostrativo, se evaluó el potencial ecológico de un HC para la restauración del río Jialu, considerando un área total de 7400 m², una carga hidráulica de 14 cm/d y una configuración que contempló plantas acuáticas emergentes, sumergidas y flotantes. Los resultados de este estudio revelaron eficiencias superiores al 70% en nutrientes y sólidos suspendidos, mejorando sustancialmente la calidad del agua (Wang *et al.*, 2012).

Las experiencias en Colombia han corroborado que los HC son una opción importante para considerar el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios en zonas con clima tropical, donde se pueden obtener buenas eficiencias por presentar condiciones propicias para una mayor actividad biológica y productividad en comparación con climas templados. Estos sistemas hoy en día resultan ser una alternativa adecuada para el tratamiento de aguas residuales en países en vías de desarrollo, ya que son de bajo costo de construcción, de fácil operación y requieren de poco mantenimiento. Además, estos sistemas no requieren del consumo de combustibles fósiles ni reactivos químicos para su operación, lo que aumenta su sustentabilidad.

El presente trabajo de investigación plantea el uso de los sistemas naturales

de tratamiento de aguas residuales de humedales construidos (HC) como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales del municipio de Malambo, Atlántico. El estudio consideró la conveniencia de analizar a escala de mesocosmos la eficacia de los humedales construidos como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales del municipio de Malambo. En este caso, se reporta información relevante sobre la remoción de un grupo de compuestos (DQO, PO₄, NO₂, NO₃ y NH₄), mediante sistemas de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal (HC-FSSH) en las instalaciones de la institución educativa Eva Rodríguez Araujo de Malambo.

MATERIALES Y MÉTODOS

• Área de estudio

El área de estudio seleccionada para este proyecto correspondió a la Institución Educativa Eva Rodríguez Araujo, localizada en el municipio de Malambo, Colombia, en las coordenadas geográficas 10°51'30" Norte y 74°46'40.00" Oeste, como se muestra en la Figura 2. Malambo es un municipio del departamento del Atlántico, de tierras planas regadas por el río Magdalena, en las cuales se practica la ganadería y la agricultura, representada en el cultivo del algodón, el arroz, el mijo y la yuca. Cuenta con temperaturas entre 32°C con precipitaciones en promedio de 30% y su sistema de saneamiento básico y servicio de agua están a cargo de la empresa Aguas de Malambo S.A. E.S.P.

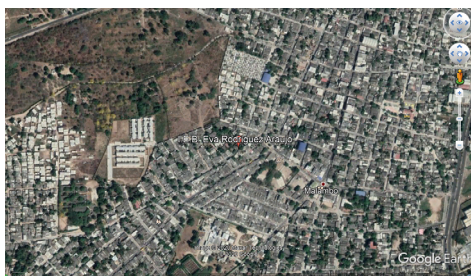


Figura 2. Localización del área de estudio

Diseño, montaje y operación del sistema

El diseño del sistema experimental consistió en dos humedales de flujo subsuperficial horizontal (HC-FSSH), consistente en tres contenedores plásticos de 0.02 m³ distribuidos en paralelo, tal y como lo muestra la Figura 3

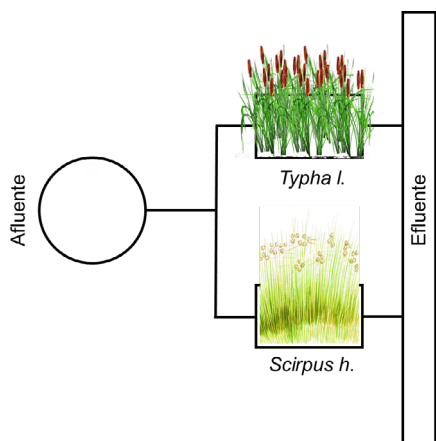


Figura 3. Diseño experimental con humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal

