



GIAA

Revista agropecuaria y
agroindustrial La Angostura

No. 5 • Año 5
diciembre de 2018
Huila, Colombia
ISSN: 2422-0493



SENNNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Tecnoparque
nodo La Angostura

Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

No. 5; Año 5. Diciembre de 2018. Huila, Colombia. ISSN: 2422-0493

Con el apoyo del Grupo de Investigación Agroindustrial La Angostura

DOI: <https://doi.org/10.23850/issn.2422-0493>

Director de la revista

Cándido Herrera González

cherrerag@sena.edu.co

Comité editorial y científico

Claudia Mercedes Ordóñez

Yuli Marcela Ordóñez

Jorge Mario Olivar

Carlos Alberto Cruz

Andrea Melisa Vásquez

Juan Esteban Luna

Jorge Mario Olivar

Coordinación editorial

Sílaba Editores SAS

Corrección de estilo

Rubelio López

Diseño y diagramación

Juan Carlos Vélez S.

Servicio Nacional de Aprendizaje

Directivos SENA

Carlos Mario Estrada Molina

Director General SENA

Farid de Jesús Figueroa Torres

Director de Formación Profesional

Emilio Eliécer Navia Zúñiga

Coordinador Grupo de Gestión Estratégica de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA)

Luis Alberto Tamayo Manrique

Director Regional - SENA Regional Huila

Cándido Herrera González

Subdirector - Centro de Formación Agroindustrial La Angostura SENA Regional Huila

Isaías Farfán Collazos

Coordinador Formación Profesional Centro de Formación Agroindustrial La Angostura SENA Regional Huila

Claudia Mercedes Ordoñez Espinosa

Líder SENNOVA, Líder grupo de investigación Agroindustrial

Distribución: gratuita

Revista anual

Fecha de publicación: diciembre de 2018

Todas las fotografías de la revista son de Harrinson Eduardo Castañeda

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

Tecnoparque nodo La Angostura

Dirección: Kilómetro 38 vía al sur de Neiva; Campoalegre (Huila).

Teléfonos.: (578) 8380191-8385060

Páginas web: <http://sena.edu.co/regionales-y-centros-de-formacion/zona-andina/Huila/Paginas/Huila.aspx>

<http://centroagroindustrial.blogspot.com>

Correo electrónico: angostura@sena.edu.co

Se autoriza la reproducción total o parcial de la obra para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

CONTENIDO

Editorial	4
Dinámica en la producción de compost con adición de microorganismos benéficos en un biorreactor <i>Dynamics in the production of compost with addition of beneficial microorganisms in a bioreactor</i> Girier Aranguren Silva, Julio César Hinojosa Bejarano	7
Análisis de índices de vegetación en el cultivo de arroz en la finca La Tebaida del municipio de Campoalegre <i>Analysis of vegetation indexes in rice cultivation on the farm La Tebaida of the municipality of Campoalegre</i> David Saavedra Mora, Arbey Cubillos Ortiz, Leidy Machado Cuellar, Valentín Murcia Torrejano, Diego Andrés Méndez Pastrana	19
Alternativa de alimentación en aves de postura con <i>Tephrosia Pupurea</i> (L.) Pers en el Centro de Formación Agroindustrial <i>Alternative feeding in laying birds with Tephrosia Pupurea (L.) Pers in Centro de Formación Agroindustrial</i> Daniel Fernando Ardila Ferro, Paula Alejandra Cubillos Villada, Óscar Ricardo Cano Ramírez, Laura Constanza Rojas Basto, Diego Orlando Grisales, David Saavedra Mora	30
Efecto de la adición de ácido cítrico sobre el desempeño productivo de lechones en la fase de lactancia <i>Effect of the addition of citric acid on the productive performance of piglets in the lactation phase</i> Rafael Andrés Contreras-Quintero, Daniel Eduardo Huertas-Montiel, Roberto Arturo Angulo-Aroyave, Andrés Felipe Gutiérrez-Giraldo	41
Spirulina en Colombia: una aproximación de su potencial según investigación internacional <i>Spirulina in colombia: an approximation of its potential according to international research</i> Sergio Andrés Orduz y Marcela Rey Arévalo, Torres Quitian, Carlos Martínez	49
Harina de subproductos de camarón como oportunidad de inclusión en dietas para alimentación animal <i>Shrimp subproduct meal as an opportunity to inclusion in diets for animal feed</i> Mike Douglas Sánchez Orozco, María Rosa Angarita Peñaranda, Diego Armando Ortiz Ortega, Luis Alberto Rosas	63



Laboratorio de química - Complejo de Ciencias Básicas en el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Regional Huila.

Editorial

AGROINDUSTRIA RESPONSABLE PARA ALIMENTAR EL MUNDO

La región Centro Sur, conformada por los departamentos del Tolima, Huila, Caquetá, Putumayo y Amazonas, se caracteriza por la biodiversidad y el gran potencial para la producción de alimentos. Según la FAO, el aseguramiento de las viandas para la nutrición de la población es una prioridad para satisfacer el hambre de más de 815 millones de personas, equivalente al 11% de la población mundial. Al ser Colombia uno de los países con la posibilidad de aportar a la superación de este déficit de seguridad alimentaria, el reto que se nos presenta requiere de un alto componente de audacia y proyección. El departamento del Huila al ser parte de esta región en la que predomina la producción de materias primas con escaso valor agregado, mínima planificación y baja adopción tecnológica, debe crear estrategias que busquen zanjar la brecha que nos separa de las dinámicas plausibles en la producción agroindustrial contemporánea.

Una de las entidades que ha asumido un decidido compromiso es el SENA, especialmente el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, quien ha definido para los próximos 10 años enfocar sus prioridades de formación profesional, innovación y desarrollo tecnológico a la agroindustria y la biotecnología. Son estas las claves para aprovechar las ventajas comparativas de nuestra región y así convertirnos en una potencia

alimentaria. Lo anterior, en concordancia con dos de las apuestas de mayor importancia priorizadas en el Plan regional de productividad y competitividad del Huila y que corresponden a la agroindustria de base tecnológica de cafés especiales, cacao, frutales, cereales, lácteos y cárnicos, caña – panela; y piscicultura.

Para coadyuvar con la implementación de la agroindustria en la Región, el Centro de Formación ha proyectado desde el año 2000, y con mayor énfasis desde el 2009, la atención prioritaria de este propósito de inobjetable pertinencia para generar valor agregado a la producción agropecuaria de los renglones productivos que se han listado líneas arriba. Es por eso que se ha definido la formación profesional con calidad y pertinencia, innovación y desarrollo tecnológico en el marco del programa SENNOVA, aunado al emprendimiento y el empresarismo.

Una articulación con todos los actores públicos y privados de los sectores productivos, y la consolidación de un Centro de Formación con una localización geoestratégica referente en la agroindustria alimentaria y no alimentaria, permite que podamos contribuir al avance y consolidación de la agroindustria como alternativa apropiada para el desarrollo productivo y competitivo de la región Centro Sur. Sin duda, estos han de ser aportes fundamentales para la consolidación de la paz.



Infraestructura tecnológica para la identificación de microorganismos con el que cuentan los laboratorios de Ciencias básicas del Centro de Formación Agroindustrial, Regional Huila.

DINÁMICA EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST CON ADICIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN UN BIORREACTOR

Girier Aranguren Silva
Investigador SENNOVA

Julio César Hinojosa Bejarano
Semillero de investigación Sembrando Futuro
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Regional Vichada
Correspondencia autores: gasilva7380@gmail.com

Resumen: El presente estudio ha evaluado la influencia y el efecto de los microorganismos benéficos sobre el tiempo de producción en el proceso de elaboración de compost a partir de residuos orgánicos en biorreactor, así como su calidad a partir de los parámetros establecidos por la Norma Técnica Colombiana 5167 para uso como biofertilizante. La metodología utilizada comprende un proceso aeróbico de mezclas orgánicas dispuestas dentro de compartimientos de un biorreactor ubicado en las instalaciones de la planta de aprovechamiento de residuos sólidos del municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia, tomando lecturas de las variables de temperatura y pH con una frecuencia de tres veces por semana. A su vez, se ha aplicado el tipo de investigación con ámbito experimental, con enfoque cuantitativo, de diseño experimental completamente aleatorio, con un control, dos tratamientos y tres repeticiones para cada uno. Los tratamientos fueron: microorganismos de origen comercial (T1) y microorganismos de origen casero (T2), ambos adicionados con residuos orgánicos, aserrín y estiércol de caballo. Las variables de respuesta son: temperatura, pH, contenido de humedad, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, relación C/N, densidad y bacterias patógenas. Los resultados indican que el tiempo promedio para la obtención de compost es de 44 días; entre tanto, existen diferencias significativas entre los grupos de datos provocadas por los estímulos aplicados, siendo aquel que contiene microorganismos benéficos caseros el que menor tiempo duró, requiriendo 40,7 días para la producción de compost. En relación con la calidad, el T2 fue el que presentó mejores resultados.

Palabras clave: Compost, microorganismos benéficos, pH, temperatura.

DYNAMICS IN THE PRODUCTION OF COMPOST WITH ADDITION OF BENEFICIAL MICROORGANISMS IN A BIOREACTOR

Abstract: The present study has evaluated the influence and effect of beneficial microorganisms in the production time in the process of preparing compost from organic waste in a bioreactor, as well as its quality from the parameters established by Colombian Technical Standard 5167 for use as biofertilizer. The methodology used includes an aerobic process of organics mixing arranged within compartments of a bioreactor located in the facilities of the solid waste management plant of the municipality of Puerto Carreño, Vichada, Colombia, taking readings of temperature variables and pH with a frequency of three times per week. Besides, there has being a type of research with experimental scope, with a quantitative approach, experimental design completely randomized, with one control, two treatments and three repetitions for each one. The treatments were: microorganisms of commercial origin (T1) and microorganisms of home origin (T2), both added to organic waste, sawdust and horse manure. The response variables are: temperature, pH, content of moisture, organic matter, organic carbon, total nitrogen, C / N ratio, density and pathogenic bacteria. The results indicate that the average time for obtaining compost is 44 days; meanwhile, there are significant differences between the data groups caused by the stimuli applied, being the one that contains homemade beneficial microorganisms that took less time, requiring 40.7 days for the production of compost. In relation to quality, T2 was the one that presented better results.

Keywords: Compost, temperature, pH, beneficial microorganisms.

Introducción

La gestión en el manejo y aprovechamiento de los residuos requiere cada vez más atención por la manera como su disposición final está afectando los recursos naturales y las comunidades que lo generan. Según Rondón *et al.* (2016) en América Latina y el Caribe el 80% de la población vive en áreas urbanas, y la tendencia es a seguir creciendo, lo cual implica la demanda de mayor capacidad institucional y económica para la atención de la gestión y manejo de los residuos sólidos; particularmente, en Colombia la generación per cápita de residuos urbanos es de 0,62 kg/hab/día. En Puerto Carreño, los residuos orgánicos representan en promedio un 33,3% del total de los residuos generados en el municipio (Alcaldía Municipal de Puerto Carreño, 2016).

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la falta de implementación del sistema de aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos domésticos y el desconocimiento local en la elaboración del compost y los beneficios como biofertilizante.

La investigación de esta problemática social, institucional y ambiental se realizó por el interés de plantear una alternativa para la solución al manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos, como un componente aprovechable para la producción de abono orgánico cuyo destino final puede ser el fortalecimiento de la agricultura urbana como una herramienta para mejorar la seguridad alimentaria en aquellas familias vulnerables de las zonas periurbanas de la ciudad.

La metodología utilizada son tres unidades experimentales, en las cuales se dispuso la mezcla homogénea de residuos orgánicos, tomando lectura de las variables de temperatura y pH con una frecuencia de tres veces por semana. Luego, en laboratorio se determinan las características físicas, químicas y microbiológicas, para hacer los respectivos análisis y discusiones.

Los objetivos de este trabajo de investigación son:

- Determinar el tiempo en la producción de compost en biorreactor para tres unidades experimentales: un control y dos tratamientos.
- Analizar la relación de las variables de temperatura y pH asociadas a la dinámica de transformación de residuos orgánicos en compost.
- Identificar indicadores físicos (MO y densidad real), químicos (relación C/N, N, C, y pH) y microbiológicos (poblaciones de hongos y bacterias) del compost obtenido.

Materiales y métodos

El lugar donde se ha realizado la investigación es el hangar de la planta de tratamiento de residuos sólidos, ubicado en las coordenadas geográficas N 6° 13'20,5" W 67° 32'25,9" en la vereda El Meroy del municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia. La fecha de la producción del compost es el período comprendido entre mediados del mes de marzo y mediados del mes de mayo de 2018.

Para cumplir los objetivos de este proyecto, se ha aplicado el tipo de investigación con ámbito experimental y con finalidad confirmatoria, a partir de resultados y observaciones obtenidos durante el seguimiento en campo y con los reportes de laboratorio (Münch y Ángeles, 2009). En tal sentido, corresponde a un experimento con enfoque cuantitativo, de diseño experimental com-

pletamente aleatorio, con un control, dos tratamientos y tres repeticiones, consistente en una mezcla homogénea de residuos orgánicos provenientes de frutas y verduras, con un peso de 330 kg distribuidos en tres unidades experimentales (compartimientos de un biorreactor) así:

Control: Mezcla homogénea de 75 kg de residuos orgánicos semi deshidratados a temperatura ambiente, con adición de 10 kg de aserrín para control de humedad, más 25 kg de estiércol de caballo; dispuesta en un compartimiento cuyo volumen es de 0,4 m³, el cual hace parte de un biorreactor plástico.

Tratamiento 1: Mezcla homogénea de 75 kg de residuos orgánicos semi deshidratados a temperatura ambiente, con adición de 10 kg de aserrín para control de humedad, más 25 kg de estiércol de caballo, y adición de una solución de 500 ml de microorganismos benéficos (*Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustris*) de origen comercial disueltos en 4,5 litros de agua. La mezcla se deposita en un compartimiento cuyo volumen es de 0,4 m³ que hace parte de un biorreactor plástico.

Tratamiento 2: Mezcla homogénea de 75 kg de residuos orgánicos semi deshidratados a temperatura ambiente, con adición de 10 kg de aserrín para control de humedad, más 25 kg de estiércol de caballo, y adición de una solución de 500 ml de microorganismos benéficos (*Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas* sp) de origen casero disueltos en 4,5 litros de agua. La mezcla se deposita en un compartimiento cuyo volumen es de 0,4 m³ que hace parte de un biorreactor plástico.

Durante la mitad del presente ejercicio de investigación, fue necesario aplicar agua a las unidades experimentales debido a la deshidratación presentada en los residuos, lo cual incidió en el aumento de la temperatura.

Tabla 1. Tratamientos utilizados

No.	Símbolo	Tratamiento	Dosis
1	T1	Microorganismos benéficos de origen comercial (<i>Lactobacillus</i> , <i>saccharomyces cerevisiae</i> - levadura, y <i>Rhodopseudomona palustris</i> - bacterias fotosintéticas)	500 ml / 4,5 l de agua
2	T2	Microorganismos benéficos de origen casero (<i>Lactobacillus</i> , <i>saccharomyces cerevisiae</i> - levadura, y <i>Rhodopseudomona</i> sp - bacterias fotosintéticas), más estiércol de ganado vacuno	500 ml / 4,5 l de agua
3	C	Sin aplicación - control	

Fuente: Elaboración propia.

Los residuos orgánicos corresponden a frutas y verduras recolectados en los mercados del centro de la ciudad. Fueron excluidos mediante clasificación o descontaminación aquellos inorgánicos o restos de madera y plásticos que tomen tiempo suficiente para su descomposición, actividad que fue realizada en el hangar de reciclaje.

Posteriormente, se efectúa el análisis de varianza (ANAVA) para hacer comparaciones entre la información obtenida durante el seguimiento a los tratamientos con ajuste al diseño experimental planteado, verificando si hay diferencia significativa entre las medias muestrales que se desean comparar, determinando la distancia de la media en un nivel de confianza dado (Zavala, 2013). También se comprueba si las medias de las muestras guardan relación entre sí mediante la Diferencia Honesta Significativa (DHS) de Tukey, la cual conduce a determinar si la diferencia de las medias de las muestras es estadísticamente significativa, que en términos estadísticos equivale a determinar el grado de asociación entre dos variables.

Para caracterizar los indicadores físicos, químicos y microbiológicos es necesaria la fase de laboratorio

a donde llegan las muestras para su posterior lectura sobre tales indicadores, las cuales se toman de manera aleatoria con un peso de 0,5 kg/tratamiento cuando el compost esté en su fase final de maduración, tomando partes tanto internas como externas, usando guantes para no contaminar el material.

Resultados y discusión

Este capítulo se divide en a) Análisis de Varianza para los días transcurridos hasta la obtención de compost; b) Análisis de temperatura para datos crudos; c) Análisis de pH para datos crudos; y d) Análisis de los indicadores químicos (relación C/N, materia orgánica, carbono orgánico, y nitrógeno total), físicos (densidad real y humedad), y microbiológicos (*Salmonella* sp, enterobacterias, y mesófilos aerobios) del compost obtenido.

Análisis de varianza para los días transcurridos hasta la obtención de compost

Los valores correspondientes a los días transcurridos hasta la obtención del producto se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Tiempo de obtención del compost para los tratamientos

Tratamientos		Repeticiones			Σ	Promedio (Días)
No.	SIMBOLO	I	II	III		
1	T1	42	42	45	129	43,0
2	T2	38	42	42	122	40,7
3	C	45	50	50	145	48,3
						44,0

Fuente: Tomado de las lecturas en campo (2018).

El tiempo promedio transcurrido hasta la obtención del compost es de 44 días. Aplicando el análisis de varianza, se establecen diferencias significativas entre las medias de los grupos de datos. El coeficiente de variación es de 5,23%, lo que les da alta confiabilidad a los

resultados obtenidos e indica que los datos varían poco respecto de la media aritmética dentro de los grupos de datos, es decir que los conjuntos de datos son homogéneos o no están dispersos (ver tabla 3).

Tabla 3. Análisis de Varianza y Coeficiente de Variación

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Coef. de variación
Entre grupos	92,67	2,00	46,33	8,34	0,02	5,14	
Dentro de los grupos	33,33	6,00	5,56				5,23
Total	126	8					

Fuente: Procesado por los autores en Microsoft Excel.

Por su parte, la prueba Tukey al 5% de significancia para los tratamientos durante la obtención del compost establece que hay diferencias significativas entre el control y los tratamientos, lo cual sugiere que los estímulos aplicados con microorganismos benéficos producen diferencias con incidencia específica para cada tratamiento (ver tabla 4).

Tabla 4. Prueba Tukey

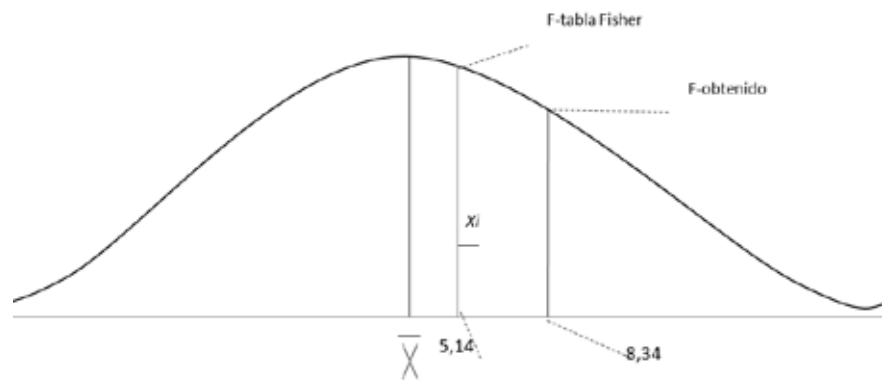
Test: Turkey Alfa=0,05 DMS=5,90490				
Error: 5,5556 gl: 6				
Tratam.	Medidas	n	E.E.	
Trat. 2	40,67	3	1,36	A
Trat. 1	43,00	3	1,36	A B
Control	46,67	3	1,36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05). Fuente: Procesado por los autores en Infostat.

Al comparar la razón F obtenida con la razón F de la tabla de valores de Fischer, se observa que la primera es mayor con respecto a la segunda, con un nivel de confianza de 0,02, evidenciándose un distanciamiento χ^2 , representando significancia entre tratamientos y control (ver figura 1).

De otra parte, durante la etapa de obtención del compost en sus diferentes fases, como mesófila, termófila, enfriamiento y maduración, el indicador de temperatura tuvo un comportamiento simétrico a una curva de distribución normal, con una ligera fluctuación intermedia debido al descenso atribuible a la pérdida acelerada de humedad por la temporada de verano, reportando similitud a lo indicado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (2013), para un proceso de com-

Figura 1. Comparación entre grupos de la razón obtenida vs la razón de la tabla de Fischer



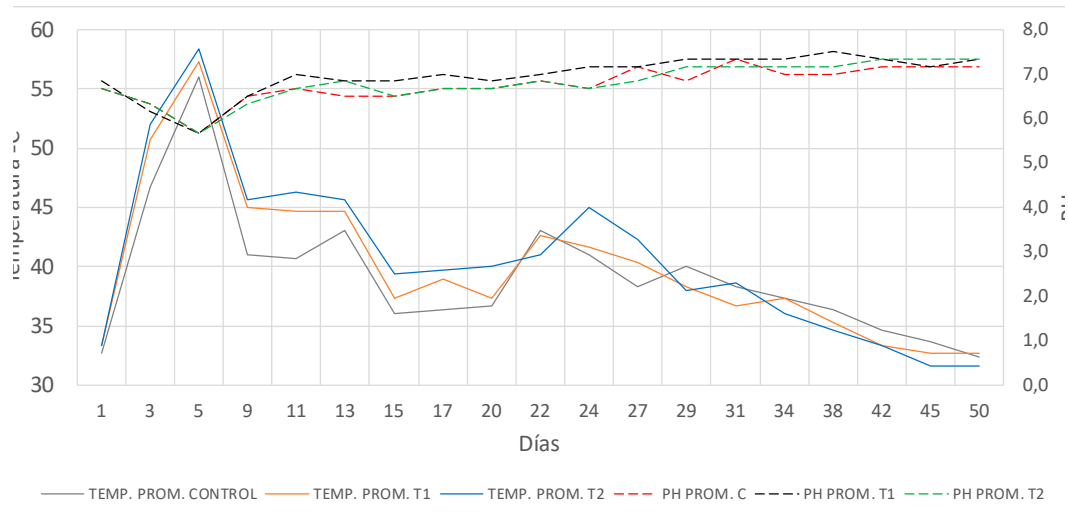
postaje en condiciones óptimas. El tiempo promedio de producción del compost fue de 44 días, guardando correlación con Bazán *et al.* (2018), al lograr un compost final y estable en un tiempo promedio de 56 días, a través de compostaje elaborado a partir de residuos de nopal (cactus) y estiércol de ganado. Estos tiempos son menores para la producción del producto mediante sistema abierto o pila natural, que toma en promedio seis meses de acuerdo a lo reportado por Sánchez de Pinto *et al.* (2013). Este resultado sugiere que el biorreactor mantiene la temperatura de manera homogénea en toda la mezcla, con la aireación adecuada requerida

en los procesos aeróbicos, propiciando que la actividad microbiana se multiplique rápidamente en la fase mesófila, incrementándose la temperatura en pocos días, generando ácidos orgánicos y causando la disminución del pH durante la fase mesófila.

Temperatura

La lectura de esta variable fue tomada desde el día 1 hasta el día 50 para cada uno de los tratamientos y el control, así como en las tres repeticiones. La figura 2 muestra el comportamiento de la temperatura durante el proceso de compostaje.

Figura 2. Evolución de las variables de Temperatura y pH



La curva del ejercicio presenta un comportamiento similar con respecto a la curva presentada durante un proceso de compostaje en condiciones controladas como lo mencionan Moreno y Mormeneo (2008), en el cual se cumplen las etapas mesotérmica 1, termogénica y mesotérmica 2. La dinámica asociada al aumento de temperatura es la presencia de compuestos solubles como azúcares y almidones, los cuales son digeribles fácilmente por los microorganismos presentes en residuos biodegradables provenientes de residuos verdes; también son digeribles fuentes complejas como la lignina y la celulosa, las cuales son consumidas en la fase termófila que también hace parte de los residuos de papel despigmentado; la temperatura se mantiene hasta que se agota dicha disponibilidad (Zhang y Sun, 2018). La figura 2 indica que la fuente de alimento digerible se agota en gran medida sobre el día 25, cuando la temperatura presenta un inicio de descenso uniforme; esta caída de calor también es atribuible a la deshidratación de los residuos, debido a la falta de riego inicial durante la temporada de verano. El comportamiento irregular de la temperatura permite inferir que, de acuerdo a la evolución de la misma, ha de calificarse cierta ineficiencia durante el ejercicio, pues no hay una relación directa entre los cambios de temperatura y la disponibilidad de alimento. Es importante resaltar que la mezcla utilizada en esta investigación está compuesta en su mayoría por restos de frutas y verduras, es decir, tiene un alto contenido de fuentes sencillas de N de fácil digestión (Soliva *et al.*, 2008), lo que permite realizar el proceso de forma más expedita por parte de los microorganismos.