Los contenedores fueron rellenos con grava de río y plantados con *Scirpus holoschoenus* y *Typha latifolia*, las cuales fueron extraídas de áreas cercanas al área de estudio y transportadas hasta las instalaciones de la institución educativa para su aclimatación. Después de un mes de

adaptación y cuando las plantas adquirieron una altura de 0.30 m, fueron sembradas en los HC con una densidad de 8 plantas por humedal. In situ se midieron pH, temperatura (T °C) y turbiedad (UNF). El agua afluente con la materia orgánica y los nutrientes fue suministrada a los contenedores plásticos por gravedad desde un tanque plástico de 0.06 m³ de capacidad, mediante tubería PVC de 1/2 pulgada. Los sistemas fueron alimentados diariamente manejando caudales para mantener Tiempos de Residencia Hidráulica (TRH) de 1 y 3 días. En cada cambio de caudal se dejó un tiempo de adaptación y descanso para un período total de experimentación de 40 días. Esta campaña de muestreo fue repetida de forma idéntica para efectos de análisis de la eficiencia de tratamiento de materia orgánica y nutrientes. En el laboratorio se determinaron las concentraciones para la materia orgánica (DQO), nutrientes PO₄³⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ y NH₄⁺ de acuerdo con el Standard Methods (APHA, 2012), tanto en agua afluente como para cada uno de los efluentes. Las diferencias de los caudales de entrada y salida de los sistemas permitieron calcular la evapotranspiración, observada como la diferencia entre el agua de entrada y el de salida. El cálculo de las eficiencias de remoción se basó en la carga superficial de la materia orgánica expresada en mg m⁻² d⁻¹ para materia orgánica, nutrientes y sulfato.

Análisis estadístico de la información

La medición de la concentración de materia orgánica y nutrientes en agua afluente y efluente fue relacionada con los caudales medidos en la entrada y salida de cada humedal para establecer la carga superficial

de materia orgánica y nutrientes aplicada a los sistemas experimentales. Para determinar la influencia de las plantas, el TRH y el sustrato en la eliminación de materia orgánica y nutrientes se realizó un análisis de ANOVA factorial, corroborando la normalidad de los datos. La homogeneidad de varianzas se calculó a partir de cada combinación de tratamientos usando una prueba de rangos LSD a un nivel de significancia del 95%. Todos los análisis estadísticos fueron desarrollados usando el paquete estadístico STATISTICA 12 (Statsoft, US).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

• Influencia del tratamiento en algunos índices físico-químicos

Para ilustrar la efectividad general del sistema de tratamiento utilizado, en la Tabla 1 se describen los valores de pH,

turbiedad, temperatura, materia orgánica y nutrientes registrados en agua afluyente y efluente. Los resultados del ANOVA mostraron que tanto el sustrato como las plantas influyen significativamente en los valores de pH con tendencia hacia la neutralidad ($p=0.0345$ y $p=0.0000$). Este hecho resulta un factor importante para la degradación de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, ya que las bacterias trabajan a pH entre 6.5 y 7.5, y variaciones de este rango pueden detener su función en sistemas de HC-FSSH. Las variaciones de turbiedad estuvieron relacionadas con el tipo de planta y el TRH ($p=0.0476$).

Los análisis de ANOVA sobre la eficiencia de remoción de DQO demostraron que esta estuvo principalmente influenciada por la presencia de las plantas y por el TRH, no así por el sustrato. (Tabla 2).

Tabla 1.

Valores promedios de pH, T °C, Turbiedad, materia orgánica, nutrientes observados en los sistemas de HC-FSSH evaluados en este estudio. Nota: 1 y 3 corresponden a los TRH en días

Parámetro	Afluente	HC-FSSH <i>Scirpus h</i>		HC-FSSH <i>Typha l.</i>	
		TRH 1 día	TRH 3 días	TRH 1 día	TRH 3 días
pH	8.3	7.1	7.0	7.0	7.0
T °C	30.5	25.4	26.7	26.5	24.0
Turbiedad UNT	12.9	1.8	1.3	0.9	0.7
DQO mg L ⁻¹	500	300	80.8	70.2	45.1
PO ₄ ³⁻ mg L ⁻¹	10	7.0	2.2	1.8	2.0
NO ₂ ¹⁻ mg L ⁻¹	0.3	0.1	0.08	0.06	0.03
NO ₃ ¹⁻ mg L ⁻¹	5.2	3.8	3.1	2.7	2.1
NH ₄ ⁺ mg L ⁻¹	12	4.0	3.6	3.8	3.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.
Resultados del ANOVA ($p<0.05$) sobre los efectos de los factores (una vía) y sus interacciones (dos vías) sobre la eficiencia de eliminación de DQO. Diferencias estadísticamente significativas*

DQO	Sustrato	Tipo de planta empleada Plantas	TRH	Sustrato $\times$ Plantas	Sustrato $\times$ TRH	Plantas $\times$ TRH
	0.38506	0.0011*	0.0000	0.1000	0.3965	0.0058*

Fuente: Elaboración propia.

Las interacciones fueron observadas entre las plantas y el TRH. Así, las mayores eliminaciones se logran en presencia de plantas y altos TRH (Tabla 2). Es conocido que la eficiencia que la remoción de materia orgánica en humedales construidos mejora con largos TRH (Zhang *et al.*, 2012). Kadlec y Wallace (2009) consideran que TRH entre 3 y 10 días son razonables para alcanzar mayores eficiencias en sistemas de humedales construidos de flujo subsuperficial. De otra parte, la presencia de las plantas puede estar permitiendo un mayor crecimiento de la biopelícula en sus raíces, favoreciendo una mayor remoción.

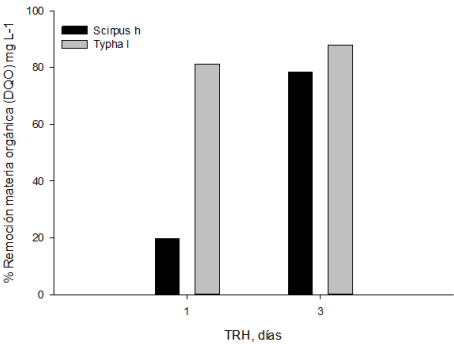


Figura 4. Eficiencia de remoción de materia orgánica (DQO) mg L-1 observada en el sistema de HC-FSSH operado a TRH de 1 y 3 días

No obstante, las distintas rutas (físicas y químicas) de degradación de la materia orgánica pueden llevarse a cabo aun en ausencia de plantas, dado que el medio granular actúa como un filtro que puede atrapar la materia orgánica (Kadlec y Wallace, 2009).

Fosfatos

Las mayores eficiencias de remoción ocurrieron cuando el sistema fue operado a TRH de tres días. Estos resultados pueden estar relacionados con los mecanismos de remoción del fósforo que imperan en estos sistemas, como la adsorción, absorción por la planta y la asimilación microbiana. Además, las macrófitas pueden ejercer una depuración directa por la absorción de iones contaminantes, tanto metales pesados como aniones eutrofizantes (nitratos y fosfatos principalmente) (Delgadillo, 2010).

Nitrato y nitrato.

El análisis de ANOVA de efectos principales indicó que en las variables TRH, las plantas inciden significativamente sobre la eficiencia de remoción de nitrato. Este hecho puede estar atribuido al

efecto de asimilación de nitrógeno por parte de las plantas, quienes asimilan las formas inorgánicas del nitrógeno para formar compuestos orgánicos nitrogenados estructurales de la planta. Además, el nitrógeno es un macronutriente indispensable para las plantas; cuanto mayor es la tasa de crecimiento de la planta mayor es la extracción de nitrógeno (Möller, 2009).

Las mayores eficiencias de remoción (>50%) observadas ocurrieron en los sistemas plantados con *Typha l.* cuando estos sistemas fueron operados con TRH de 3 días. La eficiencia de variación de NO_3 en las muestras de agua efluente de los HC evaluados puede estar relacionada con procesos de nitrificación, debido a las reacciones de oxidación realizada por las bacterias del género *Nitrobacter*, quienes oxidan el NO_2 a NO_3 , que luego es absorbido por las plantas para sintetizar sus proteínas por medio de la fotosíntesis (Travis, 2012).

Amonio

El análisis de ANOVA para efectos principales indicó que la eficiencia de remoción NH_4 para los HC-FSSH evaluados puede estar relacionado con la presencia de plantas y el TRH. Es bien sabido que la remoción del NH_4 en sistemas de HC plantados está atribuida a la incorporación de oxígeno atmosférico a través de las plantas, que es transferido por medio del aerénquima al sistema de raíces, lo cual crea una zona aerobia en la rizósfera (Lim *et al.*, 2001). Este proceso favorece significativamente la nitrificación, la cual