El tratamiento 2 ha presentado lecturas con máximas inflexiones, alcanzando temperaturas de 58 °C y un descenso más rápido que las otras mezclas, situación que puede atribuirse al estímulo con microorganismos como *Lactobacillus*, levaduras y bacterias fotosintéticas, los cuales ayudan a otros microorganismos, como *Pseudomonaceae*, *Erythrobacteraceae*, y *Streptomyetaceae*,

desarrollados en la fase mesófila, y las actinobacterias, como *Thermoactinomyetaceae* y *Thermomonosporaceae*, propagadas en la fase termófila, a la digestión del material orgánico con moléculas complejas como celulosa, lignina, hemicelulosa y proteínas (Sánchez *et al.*, 2017). Los microorganismos adicionados como estímulos, también denominados microorganismos benéficos por tener bacterias y hongos de origen natural, actúan como aceleradores en la transformación de la materia orgánica, generándose competencia con otros microorganismos por la disponibilidad de alimento agotándose en menor tiempo, y obteniéndose como producto final el compost. En ese sentido, el Banco Interamericano de Desarrollo (2013) menciona que los microorganismos eficientes (EM) ocupan un lugar relevante dentro del proceso, además de evitar y neutralizar malos olores al transformar las sustancias que producen metano, ácido sulfhídrico y amoníaco en ácidos orgánicos y sin olores desagradables; de igual forma, inducen la descomposición mediante la fermentación sin llegar a la putrefacción.

Por su parte, el control ha presentado lecturas que alcanzan temperaturas máximas de 56 °C al quinto día, consiguiendo, también, la etapa termófila necesaria para digerir sustancias de mayor complejidad, eliminar bacterias patógenas, evitar la aparición de vectores y olores desagradables, y la inactivación de semillas de vegetales consideradas como maleza (Arrigoni *et al.*, 2018). Luego descende con trayectoria similar al resto de mezclas, indicando la disminución del sustrato alimenticio. Entre los días 9 y 22 se presentan fluctuaciones irregulares al estabilizarse, descender y ascender la temperatura, situación ocurrida en todas las mezclas o unidades experimentales, lo cual probablemente es producto de la deshidratación de los residuos y el bajo contenido de residuos ricos en carbono, como aquellos con contenidos de lignina o en estado seco. Para recuperar la temperatura fue necesario adicionar agua, aumentando

nuevamente el indicador. Por tanto, puede considerarse a la temperatura como el indicador más representativo del compostaje pues, según Bueno *et al.* (2008), se “ha comprobado que pequeñas variaciones tienen mayor incidencia en la actividad microbiana que pequeños cambios de humedad, pH, o C/N”.

pH

El comportamiento de esta variable durante el proceso de compostaje se muestra en la figura 2, en donde se observa en todas las mezclas una disminución hasta llegar a los 5,7 puntos durante los primeros 5 días, producto de los ácidos orgánicos que se producen por la digestión de microorganismos sobre azúcares (Román *et al.*, 2013); luego se presenta un ascenso pronunciado hasta el día 11, como consecuencia de la “liberación de amoníaco producto de la descomposición de las proteínas y la eliminación de ácidos orgánicos” (Campitelli *et al.*, 2014), con un ascenso muy leve hasta el final del proceso, estabilizándose ligeramente por encima del pH neutro, causa asociada, según Bueno *et al.* (2008), a la formación de compuestos húmicos.

Por su parte el pH del compost al final de la fase de maduración, obtenido en laboratorio, es el expresado en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados pH en laboratorio

Variable	Control	Trat.1	Trat.2
pH	9,25	8,67	9,07

Fuente: SENA Tecnoparque Medellín, 2018.

Como la composición inicial de los residuos orgánicos a compostar en su mayoría son restos de frutas y verduras frescos y estiércol de caballo, el contenido de nitrógeno es alto, situación que, de acuerdo con Sánchez *et al.* (2017), favorece la volatilización del nitrógeno mediante el amoníaco y el aumento de temperatura. Cuando hay una relación C/N baja, los microorganismos transforman el nitrógeno en mayor grado, favoreciendo su evaporación y aumentando el pH a niveles alcalinos. De esta manera, y en presencia de altos contenidos de nitrógeno, los resultados del pH para los tratamientos cumplen con los parámetros requeridos para un compostaje óptimo (4-9), según lo establecido por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (2004). Este resultado tiene similitud con lo reportado por Millán *et al.* (2017) para muestras de compost sometidas a determinación de pH en solución de agua estéril.

El pH alcalino del compost reportado durante el ejercicio de investigación tiene efectos benéficos sobre los suelos cercanos a la cabecera municipal de Puerto Carreño, debido a que estos, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014), son suelos “profundos y moderadamente profundos, texturas moderadamente gruesas, drenaje bueno y moderadamente excesivo, saturación de aluminio alta y muy alta, reacción moderada, fuerte y muy fuertemente ácida, y fertilidad natural muy baja”. De esta manera, se neutraliza en parte la acidez de los suelos, además del aporte en materia orgánica que permite mejorar la actividad microbiana.

Otros parámetros físicos, químicos y microbiológicos

En la tabla 6 se relacionan algunos de los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio del Tecnoparque Nodo Medellín del SENA Regional Antioquia:

Tabla 6. Resultados de laboratorio

Parámetros	Control	Trat.1	Trat.2	Norma	
				NTC 5167	FAO
Contenido de humedad (%)	4,36	3,85	5,68	< 35	
Materia orgánica (%)	12,67	15,6	16,7		> 20
Carbono orgánico (%)	7,35	9,05	9,69	> 15	
Nitrógeno total (%)	0,49	0,57	0,6	< 1	
Relación C/N	15	15,88	16,15		10 – 15
Densidad real (gr/cm³)	0,71	0,78	0,81		0,7 gr/cm³
Salmonella sp (UFC)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
Enterobacterias totales UFC	3,0x10 ⁴	1,1x10 ⁵	3,4x10 ⁴	<1000 UFC/gr	
Mesófilos aerobios UFC	1,7x10 ⁴	2,6x10 ⁴	2,8x10 ⁴	NA	NA

Fuente: SENA Tecnoparque Medellín, 2018.

El contenido de humedad, además de cumplir con el requerimiento de la NTC 5167, tiene semejanza con los datos reportados por Pérez *et al.* (2011) para el compost producido con cachaza de caña de azúcar. No obstante, para el presente trabajo el contenido de humedad presenta un porcentaje bajo, lo cual se explica, probablemente, por la frecuente exposición solar durante la fase de maduración para muestras de dos (02) kg cada una, y un tamaño de partícula inferior a dos (02) mm. Este contenido de humedad facilita el transporte y el almacenamiento del material. El contenido de humedad en el compost superior al 45% produce un desplazamiento de los poros dentro de la materia orgánica, convirtiendo la mezcla en un medio anaeróbico y creando condiciones propicias para un metabolismo fermentativo (Sztern y Pravia, 2008). Por tanto, un medio anaeróbico para el compostaje en biorreactor propicia la aparición de un medio putrescible con olores desagradables.

El contenido de materia orgánica (MO) coincide con la mezcla 1 reportada por Acosta y Peralta (2015), la cual es muy similar a las mezclas de residuos del presente trabajo; los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos 2 y 1, respectivamente, lo cual está asociado a la presencia de los microorganismos benéficos que sirven como estímulos para acelerar el proceso. La MO es el resultado de la mineralización de los residuos orgánicos en donde, según Sztern y Pravia (2008), aproximadamente el 75% de estos son mineralizados por completo, y el resto (25%) se transforma en humus, lo cual sugiere que la MO disminuye en la medida en que avanza el proceso de compostaje. Los valores finales de MO de los tratamientos estuvieron a escasos 3,3 y 4,4 puntos de alcanzar el requerimiento establecido para este indicador, situación atribuida posiblemente a la presencia de minerales como arena y limos adheridos a los restos de frutas y verduras, tanto en el lugar de expendio

como en el sitio de trituración, actividad realizada en el suelo natural con herramienta manual. Este compost es útil para el mejoramiento de suelos de Puerto Carreño; según los resultados de análisis químicos para muestras edafológicas en cercanías de la capital del Vichada, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014) indica que el porcentaje de MO en la parte superficial del suelo es del 1,3%, notándose la necesidad de aportar este material para el mejoramiento.

La relación C/N muestra valores similares a los obtenidos por Muñoz *et al.* (2015) y Rodríguez *et al.* (2010), y se encuentra en el rango sugerido por Batalla y Merino (2015). Este parámetro es un criterio utilizado tradicionalmente para determinar la madurez del compost; sin embargo, Iglesias *et al.* (2008) indican que esta relación depende en gran medida de la clase de contenido inicial de los residuos. Contenidos de C orgánico pueden estar en forma de compuestos resistentes a la biodegradación, como la lignina, o contenidos ricos en N por abundancia de residuos verdes. Por su parte, Soliva y López (2010) mencionan que en ocasiones se considera equivocadamente un compost maduro cuando la relación C/N es cercana a 10, valor correspondiente a la materia orgánica estabilizada de un suelo, la cual no corresponde a la contenida en un proceso de compostaje; por tanto, es necesario conocer los valores iniciales de C/N para analizar su celeridad del proceso y las disminuciones tanto de nitrógeno como de carbono. La relación C/N para este ejercicio de investigación indica que la utilización del biorreactor tiene incidencia directa en la aceleración del proceso de compostaje, toda vez que distribuye uniformemente la temperatura en toda la mezcla de residuos orgánicos.

Por su parte, el contenido de nitrógeno (N) total de las muestras cumple con el requerimiento de la NTC 5167 y, además, tiene similitud con datos reportados por Bohórquez *et al.* (2014) para compostaje a partir de subproductos de la caña de azúcar, investigación muy

relacionada con este trabajo, puesto que para los tratamientos 1 y 2 se utilizó como acelerantes microorganismos benéficos diluidos en melaza. El resultado indica que la cantidad de nitrógeno presente en el compost contribuye en buena medida a mejorar los suelos debido a que es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es relevante conocer los requerimientos de N del suelo, por cuanto una dosificación incorrecta de N trae consecuencias negativas al ambiente, como nitrógeno amoniacal y nítrico, volatilizándose y contribuyendo al efecto invernadero y formación de lluvias ácidas (Masaguer y Benito, 2008).

Los resultados para la densidad de las muestras no cumplen con lo establecido por la NTC 5167, cuyas causas son atribuibles a que en el proceso de tamizaje se utilizó una malla de anejo plástico con huecos de 1 mm, lo cual produjo muestras de partículas pequeñas, alcanzando una textura y apariencia similar al limo. Este resultado no limita el uso del compost obtenido, por dos razones: si se utiliza con partículas finas en suelos arenosos, ayuda a retener el agua, mejorando la humedad; y si se requiere menor densidad de compost, se utiliza una malla con huecos de mayor tamaño durante el cribado. En síntesis, es una variable que debe ajustarse de acuerdo a las necesidades del suelo.

Para el parámetro de presencia de bacterias Gram negativas, como *Salmonella typhi* y *Escherichia coli*, que actúan como patógenos para la salud humana, los resultados no indican presencia de *Salmonella*; caso contrario ocurre con la *Escherichia*, para la cual hay reporte de presencia por encima del límite permitido por la NTC 5167, lo que limita el uso únicamente para silvicultura, cultivos de frutales de porte arbóreo y jardinería, donde no hay contacto del compost con los frutos. Por ello no se recomienda su utilización en huertas caseras, dado el riesgo de contaminación de las cosechas. Esta situación sugiere que hubo una incorrecta desinfección de las herramientas manuales utilizadas durante el descargue

del compost del biorreactor, sin atribuirse la presencia del patógeno a temperaturas por debajo de los 55 °C por un período menor a tres días durante el compostaje, por cuanto los registros de las lecturas para esta variable reportan el cumplimiento de esa condición.

Agradecimientos

Al SENA Regional Vichada por financiar este proyecto, por el interés mostrado y por facilitar la logística en los momentos requeridos. A la Empresa de Servicios Públicos de Puerto Carreño, por facilitar infraestructuras como el hangar y el biorreactor para la elaboración del compost. Al Tecnoparque Nodo Medellín del SENA Regional Antioquia, por realizar las pruebas de laboratorio, previa presentación del proyecto. A Edgar Trujillo Bernal, por el apoyo dado en la revisión de la traducción del resumen.