ocurre en la rizósfera aerobia, donde el N amoniacal es oxidado a nitrato, el cual a su vez puede ser asimilado directamente por la planta o difundido en las zonas reductoras para ser convertido a NO_2 y N_2 vía desnitrificación heterótrofa (Vymazal *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio demuestran, a manera de ejemplo, que el uso de sistemas HC-FSSH resulta ser eficiente para el tratamiento de aguas residuales, que puede ser adoptado por asentamientos de pequeñas comunidades en el municipio de Malambo como una alternativa para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes que afectan las fuentes de abastecimiento de este municipio.
- Las mayores remociones (> 85%) de materia orgánica en los sistemas de tratamiento estudiados se vio afectada por el tipo de planta utilizada (*T. latifolia*) y los mayores tiempos de retención hidráulico.
- El uso de plantas nativas como las evaluadas permiten demostrar que se adaptan con mucha más facilidad, lo que las hace idóneas para ser utilizadas a escala real y tratar aguas residuales con características similares. Lo expuesto es aplicable a otras regiones de Latinoamérica.

REFERENCIAS

- APHA (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 22nd Edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Arrojo, P. (coord.). (2001). *El Plan Hidrológico Nacional a debate*. Zaragoza: Fundación Nueva Cultura del Agua. 2001 [1a. ed.] Colección Nueva cultura del agua; 8. Obra coeditada por Bakeaz.
- Arrojo, P. Martínez, F.J. (coord.) (1999). *El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua*. 1er Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas. Institución Fernando el Católico, 1999 [1a. ed.].
- Camacho-Oviedo, H., Campos-Núñez, D., Mercado Martínez, I., Cubillán-Acosta, N., & Castellar-Ortega, G. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(1), 100-111. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
- Delgadillo, O. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (O. Delgadillo, Ed.).
- García, J. (2004). Humedales construidos para controlar la contaminación: perspectiva sobre una tecnología en expansión, pp. 7-16. En: García, J., Morató, J. & Bayona, JMa. Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. 1ª ed. Barcelona. Ediciones CPET.
- García, J., Vivar, J., Aromir, M., y Mujeriego, R. (2003). Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. *Wat. Res.*, 37, 2645-2653.
- Grande, N., Arrojo, P., y Martínez, F.J. (coord.) (2001). *Una cita europea con la nueva cultura del agua: perspectivas en Portugal y España / II Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas*. Institución "Fernando El Católico", 2001 [1a. ed.].
- Ghadouani A., y Coggins L., (2011). Science, technology and policy for Water Pollution Control at the Watershed Scale: Current issues and future challenges. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36, 9-11, 335-341.
- Kadlec, R.H. y S. D Wallace. (2009). *Treatment Wetlands*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1016 pp.
- Lim, P. E., Wong, T. F., & Lim, D. V. (2001). Oxygen demand, nitrogen and copper removal by free-water-surface and sub-surface-flow constructed wetlands under tropical conditions. *Environment International*, 26(5-6), 425-431. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00023-X)
- Marrugo, J.E., Restrepo, M. (2014). Hacia un contexto de las ciencias ambientales: Iberoamérica. Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental. Recuperado de <https://bit.ly/3mNaeCh>

- Möller, K., & Stinner, W. (2009). Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*, 30(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.06.003>
- Navarro Frometa AE. (2017). *Empleo de Marcadores Químicos para Evaluar Impactos Antrópicos en el Ambiente*. In 2017. www.revistas.unicordoba.edu.co
- Navarro A., Herrera J., Caso L., Marrugo J., (2013). Calidad del agua del río Nexapa: Tendencias espacio-temporales y sus implicaciones. En M. Ramos., V. Aguilera., (eds.). *Ciencias Naturales y Exactas, Handbook* -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, pp. 83-97.
- Navarro A., Marrugo J., Cid S., Caso L. (2010). Calidad del agua, trazadores químicos y nivel de urbanización. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Vol. 26, sup. 1, 258. Memorias del IX Congreso Internacional y XV Nacional de Ciencias Ambientales (CD-ROM), Chetumal, Quintana Roo.
- Pérez, A. Carrillo, M., y Magrinyá, F. (2003). “*Tecnología para el Desarrollo Humano. Agua e infraestructura*”. Ingeniería Sin Fronteras; 2003.
- Ramos, M., Aguilera, V.(2013). Ciencias Naturales y Exactas. Handbook T-I. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. Recuperado de <https://bit.ly/2Jj2oTi>
- Ramos, M., Aguilera, V.(2014). Ciencias Naturales y Exactas. Handbook T-II. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. Recuperado de <https://bit.ly/3mLyZPp>
- Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. *Environmental Science and Technology*, 45(1), 61–69. <https://doi.org/10.1021/es101403q>
- WWAP (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos). (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO.
- Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., ... Huang, H. (2013). Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12), 8472–8483. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1659-0>