Referencias bibliográficas

- Acosta Carrión, Wilson y Peralta Franco Milton Iván (2015). *Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá*. (Tesis de grado). Universidad de Cundinamarca, Colombia.
- Arrigoni, Juan Pablo; Paladino, Gabriela; Garibaldi, Lucas Alejandro; Laos, Francisca (2018). *Inside the small-scale composting of kitchen and garden wastes: Thermal performance and stratification effect in vertical compost bins*. Recuperado en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18301521?via%3Dihub>
- Banco Interamericano de Desarrollo (2009). *Manual práctico de uso de EM*. Montevideo.
- Batalla E.; Ansorena, J.; Merino, D. (2015). *Evolución de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos*. Gipuzkoa.
- Bazán Lugo, Eduardo; Salinas Pérez, Florencia del Carmen; Pérez Fernández, Sandra Fabiola; Salinas Sandoval, Ray Christian (2014). *Efecto de las formulaciones de composta a partir de residuos de poda de nopal (Opuntia ficus indica) / estiércol vacuno en plantaciones de nopal verdura*. Recuperado de <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/efecto-de-las-formulaciones-de-composta-a-partir-de-residuos-de-poda-de-nopal-opuntia-ficus-indica-estiercol-vacuno-en-plantaciones-de-nopal-verdura>
- Bohórquez, Alexander; Puentes, Yina J.; y Menjivar, Juan Carlos (2014). *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar*. Recuperado en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract-&pid=S0122-87062014000100007
- Bueno Márquez, Pedro; Diaz Blanco, Manuel Jesús; y Cabrera Capitán, Francisco (2008). "Factores que afectan el proceso de compostaje". En: Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p. 94-111). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Campitelli, Paola Andrea; Ceppi, Silvia Beatriz; Velasco, Manuel Ignacio; Rubenacker, Andrea Inés (2010). *Manual práctico de compostaje*. Córdoba, Argentina.
- Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (2013). *La Composta: Importancia, elaboración y uso agrícola*. México.
- Iglesias Jiménez, Emeterio; Barral Silva, María Teresa; y Marhuenda Egea, Carlos (2008). "Indicadores de la estabilidad y madurez del compost". En Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p.243-245). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) (2004). *Productos para la industria agrícola*. Pro-

- ductos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá D.C.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Vichada*. Bogotá D.C.
- Masaguer Rodríguez, Alberto y Benito Capa, Marta (2008). "Evaluación de la calidad del compost". En Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p. 285-304). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Millán, Fernando; Prato, José Gregorio; La Cruz, Yesica; Sánchez, Adriana (2017). *Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost*. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/-article/-view/67338>
- Munch, Lourdes y Ángeles, Ernesto (2009). *Métodos y técnicas de investigación*. México: Editorial Trillas.
- Muñoz, Juan Manuel; Muñoz, Javier Andrés; y Montes, Consuelo (2015). *Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca*. Recuperado en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612015000100009
- Pérez Méndez, Miguel A.; Sánchez Hernández, Rufo; Palma López, David J.; Salgado García, Sergio (2011). *Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México*. Recuperado en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33917727007>
- Rodríguez Torres, María Dolores; Venegas González, José; Angoa P., M. V.; y Montañez Soto, José Luis (2010). *Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos en diferentes compost y el efecto sobre el trigo*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342010000200002
- Román, Pilar; Martínez, María M.; y Pantoja, Alberto (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile. FAO.
- Rondón Toro, Estefani; Szantó Narea, Marcel; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo; y Gálvez, Alejandro (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile. CEPAL.
- Sánchez de Pinto, M. I.; Albanesi, A.; Palazzi, V.; Trejo, J.; y Polo, A. (2013). *Compostaje y lombricompostaje de residuos frutihortícolas*. Recuperado de <https://studylib.es/doc/6304515/albanesi--ada---facultad-de-agronom-%C3%A-Dayagroindustrias>
- Sánchez, Óscar; Ospina, Diego; y Montoya, Sandra (2017). *Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17305846?via%3Dihub>
- Soliva Torrentó, Monserrat; López Martínez, Marga; y Huerta Pujol, Oscar (2008). "Antecedentes y Fundamentos del proceso compostaje". En: Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. (Eds.), *Compostaje*. (p. 75-93). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Soliva, Monserrat y López, Marga (2004). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Barcelona.
- Sztern, Daniel y Pravia, Miguel A. (2008). *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Montevideo.
- Zavala A., Roberto (2013). *Estadística básica*. México: Editorial Trillas.
- Zhang, Lu y Sun, Xiangyang (2018). *Influence of sugar beet pulp and paper waste as bulking agents on physical, chemical, and microbial properties during green waste composting*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/-science/-article/-pii/S09-60852418309374>



Actividades de formación con maquinaria agrícola en el cultivo de arroz en el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Regional Huila.

ANÁLISIS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN EL CULTIVO DE ARROZ EN LA FINCA LA TEBADA DEL MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE

David Saavedra Mora

Arbey Cubillos Ortiz

Leidy Machado Cuellar

Valentín Murcia Torrejano

Diego Andrés Méndez Pastrana

Grupo de Investigación Agroindustrial La Angostura

Semillero de investigación SEBI

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Regional Huila - Centro de Formación Agroindustrial

Correspondencia autores: leidymachadocuellar@gmail.com

Resumen: Un reto de la agricultura de precisión consiste en estudiar por medio de la teledetección el estado de la vegetación a partir de las medidas de reflectividad con independencia de todos los factores que pueden perturbar la radiométrica, como es el suelo. El cultivo de arroz puede cambiar rápidamente el comportamiento fenológico que puede ser monitoreado rápidamente con los IV. En este sentido, el estudio consistió en determinar los índices de vegetación NDVI, GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG, TVI, NRVI y DVI en el cultivo de arroz, para lo que se realizaron vuelos con un dron DJI Matrice 600, mientras que la captura de fotos se realizó con una cámara multiespectral Parrot Sequoia, y las imágenes se procesaron mediante el software Pix4Dmapper. Se realizó un análisis de coeficiente de correlación múltiple (Pearson) y modelos de regresión lineal entre los índices de vegetación con el programa Infostat. En los resultados se encontró una alta precisión y superposición en el DMS; de igual modo, se encontró una correlación entre todos los IV excepto los RG. Los mejores modelos de regresión lineal para estimar el estado de vegetación presentaron un R^2 por encima del 0,96, que fueron GNDVI, NGRDI, NRVI y DVI. Finalmente, se determinaron tres clústeres con NDVI, el primero con rangos de 0,63 a 0,99, el segundo entre 0,32 a 0,63 y el tercero de 0,1 a 0,3, lo que permitió analizar la vegetación.

Palabras clave: Clorofila, NDVI, dron, cámara multiespectral.

ANALYSIS OF VEGETATION INDEXES IN RICE CULTIVATION ON THE FARM LA TEBADA OF THE MUNICIPALITY OF CAMPOALEGRE

Abstract: A challenge of precision agriculture is to study by means of remote sensing the state of the vegetation from the reflectivity measurements regardless of all the factors that can disturb the radiometric as is the soil. Rice cultivation can rapidly change the phenological behavior that can be rapidly monitored with IV. In this sense, the study was to determine the NDVI, GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG, TVI, NRVI and DVI vein indexes in rice cultivation, for this purpose, a DJI Matrice 600 drone was made and for the capture of photos was used a multispectral camera called sequoia, the images were processed by software Pix4Dmapper. An analysis of multiple correlation coefficient (Pearson) and linear regression models between the vegetation indices with the Infostat program was performed. In the results we found a high precision superposition in the DMS, in the same way we found a correlation between all the IV except RG. The best linear regression models to estimate the vegetation status presented an R^2 above the 0.96 that were GNDVI, NGRDI, NRVI and DVI. Finally, three clusters with NDVI were determined, the first with ranges from 0.63 to 0.99; second between 0.32 to 0.63 and the third 0.1 to 0.3 that allowed to analyze the vegetation.

Key words: Chlorophyll, NDVI, drone, multispectral chamber.

Introducción

La agricultura de precisión se define como el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad espacial y temporal en una explotación agrícola, para mejorar el retorno económico y minimizar el impacto ambiental (Díaz y Cervigón, 2015; Pavón *et al.*, 2017). Para caracterizar esta variabilidad se utilizan herramientas tecnológicas como los Sistemas de Posicionamiento Global, conocidos como GPS, sensores de medición de planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites y aviones o UAS/RPAS (Frankelius *et al.*, 2017; Han *et al.*, 2017), siendo estos los más utilizados en la agricultura de precisión (Khan *et al.*, 2018). El avance con los sistemas de drones permite la captura de grandes cantidades de información de manera precisa y rápida que aporta elementos para la toma de decisiones de los agricultores. Los sensores

de monitoreo permiten realizar controles en grandes extensiones en el desarrollo de los cultivos y mejorar la eficiencia en las prácticas agrícolas (Berrío *et al.*, 2015; Acosta Henríquez *et al.*, 2017), contribuyendo a optimizar la dispersión de compuestos fitosanitarios (herbicidas, fertilizantes y pesticidas) en áreas de interés en función de las condiciones climáticas para reducir el consumo de recursos hídricos (Díaz, 2015; Bright *et al.*, 2016); adicionalmente, se puede determinar variables como las enfermedades, plagas, arvenses y los posibles efectos futuros por las variaciones climáticas, como las heladas o sequías, entre otros.

La captura de información se realiza mediante cámaras con alta definición e información georreferenciada para su ubicación exacta (González *et al.*, 2016). Existen diversos tipos de cámaras o sensores como

RGB estándar, multiespectral, hiperespectral, infrarrojo o térmica, ópticos, 3D y fluorescencia, que permiten la caracterización de índices de vegetación (IV) (Mahlein, 2016; Khan *et al.*, 2018), para calcular estos, se usa las operaciones algebraicas entre las bandas de la imagen tratada respecto a parámetros de distancia y pendiente (Gröll *et al.*, 2007; González *et al.*, 2016). Los índices basados en distancia (Perpendicular Vegetation Index [PVI]) (Huete, 1988; Huete *et al.*, 2002) tienen la finalidad de minimizar el efecto del suelo en los casos donde la vegetación es escasa y los píxeles contienen una mezcla de vegetación verde y suelo de fondo. Los IV de pendiente Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996), Índice de Vegetación Transformado (Deering *et al.*, 1975), Ratio Vegetation Index (RVI), Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI) indican tanto el estado como la abundancia de la cobertura y biomasa de la vegetación verde (Abaurrea, 2013; Khan *et al.*, 2018).

Estudios realizados por Dobermann y Fairhurst (2000) estiman el estado fisiológico del cultivo de arroz mediante la presencia o ausencia del color con el uso de tablas de colores (TCC), similar al índice de NDVI para la selección y mejoramiento de especies con capacidad adaptativa y rendimiento. En este contexto, es pertinente realizar estudios sobre el cultivo de arroz (*Oryza sativa*), ya que es el segundo alimento básico de la canasta familiar y de alto nivel comercial para la seguridad alimentaria; es por ello que las proyecciones demográficas de las Naciones Unidas y proyecciones de ingresos del Instituto de Investigación de Política Agrícola y Alimentaria (FAPRI), tienen expectativas con respecto a que la demanda mundial de arroz se incremente de 439 millones de toneladas (arroz elaborado) en el año 2010 a 496 millones de toneladas en el año 2020, y ascienda a 555 millones de toneladas en 2035, teniendo cambios significativos con un crecimiento global del 26% en los siguientes 25 años; pero que podrá declinar con

el paso del tiempo, debido a un crecimiento lento de la productividad y competitividad y manejo inadecuado del cultivo del arroz.

Las tendencias de mercado de arroz en Colombia han estado marcadas por el consumo más que por la oferta, lo que se refleja en las exportaciones e importaciones. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018), las exportaciones de Colombia para el 2017 fueron de 2.153 t/año, y en el año 2018, hasta el mes de mayo, un total de 1.233 t. Los principales países de destino fueron Venezuela, Curazao, Canadá y Chile, y las importaciones para el 2017 fueron de 127.081 t/año, y en el 2018, hasta el mes de abril, un total de 40.524 t de los países de origen, como Estados Unidos, Ecuador y Tailandia.

Lo anterior hace evidente que Colombia debe avanzar en mejorar la tecnificación de la producción, para así lograr suplir la demanda propia, teniendo en cuenta que es el segundo producto con mayor consumo de la canasta familiar (DANE, 2015), con un área sembrada del “12% del área cosechada y representa el 30% de los cultivos transitorios, su producción es del 6% del valor de la producción agropecuaria y el 10% de la actividad agrícola en Colombia (FEDEARROZ, 2016).

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en la vereda La Vuelta, el predio de arroz está ubicado en el municipio de Campoalegre, Huila, localizado a N 2°41'06.30", W -75°19'35.91', a una altitud 612 msnm, en la zona norte del departamento del Huila (figura 1). Las condiciones climáticas de la zona son: temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa promedio de 62%, precipitación promedio anual de 1300 a 1800 mm con dos periodos de lluvia, y el resto del año prevalece la sequía (Saavedra *et al.*, 2017). Según Holdridge (1987), la clasificación

ecológica en el municipio de Campoalegre se encuentra en una zona de vida de Bosque Seco Tropical (Bs-T).



Figura 1. Área de estudio.

El predio donde se realizó la investigación tiene una extensión de 24 hectáreas, con cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.), mango (*Mangifera indica*), guanábana (*Annona muricata* L.), arroz (*Oryza sativa*) y especies arbóreas en diferentes estratos (*Cecropia peltata* L.; *Ochroma pyramidale* Urb.; *Cordia alliodora* [Ruiz y Pav.] Oeken; *Psidium guajava* L., *Morinda citrifolia* L.) que sirven como sombra. El cultivo de arroz evaluado tiene una extensión de 11,4 hectáreas y para el estudio se dividió en dos zonas, la primera, 6 ha con 45 días de siembra, y la segunda, 5,4 ha con 110 días siembra. El manejo agronómico que se realiza en el área de estudio es control de arvenses de forma manual y sistema de riego por inundación.

Equipos para el levantamiento de la información

Se usó una cámara multiespectral denominada se-quoia que tiene tres principios: precisión excepcional, tamaño y peso mínimo y facilidad de uso. Las bandas espectrales que miden el estado de la vegetación son: verde (550 nm de longitud de onda, 40 nm), roja (660 nm de longitud de onda, 40 nm), banda roja (735 nm de longitud de onda, 10 nm) e infrarrojo cercano (longitud de onda 790 nm, ancho de banda de 40 nm). La toma de

fotografías se realizó por medio de un dron marca DJI Matrice 600, que tiene asistencia de GPS que permite el monitoreo de la ubicación.

Diseño de vuelo

Para el diseño del vuelo se usó la aplicación con licencia de uso gratuita PrecisionFlight, que facilita la planificación automática del vuelo, permitiendo la recolección de los datos correctos; además, permite la importación de la misión en los dispositivos para volar sin conexión de internet. Los criterios para realizar el vuelo fueron: una altura de 80 m, con una velocidad de 3,4 cm/px. Para el área de evaluación fue de 12 minutos para realizar el recorrido de 11,9 hectáreas (figuras 2a y 2b).

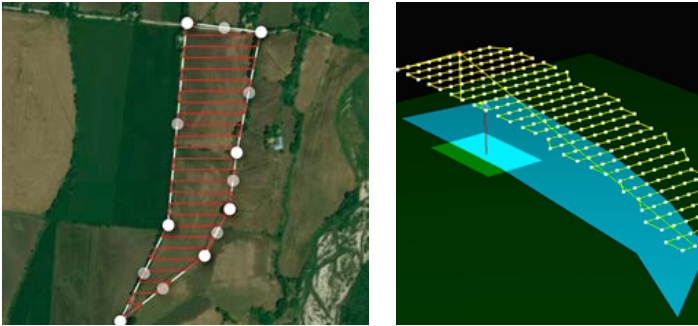


Figura 2a. Diseño del área y recorridos en el cultivo de arroz. **Figura 2b.** Selección de criterios del vuelo.

Determinación de variables

Para determinar los índices de vegetación, se relacionaron las bandas Green, Red, Nir, Red Edge y Near Infrared realizando los cálculos correspondientes:

Tabla 1. Índices de vegetación para la determinación de vigorosidad de cultivo

Codificación	Índice de vegetación	Autor
NDVI	Índice normalizado diferencial de vegetación	Rouse <i>et al.</i> , 1974; Gitelson <i>et al.</i> , 1996
GNDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada verde	Kemerer, 2007

RVI	Índice vigor relativo	Pearson y Miller, 1972
GVI	Índice de vegetación verde	Sripada <i>et al.</i> , 2006; Richardson y Wiegand, 1977
NGRDI	Índice de diferencia rojo verde normalizado	Gitelson <i>et al.</i> , 2002
RG	Índice relacionadas con NDVI	Garcia-Cervigon <i>et al.</i> , 2015
TVI	Índice de vegetación transformado	Deering y colaboradores, 1975
NRVI	Índice de vegetación de cociente normalizado	Baret y Guyot, 1991
DVI	Índice de vegetación de diferencia	Richardson y Wiegand, 1977

Análisis de datos

Para realizar el análisis de los datos se descargaron las imágenes, se eliminaron aquellas que fueron tomadas durante el alza del vuelo y regreso, así como también sobre los bordos fuera del área de monitoreo. Luego, a través del software Pix4Dmapper se generó los mapas indexados y ortomosaicos para permitir el reconocimiento digital y el análisis de datos. Una vez se tuvo los ortomosaicos, se realizaron los cálculos de los índices de vegetación (tabla 1) y se correlacionaron mediante un análisis de coeficiente de correlación múltiple (Pearson) y modelos de regresión lineal entre los índices de vegetación. Los análisis se realizaron empleando el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Resultados

Calidad de los resultados

Mediante el procesamiento de ortomosaico (DMS) generado con RBG, se obtuvo una calibración de 10180,2 de coincidencias por imagen calibrada, que corresponde a una malla de puntos de 92225 con diferencias relativas del 0,75% entre los parámetros de la cámara interna y la optimizada; así, se logró tener una incertidumbre media

(0,48 ± 0,08) en la orientación y posición de las coordenadas X, Y y Z de la cámara con relación a los ángulos. La precisión de geolocalización fue de 0,024 cm con CV de 1,48 en X, Y y Z lo que permite tener una alta exactitud de los resultados frente a la variación porcentual de los índices de vegetación (IV). Estos resultados tuvieron menor error del píxel frente a estudios realizados por Han *et al.* (2017) mediante el uso de programas para la determinación IV con error de 0,285 cm en el píxel.

En el modelo de superficie digital (DSM) (figura 3a) se estable las zonas verdes y los puntos altos (color rojo), mientras que en la superposición (figura 3b) las áreas rojas y amarillas indican una superposición baja que puede generar resultados pobres. Las áreas verdes indican una superposición de más de cinco (5) imágenes por cada píxel, lo que significa que no hubo incidencia para la determinación de IV en el área de estudio. En estudios realizados por Khan *et al.* (2018) se concluyó que las imágenes RGB proporcionan una fácil solución para la estimación de las IV con alta exactitud que genera un valor agregado para la agricultura de precisión.

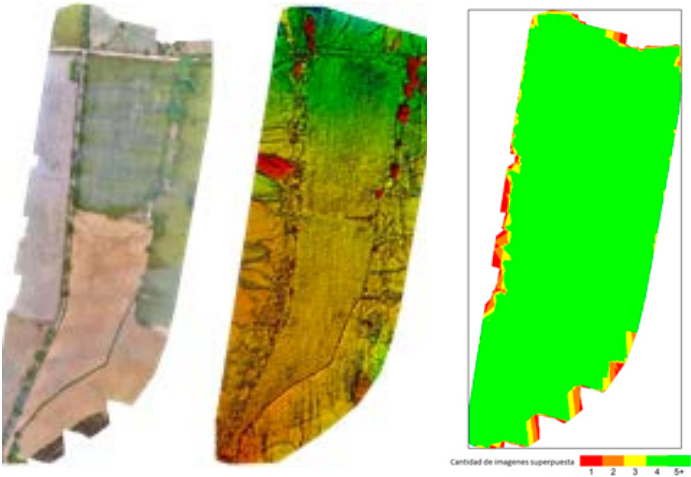


Figura 3a. Ortomosaico y el escaso modelo de superficie digital (DSM) correspondiente antes de la densificación. **Figura 3b.** Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico, en cultivo de arroz en dos etapas fenológicas, la primera 6 ha con 45 días de siembra, y la segunda 5,4 ha con 110 días siembra.

Análisis de correspondencia de los índices de vegetación

En el análisis de correspondencia múltiple de los índices de vegetación se encontró una alta correlación de 0,99, aunque se puede resaltar los índices de vegetación (NDVI, GNDVI, NGRDI, NRVI y DVI). Sin embargo, el índice RG fue quien tuvo menos relación, variaciones de 0,88 a 0,97 (tabla 2). La correlación entre los índices

y la variabilidad de los datos se debe principalmente a la cantidad de clorofila presente por cada píxel con relación al ajuste del suelo, la cual se define con la malla de puntos realizada con los píxeles del suelo sin vegetación (Thiam e Eastman, 1992; Maya et al., 2004). En estudio realizado en cultivos de maíz encontraron que los NDVI, RVI, GVI y GNDVI tuvieron mayor correlación para la estimación del rendimiento (Cittadini et al., 2016).

Tabla 2. Coeficiente de correlación múltiple (Pearson) de los índices de vegetación.

Variables	NDVI	GNDVI	RVI	GVI	NGRDI	RG	TVI	NRVI	DVI
NDVI	1,00								
GNDVI	0,99 <.0001	1,00							
RVI	0,95 <.0001	0,96 <.0001	1,00						
GVI	0,95 <.0001	0,97 <.0001	0,99 <.0001	1,00					
NGRDI	0,99 <.0001	0,99 <.0001	0,98 <.0001	0,98 <.0001	1,00				
RG	0,92 <.0001	0,94 <.0001	0,96 <.0001	0,96 <.0001	0,95 <.0001	1,00			
TVI	0,95 <.0001	0,95 <.0001	0,89 <.0001	0,99 <.0001	0,94 <.0001	0,88 <.0001	1,00		
NRVI	0,95 <.0001	0,96 <.0001	0,99 <.0001	0,99 <.0001	0,98 <.0001	0,96 <.0001	0,89 <.0001	1,00	
DVI	0,98 <.0001	0,99 <.0001	0,91 <.0001	0,93 <.0001	0,97 <.0001	0,89 <.0001	0,96 <.0001	0,91 <.0001	1,00

< Indican coeficientes de correlación altamente significativos (P<0.0001).

Donde: NDVI: Índice Normalizado Diferencial de Vegetación; GNDVI: Índice de Vegetación de diferencia Normalizada Verde; RVI: Índice de Vigor Relativo; GVI: Índice de Vegetación Verde; NGRDI: Índice de Diferencia Rojo Verde Normalizado; RG: Índice Relacionado con NDVI;

TVI: Índice de Vegetación Transformado; NRVI; Índice de Vegetación de Cociente Normalizado; DVI: Índice de Vegetación de Diferencia.

Análisis de regresión de los principales índices de vegetación

Con el análisis de regresión lineal con los valores del Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI), en función de los índices de vegetación GNDVI, NGRDI, NRVI y DVI, mediante la determinación del coeficiente R^2 que indica la precisión de los modelos calculados ajustados a la relación NDVI, se encontró una alta correlación superior al 0,95%, que quiere decir que al no tener todas las bandas de la cámara espectral podríamos determinar el

nivel del estado de la cobertura vegetal y estimación de clorofila con estos IV. El índice GNDVI tiene una explicación con $R^2 = 0,978$; para la construcción de este índice se usa las bandas Nir y Green; en el caso de NGRDI, en función de NDVI, fue de $R^2 = 0,996$, con bandas de la cámara espectral Green y Red. Con relación al Índice de Vegetación de Cociente Normalizado (NRVI), el modelo de regresión fue de $R^2 = 0,9603$, y para DVI con $R^2 = 0,989$, estos dos índices se determinan a partir de las bandas Nir y Red.

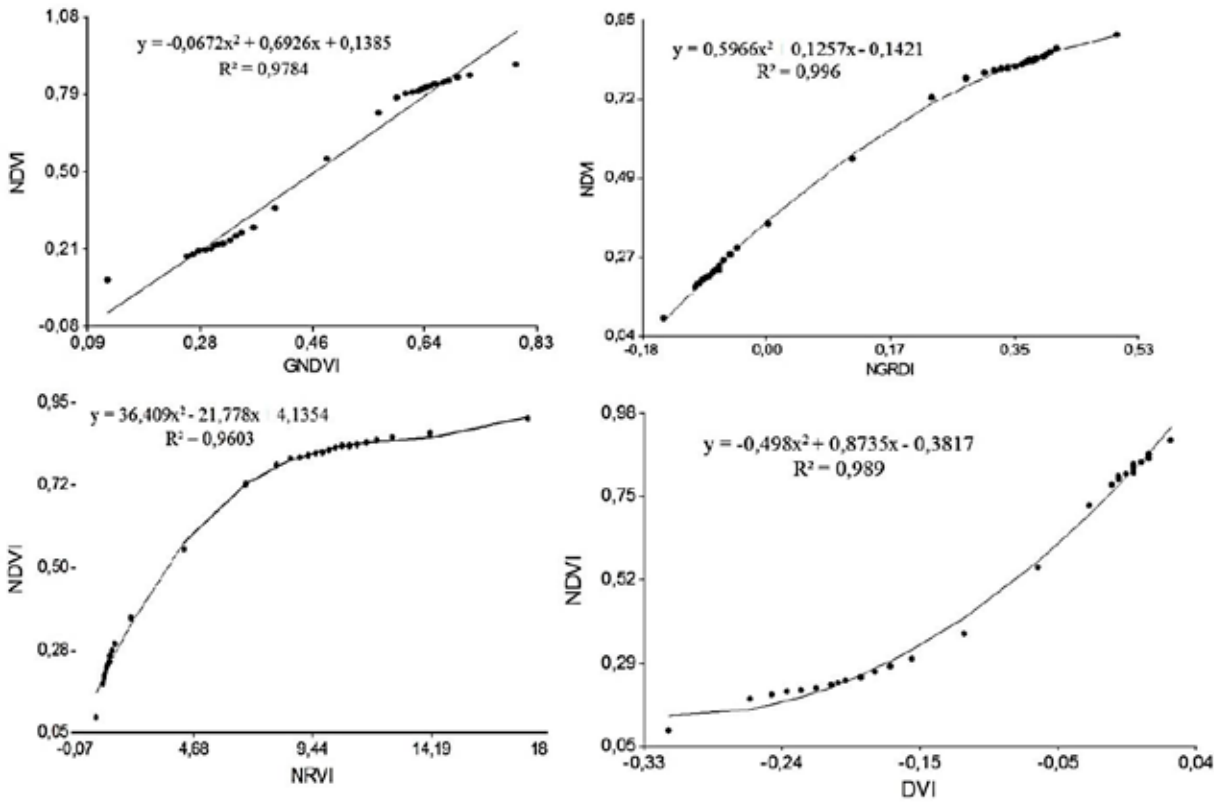


Figura 4. Modelos de regresión lineal con los principales índices de vegetación: GNDVI, NGRDI, NRVI y DVI en función de NDVI. La descripción de la codificación se encuentra en la tabla 1.