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

La Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación acepta trabajos inéditos. Todos los manuscritos deberán prepararse con un procesador de texto del tipo Microsoft office Word, se utilizará el tipo de letra Times New Roman, tamaño 12, con un interlineado doble o 2.0.

La Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación promueve la revisión anónima a doble ciego, por tal motivo el artículo debe presentarse ante el comité editorial de la revista, sin nombres del colectivo de autores.

Toda la información relacionada con los autores, la filiación institucional, el correo electrónico y el autor para correspondencia, debe ser condensada y/o diligenciada en los respectivos metadatos de la plataforma OJS, Open Journal System de la Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Los capítulos o secciones del artículo, se detallan a continuación:

• **Formato general del trabajo**

Papel: Tamaño carta/ papel 21.59 cm x 27.94 cm (8 1/2" x 11")
Espaciado

Interlineado: 2.0 y texto alineado a la izquierda, sin justificar.

- Sin espacio entre párrafos

Márgenes: 2,54 cm/1 en toda la hoja

Sangría: Cinco espacios en la primera línea de cada párrafo

Tablas: Las tablas no tienen líneas separando las celdas

• **Título**

Título en el idioma del texto: debe ser representativo del contenido. No exceder de 15 palabras.

Título traducido: si el título indicado está en español o portugués se agregará una

traducción al idioma inglés. Si está en inglés se agregará una traducción al español o portugués.

- **Numeración de páginas**

Debe realizarse en la parte inferior centrada en Times New Roman, tamaño 10.

- **Resumen – Abstract**

Se debe condensar a manera de síntesis en un rango de 250 a 300 palabras, la información más relevante de la investigación (objetivo, metodología, resultados y conclusiones). En él se describe el tipo de información y puntos principales que se encuentra en el trabajo de investigación.

- **Palabras clave – keywords**

Identifican la temática desarrollada en el artículo sin repetir las palabras del título. Deben enunciarse entre cinco (5) y ocho (8), en español e inglés (Keywords). Se debe procurar que hagan referencia a los lineamientos de los Tesoros de la UNESCO.

- **Introducción**

Es la carta de presentación del artículo de investigación o review, en ella se provee información suficiente para que el lector entienda el fundamento racional del estudio, es decir, el contexto del cual surge la investigación. Finaliza con el planteamiento del objetivo de la investigación.

- **Materiales y métodos**

En este apartado se describe de manera sucinta cómo se hizo la investigación, el diseño del trabajo, la población o muestra y cómo se seleccionó, lugar y fechas inicial y final en que se realizó el estudio, así como los procedimientos, las variables y los métodos estadísticos utilizados para el análisis de los datos.

- **Resultados y discusión**

Aquí se enuncian los hallazgos y las observaciones más relevantes mediante la presentación de datos concretos. Se destacan aquí también, los resultados más novedosos, así como su significado contrastado y/o comparado con los hallazgos reportados de otras investigaciones.

- **Conclusiones**

Las conclusiones deben tener relación directa con el objetivo de la investigación y se exponen siempre respaldadas por los datos obtenidos. Se debe evitar incluir recomendaciones y finalmente, este apartado no aplica para los artículos de revisión o review.

- **Agradecimientos (opcional)**

Se debe mencionar a las personas e instituciones que han prestado asesoría técnica, científica o estadística a la investigación y las fuentes de financiación

• Referencias

La bibliografía debe citarse conforme se relacione con el cuerpo del documento, debe ir en orden alfabético y sin numeración alguna. Recuerde usar el estilo de la American Psychological Association (APA).

Ejemplos de referencias.

• *Libro*

Apellido, A. A. (Año). Título. Ciudad, País: Editorial.

Ejemplo:

Benitez, M. A. (2018). Electrones, neutrinos y quarks, Barranquilla, Colombia: Crítica.

• *Capítulo de un libro*

Apellido, A. A., y Apellido, B. B. (Año). Título del capítulo o la entrada. En A. A. Apellido. (Ed.), Título del libro (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

Ejemplo:

Benitez, M. A. (2018). Psychology of Liberation: Theory and applications. En J. L. Tapiero. (Ed.), Electrones, neutrinos y quarks (pp. 1-5). Barranquilla, Colombia: Crítica.

• *Artículos científicos*

Apellido, A. A., Apellido, B. B. y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen (número), pp-pp. doi: xx.xxxxxxx

Ejemplo:

Benitez, M. A. (2018). Psychology of Liberation: Theory and applications. Electrones, neutrinos y quarks, 2(1), 1-5. doi: <https://doi.org/10.23850/issn.2422-0582>

• *Periódico*

Apellido, A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico, pp. xx-xx

Ejemplo:

Benitez, M.A. (08 de febrero de 2018). Electrones, neutrinos y quarks. El Espectador, pp.1-2.

• *Tesis*

Autor, A., & Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Nombre de la institución, Lugar.

Ejemplo:

Benitez, M. A. & Tapiero, J. (2018). Electrones, neutrinos y quarks. (Tesis de maestría). Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.

• *Material electrónico*

Apellido, A. (Año de publicación). Título de la obra. Recuperado de: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Ejemplo:

Benitez, M.A. (2018). Electrones, neutrinos y quarks. Recuperado de: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia>.

• Tablas

Las tablas son un recurso que debe permitir que el lector comprenda de manera fácil los datos que se van a contrastar. Se numerarán en forma consecutiva y con números arábigos. Se hará referencia a ellas desde el texto (Tabla 1, Tabla 2, etc.). Cada tabla deberá tener su propio título en la parte superior y en la parte inferior la fuente (si es propia poner: Elaboración propia). En cada columna se indicará también el título de columna. Todas las tablas deben estar incluidas en el archivo de texto.

Tabla 1.

El título debe ser breve, pero claro y explicativo

Categoría	Categoría	Categoría	Categoría
Variable 1	xxxx	xxxxx	xxxx
Variable 2	xxxx	xxxx	xxxx
Variable 3	xxxxx	xxxx	xxxx

Fuente: Elaboración Propia

• Figuras

Todas las ilustraciones (fotografías, diagramas, gráficos, dibujos, mapas, etc.) se designarán con el término figura y serán numeradas consecutivamente con números arábigos. Se hará referencia a ellas desde el texto (Figura 1, Figura 2, etc.). Cada figura deberá tener su propio título en la parte inferior al igual que la fuente (si es propia poner: Elaboración propia). Todas las

figuras deben estar incluidas en el archivo de texto. Las imágenes y fotos se reciben en alta definición y se deben enviar en un archivo aparte al del artículo o subir como un archivo complementario en la plataforma Open Journal System.

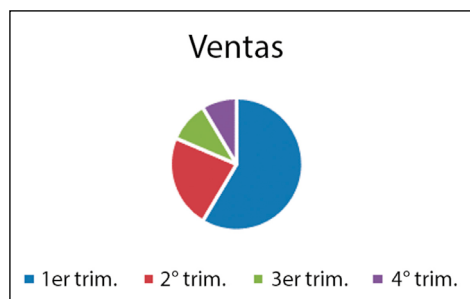


Figura 1. Título (Se debe indicar si la figura (imagen, gráfico) es propia o si se retomó de otra fuente. En caso de retomarse de otra fuente, se debe indicar autor, año y página (en la nota de figura) y posteriormente incluir la referencia completa en el apartado de referencias bibliográficas).

• Unidades de medida

Se usarán las unidades del sistema métrico internacional. Las unidades se indicarán con los símbolos aceptados por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (<http://www.bipm.org/en/bipm/>), por ejemplo: cm, m, h, g, kg (centímetro, metro, hora, gramo, kilogramo). Nótese que son símbolos y no abreviaturas, de modo que no terminan en punto.

• Envío de manuscritos

El envío de documentos es responsabi-

lidad del autor para correspondencia y se realiza exclusivamente a través de la plataforma Open Journal System. Los envíos deberán realizarse registrándose en la plataforma web y subiendo el artículo en .doc, según se indica en los pasos a seguir del sistema.

<http://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/about/submissions#onlineSubmissions>