Estudios similares realizados por Díaz García (2015) a partir de imágenes tomadas con dron en cultivos de arroz, reportan una alta correlación entre el índice GNDVI en función de NDVI con un $R^2 = 0,9508$; igual entre GVI con una estimación de $R^2 = 0,94$, y en RG sin encontrar una relación importante con $R^2 = 0,06$ relacionado con la

variación de los datos. De igual forma, en estudios realizados en cultivos de maíz (Abaurrea, 2013), evaluando diferentes índices de distancia y pendiente, determinaron un $R^2 = 0,94$, donde los índices que se ajustaron visualmente fueron NRVI y NDVI.

Vigorosidad del arroz con los principales índices de vegetación

La vigorosidad de la vegetación del arroz mediante índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI), en un clúster de clasificación -1 a 1, donde 1 se refiere a zonas más densas o con mayor clorofila, y -1 indica una zona sin vegetación (García y Martínez, 2010), se determinaron tres zonas, la primera en una extensión de 5,84 ha que corresponde al 53,13% del área de estudio, donde estaba sembrado el arroz con 45 días con los valores mayores de 0,63 a 0,94 de NDVI; estos resultados fueron similares a los encontrados por García y Martínez (2010), quienes en estudios de la identificación de arroz por medio de imágenes satelitales determinaron el NDVI con promedio de 0,57. Según Ren *et al.* (2008), los valores altos se deben a los procesos de fotosíntesis activos con rangos de 0,2 a 0,8, y los cultivos entre 0,4 a 0,9 que dependen del índice foliar y del suelo. Por otra parte, los niveles de NDVI están basados en que las hojas con mayor índice foliar pueden reflejar luz en el infrarrojo cercano, y cuando la planta presenta deshidratación o, por el contrario, un desarrollo fenológico avanzado, reflejan menos luz Nir, aunque tengan la misma cantidad de rango visible (Esser *et al.*, 2002), similar a lo encontrado en el área de color rojo. Por lo tanto, los valores intermedios de IV se deben a la presencia de arvenses, plantas de arroz con mayor desarrollo fisiológico y el efecto de encharcamiento de agua por el sistema de riego de inundación.

Al revisar el ortomosaico se determinó un segundo clúster o área que corresponde al arroz sembrado con 110 días, con menor NDVI entre 0,01 a 0,32, y la tercera área de 0,57 ha con valores intermedios de 0,32 a 0,63. Al comparar el GR que tuvo menor correlación con el NDVI, se determinó una sobreestimación del área, y que los clústeres no se ajustan totalmente a las condiciones fisiológicas del cultivo. Los valores bajos se pueden presentar por tres situaciones, según Boken (2005): por

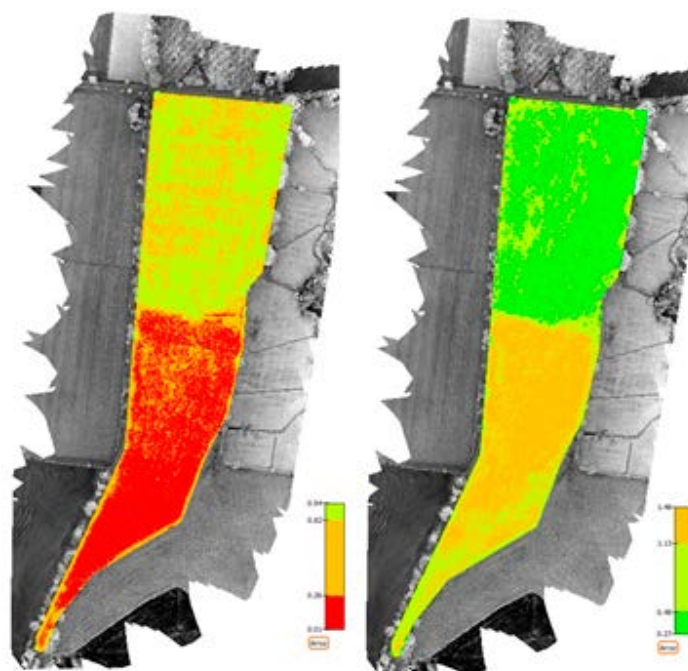


Figura 5a. Ortomosaico de reflectancia del Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI). **Figura 5b.** Ortomosaico de reflectancia del Índice Relacionado con NDVI (RG). Ambas correspondientes a un cultivo de arroz en dos etapas fenológicas, la primera 6 ha con 45 días de siembra, y la segunda 5,4 ha con 110 días siembra.

el suelo desnudo que no tiene reflectancia, por una cobertura por debajo del 15%, y por la biomasa en estado de senescencia.

Conclusiones

Los índices mostraron una buena estimación de las condiciones de dosel del cultivo de arroz, permitiendo tener una alta correlación, en donde sobresalen los índices de vegetación GNDVI, NGRDI, NRVI y DVI respecto al índice NDVI, que servirá como línea base para la estimación en otros cultivos. Al realizar los clústeres, se logró identificar tres predominantes por el tiempo de siembra, estadio fenológico y otra vegetación, aunque se identificó que se requiere la verificación en campo para sobreestimar los resultados; esto permitió tener rangos 0 a 1, que son los niveles normales para cultivos densos.

Referencias bibliográficas

- Abaurrea P, M. (2013). "Comparación de índices de vegetación en zona semiárida de Navarra". 32 p.
- Acosta Henríquez, G. F. y Mendoza Torres, C. M. (2017). "Aplicaciones de los drones en la agricultura". *Anuario de Investigación*, 6: 351-365.
- Berrío M., V. A.; Mosquera T., J.; y Alzate V., D. F. (2015). "Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión". *@Limen-tech Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, 13: 28-40.
- Boken, V. K.; Cracknell, A. P.; y Heathcote, R. L. (2005). *Monitoring and predicting agricultural drought: a global study*. Oxford University Press.
- Bright, L. Z.; Handley, M.; Chien, I.; Curi, S.; Brownworth, L. A.; D'hers, S.; Elman, N. M. (2016). "Analytical models integrated with satellite images for optimized pest management". *Precision Agric*, 17: 628-636.
- Cittadini, M.; Del Boca, A.; Fuentes, L. E.; y Nardi, F. E. (2016). "Relación entre índices de vegetación y rendimiento en maíz" (Bachelor's thesis). Universidad de Córdoba.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. InfoStat versión (2018). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz, J. y Cervigón, J. (2015). "Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión". Universidad Complutense de Madrid.
- Dobermann, A. y Fairhurst, T. (2000). "Manejo del nitrógeno en arroz". *Revista Informaciones Agronómicas*, 68: 1-6.
- Esser, A.; Ortega, R.; y Santibáñez, O. (2002). "Viticultura de precisión: Nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia productiva en viñas". *Agronomía y Forestal UC*, 5(15): 4-9.
- Frankelius, P.; Norrman, C.; y Johansen, K. (2017). "Agricultural Innovation and the Role of Institutions: Lessons from the Game of Drones". *Agric Environ Ethics*, 1-27. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9703-6>
- García, S. A. y Martínez, L. J. (2010). "Satellite image based method for rice (*Oryza sativa* L.) crop identification". *Agronomía Colombiana*, 28(2): 281-290.
- Gitelson, A. A.; Kaufman, Y. J.; y Merzlyak, M. N. (1996). "Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS". *Remote sensing of Environment*, 58(3): 289-298.
- Gitelson, A. A.; Kaufman, Y. J.; Stark, R.; y Rundquist, D. (2002). "Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction". *Remote sensing of Environment*, 80(1): 76-87.
- González, A.; Amarillo, G.; Amarillo, M.; y Sarmiento, F. (2016). "Drones aplicados a la agricultura de precisión". *Revista Especializada en Ingeniería*, 10: 23-37.
- Gröll, K.; Graeff, S.; y Claupein, W. (2007). "Use of vegetation indices to detect plant diseases". In GIL Jahrestagung (pp. 95-98)
- Han, Y. G.; Jung, S. H.; y Kwon, O. (2017). "How to utilize vegetation survey using drone image and image analysis software". *Journal of Ecology and Environment*, 41(1): 18.
- Holdridge, L. R. (1987). "Ecología basada en zonas de vida" (No. 83). *Agroamérica*.
- Huete, A. R. (1988). "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)". *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295-309.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodríguez, E. P.; Gao, X.; y Ferreira, L. G. (2002). "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". *Remote sensing of*

- environment*, 83(1-2): 195-213.
- Kemerer, A.; Di Bella, C.; Melchiori, R.; Benech, A.; y Álvarez, R. (2007). "Comparación de índices espectrales para la predicción del IAF en canopeos de maíz". In XII Congreso de Teledetección Google Scholar.
- Khan, Z.; Eichl, V. R.; Haefele, S.; Garnett, T.; y Miklavcic, S. J. (2018). "Estimation of vegetation indices for high-throughput phenotyping of wheat using aerial imaging". *Plant Methods*, 1-11. Obtenido de <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0287-6>
- Khan, Z.; Rahimi-Eichl, V.; Haefele, S.; Garnett, T.; y Miklavcic, S. J. (2018). "Estimation of vegetation indices for high-throughput phenotyping of wheat using aerial imaging". *Plant Methods*, 14(1): 20.
- Mahlein, A. K. (2016). "Plant disease detection by imaging sensors - parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping". *Plant Disease*, 2: 241-251.
- Maya, Y.; Lacaze, B.; Monteforte, M.; y Passini, M. F. (2004). "Análisis de imágenes SPOT: erosión en la región montañosa del sur de la Península de Baja California, México". *Terra Latinoamericana*, 22(1): 23-34.
- Pavón Pulido, N.; López Riquelme, J. A.; Torres, R.; Morais, R.; y Pastor, J. A. (2017). "New trends in precision agriculture: a novel cloud-based system for enabling data storage and agricultural task planning and automation". *Precision Agric*, 18: 1038-1068.
- Pearson, R. L. y Miller, L. D. (1972). "Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie". En *Remote Sensing of Environment*, VIII (p. 1355).
- Ren, J.; Chen, Q.; y Zhou H., Tang (2008). "Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China". *Intl. J. Appl. Earth Observ. Geoinform*. 10: 403-413.
- Richardson, A. J. y Wiegand, C. L. (1977). "Distinguishing vegetation from soil background information". *Photogrammetric engineering and Remote Sensing*, 43(12): 1541-1552.
- Rouse Jr., J.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; y Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*.
- Saavedra, D.; Machado, L.; Murcia, V.; y Rodríguez, D. (2017). "Incidencia de las condiciones climáticas sobre el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el Municipio de Campoalegre-Huila". *Rev. Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*. 10-25.
- Sripada, R. P.; Heiniger, R. W.; White, J. G.; y Meijer, A. D. (2006). "Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn". *Agronomy Journal*, 98(4): 968-977.
- Thiam, A. y Eastman, R. (1992). "Vegetation indices". Cap. 13. pp. 1-16. In: Eastman, J.R. (ed.). *User's guide IDRISI Version 4.0*. Clark University. Worcester, MA.



Gallinas ponedoras de la unidad productiva avícola en el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Regional Huila.

ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN EN AVES DE POSTURA CON *TEPHROSIA PURPUREA* (L.) PERS EN EL CENTRO DE FORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Daniel Fernando Ardila Ferro
Paula Alejandra Cubillos Villada
Óscar Ricardo Cano Ramírez
Laura Constanza Rojas Basto
Diego Orlando Grisales
David Saavedra Mora

*Grupo de Investigación Agroindustrial La Angostura
Semillero de investigación agrícola*

*Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) - Regional Huila, Centro de Formación Agroindustrial
Correspondencia autores: saavedra.deivi60@gmail.com*

Resumen: La industria avícola es un sector con crecimiento anual de 2% a 4%, por la facilidad económica de la obtención de la proteína animal, por ello es necesario ser más competitivos (reducir los costos o mejorar la calidad). El objetivo del presente estudio fue evaluar dietas con *Tephrosia purpurea* (L.) en gallinas ponedoras Isa Brown. Se realizó un tratamiento experimental con porcentaje progresivo de harina de *Tephrosia purpurea* (L.) en 10 gallinas y un control con alimentación normal (concentrado comercial) a otras 10 gallinas, durante ocho semanas; al finalizar se eligieron al azar 10 huevos de cada grupo de gallinas, para realizar un análisis físico. Para el análisis de la información, los resultados se sometieron a un análisis de la varianza con la prueba de Fisher $<0,05$, en donde se encontró diferencias significativas ($<0,05$) entre ambos grupos, pues el peso en el Grupo 1 (G1) (66,16 g) aumentó 2,05% respecto al peso en el Grupo 2 (G2) (64,83 g); el grosor en la cáscara de huevo en G1 (0,69 mm) mejoró un 40,81% respecto a G2 (0,49 mm). Igualmente, la pigmentación en la yema del huevo evidenció una coloración más intensa en G1 respecto a G2, mejorando la aceptación del consumidor. En este sentido, los resultados sugieren que *Tephrosia purpurea* (L.) podría utilizarse como complemento alimenticio en la alimentación de gallinas ponedoras para mejorar los parámetros de calidad del huevo.

Palabras claves: gallinas Isa Brown, dieta, suplementación, calidad del huevo, pigmentación.

ALTERNATIVE FEEDING IN LAYING BIRDS WITH *TEPHROSIA PURPUREA* (L.) PERS IN CENTRO DE FORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Abstract: The poultry industry is a sector with constant growth (2-4%) for the economic ease of obtaining animal protein, so it is necessary to be more competitive (reduce costs or improve quality). The objective of the study was to evaluate diets with *Tephrosia purpurea* (L.) in laying hens Isa Brown. An experimental treatment with progressive percentage of flour of *Tephrosia purpurea* (L.) in 10 hens and a control with normal feeding (commercial concentrate) to 10 hens was carried out, during eight weeks, at the end 10 eggs were chosen at random from each group of hens, to perform physical analysis. For the analysis of the information, the results were subjected to an analysis of the variance with the Fisher test $<0,05$, significant differences were found ($<0,05$) between both groups, where the weight in Group 1 (G1) (66,16 g) increased 2,05% with respect to weight in Group 2 (G2) (64,83 g); thickness in the eggshell in G1 (0,69 mm) improved by 40,81% compared to G2 (0,49 mm). Also, the pigmentation in the yolk of the egg showed a more intense coloration in G1 with respect to G2, improving consumer acceptance. In this sense, the results suggest that *Tephrosia purpurea* (L.) could be used as a dietary supplement in laying hens to improve egg quality parameters.

Keywords: hens Isa Brown, diet, supplementation, egg quality, pigmentation.

Introducción

La industria avícola colombiana ha tenido un crecimiento de 1,56 millones de toneladas; la del huevo se estimó en 13,828 millones de unidades, mientras que el consumo per cápita durante el mismo año fue de 32,7 kilos de carne de pollo, y el consumo registrado de huevo fue de 279 unidades; para el 2018 se estima un alza en el consumo de 15 unidades per cápita y una producción de 14,803 millones de huevos, posicionándolo como la proteína animal más consumida en el país (FENAVI, 2017).

Las aves, en especial las gallinas, son una especie monogástrica con un sistema digestivo constituido por el buche, el proventrículo y la molleja (Stevens y Hume, 2004); la molleja cumple una importante función digestiva en su interior, lo que permite que la pepsina de origen proventricular actúe sobre los alimentos (Sturkie, 1955), que se descomponen de forma mecánica y química en el sistema digestivo; así, se hace posible la absorción

y distribución uniforme de los nutrientes en el cuerpo del ave (Gao *et al.*, 2013); Por esta razón, el sector se ha especializado en elaborar alimentos balanceados que cumplan las necesidades fisiológicas. Partiendo del funcionamiento digestivo y el manejo tradicional (Sgavioli *et al.*, 2013), nace la idea de suplementar aves con especies forrajeras que disminuyan los costos de producción, con el fin de generar bienestar y dar un valor agregado al huevo (Xia *et al.*, 2018).

La producción avícola ha tenido un crecimiento exponencial desde 1961 debido a la organización gremial, los avances tecnológicos y el consumo per cápita (Díaz, 2017), y para sostener la producción; es necesario diversificar las alternativas de alimentación (Betancourt *et al.*, 2017). El presente estudio buscó evaluar la calidad del huevo de acuerdo a parámetros físicos y porcentaje de producción en aves de postura, incluyendo una suplementación con *Tephrosia purpurea* (L.); que es una

planta arbustiva de la familia de las fabáceas introducida a Colombia por Cenicafé; es originaria de Asia y contiene alcaloides, flavonoides, entre otras sustancias que promueven la buena salud, por ende es utilizada en la medicina natural para el tratamiento de diversas enfermedades (Nile *et al.*, 2014); su aceite resulta esencial en la actividad larvicida (Arriaga *et al.*, 2014), se implementa como abono verde por su capacidad simbiótica con micorrizas que fijan nitrógeno al suelo (Thilakarathna *et al.*, 2016), y en diversos estudios en la prevención de enfermedades como la nefropatía diabética (Jain *et al.*, 2014).

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la unidad avícola del Centro de Formación Agroindustrial “La Angostura” Regional Huila (Campoalegre), en el departamento del Huila, ubicado geográficamente en las coordenadas 2°41’06.30” lat. N, -75°19’35.91” Long. W, a una altitud 612 msnm, en una zona con las siguientes condiciones climáticas: temperatura promedio de 28°C, humedad relativa promedio de 62%, precipitación promedio anual de 1300 a 1800 mm (Saavedra *et al.*, 2017); de igual forma, la zona ecológica está clasificada como de bosque seco tropical Bs-T (Holdridge, 1987).

Diseño experimental

Se distribuyeron dos grupos de gallinas: el Grupo 1 con 10 gallinas separadas en una estructura en hierro (jaula) de 2,30 m x 1,30 m, con el plan de alimentación complementado con la harina de *Tephrosia purpurea* (L.) (agregando gradualmente *Tephrosia purpurea* [L.] a la dieta basal durante 60 días); y el Grupo 2, considerado testigo, con el plan de alimentación común basado en suplementación comercial. Todas las gallinas fueron de la línea Isa Brown, que tiene un alto índice de productividad (Pareja y Restrepo, 2015).

Tabla 1. Dietas para el diseño experimental

Monitoreo	Dietas (T1)
Semana 1 y 2	20 g de <i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers. +80 g de concentrado (ponedora)
Semana 3 y 4	40 g de <i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers. + 80 g de concentrado (ponedora)
Semana 5 y 6	60 g de <i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers. + 80 g de concentrado (ponedora)
Semana 7 y 8	80 g de <i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers. + 80 g de concentrado (ponedora)

Fuente: Elaboración propia.

Para la preparación de la alimentación a base de *Tephrosia purpurea* (L.) en forma de harina, se recolectó follaje, se lo deshidrató a 60 °C durante 8 horas y se lo molió hasta obtener la textura deseada (figura 1).



Figura 1a. Recolección de *Tephrosia purpurea* (L.) en el Centro de Formación Agroindustrial. Figura 1b. Separación y alimentación de gallinas con *Tephrosia purpurea* (L.).



Figuras 2a y 2b. Alimentación de aves de postura en fase III con la dieta suministrada de *Tephrosia purpurea* (L.).

Recolección de variables

Las variables se recolectaron basándose en la correlación de cálculos geométricos de los huevos. El análisis se realizó acorde a la metodología propuesta por Casas *et al.* (2016), donde se registraron el peso (g), el grosor de cáscara (mm), el diámetro mayor/DMa (mm), y el diámetro menor/DMe (mm). Para la recolección de las variables DMa, DMe y grosor de la cáscara se empleó un pie de rey digital y una balanza de precisión de 0,001 g, para el peso de los huevos se calculó el índice de forma mediante la ecuación implementada en Shafey *et al.* (2015):

$$\text{Índice de forma} = \text{DMe} / \text{DMa} * 100$$

Las variables recolectadas DMa y DMe se utilizaron para determinar el coeficiente de volumen teórico (kv) y el coeficiente de superficie (ks), de acuerdo con la metodología establecida por Narushin (2005).

$$kv = 0,6057 - 0,0018 * (\text{DMe})$$

$$ks = 3,155 - 0,0136 * (\text{DMa}) + 0,0155 * (\text{DMe})$$

Así mismo, se determinó con cálculos el volumen teórico (Vt) y la superficie (S) mediante las ecuaciones desarrolladas por Casas *et al.* (2016), que nos permite predecir las características del huevo importantes en la industria avícola, como el grosor de la cáscara y los parámetros internos que establecen la calidad del producto:

$$Vt = Kv * (\text{DMa}) * (\text{DMe})^2$$

$$S = Ks * (\text{DMa}) * (\text{DMe})$$

Análisis de la información

Las variables físicas del huevo se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), con pruebas de significancia LSD de Fisher ($p < 0.05$); de igual forma, se realizó una descripción general de medias. En los análisis se empleó el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Resultados y discusión

Se usó *Tephrosia purpurea* (L.) la cual, según la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, C.I. Nataima), información basada en análisis realizados por AGROSAVIA y la Universidad del Tolima, contiene 19,55% de proteína cruda (PC), 37,54% de fibra detergente neutra (FDN), 6,6% de ceniza (Ce), 0,78% de calcio (Ca), 0,24% de fósforo (P), 33,72% de zinc (Zn) y 6,89% de cobre (Cu), que son nutrientes indispensables en el desarrollo de las gallinas.

Análisis físico de huevos

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio de control y calidad de alimentos del Centro de

Formación Agroindustrial, para el Grupo 2 (alimentación sin *Tephrosia*) y el Grupo 1 (alimentación con *Tephrosia*) no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) en las variables físicas de huevo, aunque se evidenció un incremento leve en las variables de DMe con valores de $(43\pm0,71\text{ mm})$ respecto a $(42,6\pm0,51)$ en T1 y To; también se evidenció un incremento considerable en el peso del huevo, así como en el grosor de la cáscara, en donde se registró $(64,83\pm2,14\text{ g})$ a $(66,16\pm2,32\text{ g})$, y $(0,49\pm0,03\text{ mm})$ a $(0,69\pm0,05\text{ mm})$, respectivamente.

Tabla 2. Análisis físico del huevo

Variables	To	T1	p-Valor
	Media	Media	
DMe (mm)	42,6±0,51 a	43±0,71 a	0,6586
DMa (mm)	58,27±1,08 a	58,09±0,32 a	0,876
Peso (g)	64,83±2,14 a	66,16±2,32 a	0,6836
GR (mm)	0,49±0,03 a	0,69±0,05 a	0,1416

En donde DMe: Diámetro menor; DMa: Diámetro mayor; GR: Grosor de cáscara; To: Sin suplementación de *Tephrosia purpurea* (L.); T1: Alimentación con *Tephrosia purpurea* (L.).

Los resultados (tabla 2) muestran que la suplementación con *Tephrosia purpurea* (L.), a pesar de no tener diferencias, presentó un efecto positivo sobre el grosor de la cáscara del huevo con el 40,81% en T1 con 0,69 mm, respecto al testigo. Un estudio similar realizado por Selim *et al.* (2018), con suplementación con *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*, registró un aumento de la cáscara con 34,71%, que posiblemente se debe a lo mencionado por Stefanello *et al.* (2013), donde las fuentes orgánicas de minerales como zinc (Zn) y cobre (Cu) aumentan el espesor de la cáscara del huevo, y por eso se evidencia un efecto directo en el desarrollo del cascarón. Sin

embargo, estudios con otras especies señalados por Cruz *et al.* (2006), con una suplementación con 70% de *Manihot esculenta* Crantz, disminuyó 11,31% del grosor de la cáscara del huevo. Lo anterior nos permite deducir que el grosor de la cáscara dependerá de la especie forrajera como dieta nutricional, la edad de las gallinas y la raza (Jacob *et al.*, 2000; Jones y Musgrove, 2005; Oliveira *et al.*, 2009; Moula *et al.*, 2009; Washburn y Marks, 1985; Monira *et al.*, 2003). Es así que la especie *Tephrosia purpurea* (L.) favorece la calidad del huevo, además de facilitar y asegurar el transporte y comercialización por la dureza de la cáscara (Ortiz y Mallo, 2009); de hecho, las exigencias de las empresas clasifican mejor aquellos huevos con mayor grosor y peso (Hunton, 2005).

Con relación al peso y la suplementación con dietas a base de forrajes, se incrementó un 2,05% en el peso del huevo del Grupo 1 respecto al Grupo 2 (tabla 2), y respecto a las semanas de monitoreo, donde pasó de 62,41 g (semana uno) a 65,63 g (semana seis), encontrando diferencias significativas ($p<0.05$) (figura 3a). Lo anterior puede verse afectado positivamente por la porción de alimento que se incluyó de *Tephrosia purpurea* (L.), debido a que a medida que se fue incrementando el suplemento con *Tephrosia*, fue proporcional al peso de los huevos (figura 3b), donde con una ración de 1000 g de *Tephrosia purpurea* (L.) se presentó un peso promedio de 62,4 g, y a partir de la cuarta semana, con una ración de 1260 g de *Tephrosia purpurea* (L.) se obtuvo una diferencia significativa en el peso promedio del huevo de 4,96% con 65,5 g, correspondiente a los resultados de Xia *et al.* (2018), que registró un aumento del 4,66% del peso de los huevos. De igual forma, estudios realizados por Fernández *et al.* (2008) registraron un peso del huevo de 67,23 g y un grosor de cáscara de 0,300 mm con suplementación de alimentos que contienen zinc, manganeso y selenio orgánicos, lo que nos permite deducir que hay una relación directa entre los cambios del grosor de la cáscara producidos por minerales orgánicos y el peso

del huevo. Por otra parte, en estudios realizados por González *et al.* (2014), en una revisión sobre los beneficios en otras especies como el botón de oro, se reportó que las alternativas de alimentación influyen positivamente en la digestión de los animales monogástricos, que se reflejan en la evolución del peso corporal pero también en la producción.

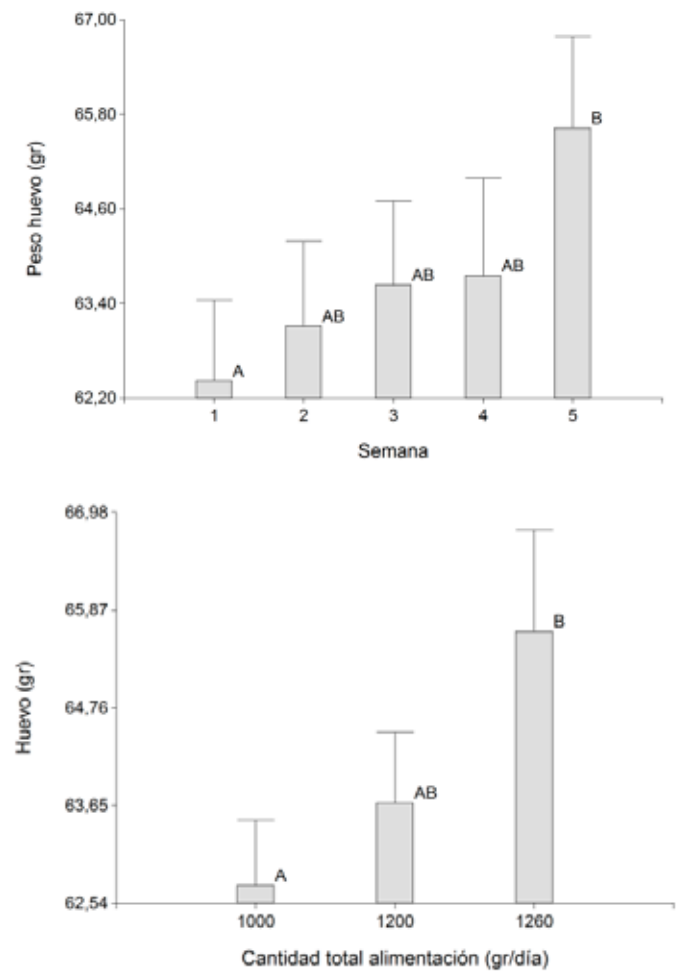


Figura 3a. Incremento de peso del huevo en las gallinas con alimentación de *Tephrosia purpurea* (L.). **Figura 3b.** Porción de alimentación con *Tephrosia purpurea* (L.) con relación al peso del huevo.

Principales características físicas

Con las variables obtenidas se determina el volumen (V) y la superficie (S), donde, así como en el estudio realizado por Casas *et al.* (2016), no se evidenció una dife-

rencia estadística significativa ($p < 0,05$) de coeficiente de volumen (kv), coeficiente de superficie (ks), volumen (V) y superficie (S) entre los tratamientos; sin embargo, se observa una disminución considerable (2,51%) en el índice de forma (IF) del Grupo 1 (alimentación con *Tephrosia*) respecto al Grupo 2 (alimentación sin *Tephrosia*).

Tabla 3. Características físicas

Variables	To		T1		p-Valor
	Media	CV	Media	CV	
IF	75,88 a	6,58	74,02 a	3,49	0,4804
kv	0,53 a	0,39	0,53 a	0,54	0,6586
ks	2,85 a	1,01	2,86 a	0,62	0,6528
V	56,01 a	7,76	56,80 a	7,28	0,7767
S	70,81 a	5,27	71,44 a	4,67	0,7858

Donde IF: índice de forma; Kv: coeficiente para el volumen promedio; Ks: coeficiente para la superficie; V: Volumen teórico; S: Superficie.

Los resultados (tabla 3) no muestran datos con diferencia estadísticamente significativa ($p=0,05$) con gallinas de la línea Isa Brown de 74,02 y 75,88, entre los tratamientos T1 y To respectivamente; son inferiores a estudios realizados por Gumus *et al.* (2018) con línea Lohmann Brown, índice de forma de 78,51 - 79,38 - 77,86 y 77,68 de testigo (alimentación basal), suplemento de 0,5% de zumaque (*Rhus coriaria* L.), 0,5% de cúrcuma y 0,25% de cúrcuma + 0,25% de zumaque, respectivamente. Igualmente, los resultados del estudio con dieta a base de mezcla de 0,5 mg de selenio orgánico / kg, 200 mg de luteína / kg y 200 mg vitamina E / kg, registraron datos superiores con índice de forma de 76,12 en gallinas ponedoras híbridas Tetra SL, de lo cual podemos deducir que existe una influencia en las características internas y externas del huevo por la línea genética en gallinas ponedoras. El volumen del huevo calculado en T1 (56,80) y To (56,01) es superior a datos calculados de 54,88 - 38,43 y 52,07 con gallinas Rhode Island Red,

locales y mestizas, respectivamente, hallados por Malago y Baitilwake (2009).

Diferencias de color en los huevos

Con respecto a los resultados al freír los huevos de los dos tratamientos con alimentación de *Tephrosia purpurea* (L.) (a) y huevos sin suministro de *Tephrosia purpurea* (L.) (b), en el Complejo Agroindustria del Centro de Formación Agroindustrial, y teniendo en cuenta lo mencionado por Estrada *et al.* (2010), donde la calidad del huevo una vez sale de la gallina es alterada por los factores climáticos y meteorológicos, se observó un mayor deterioro en la consistencia del huevo del Grupo 2, causando velocidad de pérdida de firmeza con res-

pecto al Grupo 1, el cual presentó condiciones del huevo estables, evidenciando que la membrana vitelina en la muestra G1, tuvo mayor resistencia a la cocción, manteniendo color y forma volumétrica en la yema respecto a la muestra G2, que mostró rompimiento, provocando un leve derrame en la yema y pérdida de uniformidad de la clara; estas características esenciales son determinantes para la demanda en restaurantes con una alta exigencia en sus productos. Lo anterior permite deducir que los huevos de gallinas alimentadas con *Tephrosia purpurea* (L.) tienen una ventaja competitiva en el mercado *gourmet*, según los parámetros internacionales de calidad del huevo en Europa (Hernández y Hamelin, 2007).

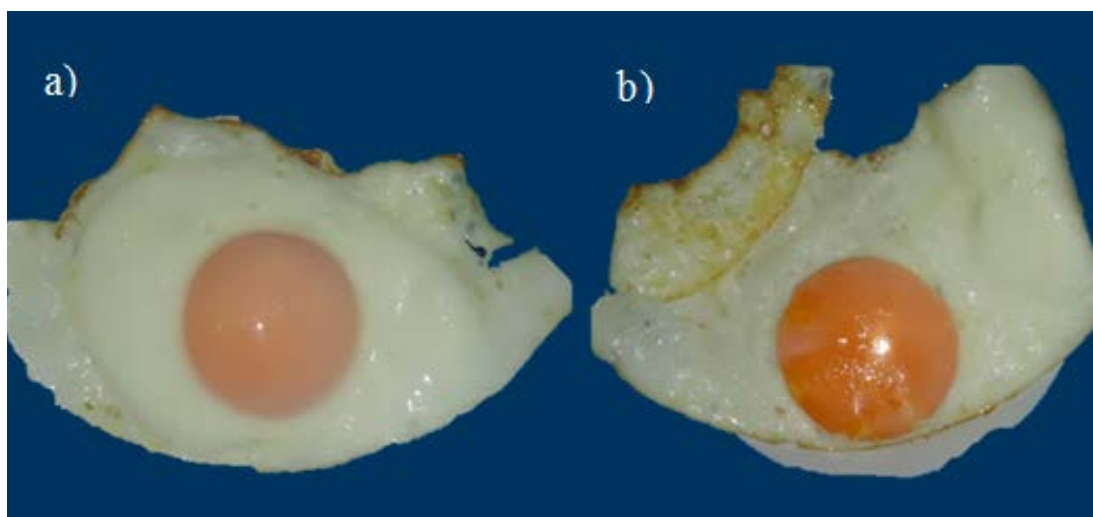


Figura 4a. Huevo con alimentación de *Tephrosia purpurea* (L.). **Figura 4b.** Huevo sin suministro de *Tephrosia purpurea* (L.).

Otros estudios realizados por Mohammed *et al.* (2012), demuestran que la suplementación de especies forrajeras puede mejorar la calidad del huevo, tanto en el color y contenido de proteínas como en la cantidad de grasas.

Estudios de Hammershoj *et al.* (2010) concluyeron que la suplementación a corto plazo en gallinas con zanahorias de colores mejora el color de la yema, debido

al aumento de carotenoides (>100 veces) respecto al testigo; de igual forma, resultados de implementación con harina de *Procambarus clarkii* arrojaron 9, 12, 10, 11 grados de pigmentación con sustitución del 0%, 30%, 22,5% y 26,25%, respectivamente (Mamián, 2015), de lo cual inferimos que el mejoramiento en la pigmentación de la yema del huevo es causado por el reemplazo en la proteína de la dieta basal por la proteína del suplemento.

Conclusión

La implementación de *Tephrosia purpurea* (L.) en la dieta de gallinas ponedoras es una alternativa viable en su alimentación debido a que proporciona una mejora en parámetros de calidad del huevo, tales como el grosor de la cáscara, el peso del huevo y la pigmentación de la yema, dado su contenido nutricional en proteína cruda (19,55%) y minerales orgánicos como calcio (0,78%), fósforo (0,24%), zinc (33,72%) y cobre (6,89%) presentes en la planta; sin embargo, es necesario realizar más estudios para determinar el porcentaje óptimo en la suplementación.

Referencias bibliográficas

- AGROSAVIA (2018). "Análisis bromatológico de *Tephrosia purpurea*". Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/?w=corpo>
- Arriaga, A. M.; Maria da Conceicao, F.; Da Silva, M. G. R.; De Lemos, T. L.; Da Silva, F. R. L.; Tavares, L. C.; y Braz-Filho, R. (2014). "*Tephrosia purpurea*: A Source of Larvicidal Compounds Against *Aedes Aegypti*". *Chemistry of Natural Compounds*, 50(6): 1125-1127.
- Betancourt, J. A.; Nuñez, L. A.; y Castaño, G. A. (2017). "Supply of *Tithonia diversifolia* silage alone or mixed with cassava bran in broilers diet". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(2).
- Casas Rodríguez, S.; Guerra Casas, L.; Ceró Rizo, Á.; y Uña Izquierdo, F. (2016). "Empleo de los diámetros del huevo para el cálculo del volumen y superficie y su correlación con otros caracteres externos e internos en tres propósitos de gallinas reproductoras". *Revista de Producción Animal*, 28(2-3): 33-38.
- Cruz, F. G. G.; Pereira Filho, M.; y Chaves, F. D. L. (2006). "Efeito da substituição do milho pela farinha da apara de mandioca em rações para poedeiras comerciais". *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(6): 2303-2308.
- Díaz, M. M. A. (2017). "Determinantes del desarrollo en la avicultura en Colombia: instituciones, organizaciones y tecnología". *Revista del Banco de la República*, 87(1046): 21-56.
- Estrada Pareja, M. M.; Galeano Vasco, L. F.; Herrera Torres, M. D. R.; y Restrepo Betancur, L. F. (2010). "Efecto de la temperatura y el volteo durante el almacenamiento sobre la calidad del huevo comercial". *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(2): 183-190.
- FENAVI (2017). "Consumo per-cápita avícola" [en línea]. Disponible en: <http://fenavi.org/-estadisticas/consumo-per-capita-pollo/>
- Fernández, J. I. M.; Murakami, A. E.; Sakamoto, M. I.; Souza, L. M. G.; Malaguido, A.; y Martins, E. N. (2008). "Effects of organic mineral dietary supplementation on production performance and egg quality of white layers". *Brazilian Journal of Poultry Science*, 10(1): 59-65.
- Gao, H.; Liu, Z.; Qu, X.; y Zhao, Y. (2013). "Effects of Yerba Mate tea (*Ilex paraguariensis*) on vascular endothelial function and liver lipoprotein receptor gene expression in hyperlipidemic rats". *Fitoterapia*, 84: 264-272.
- Gumus, H.; Oguz, M. N.; Bugdayci, K. E.; y Oguz, F. K. (2018). "Effects of sumac and turmeric as feed additives on performance, egg quality traits, and blood parameters of laying hens". *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47.
- Hammershoj, M.; Kidmose, U.; y Steenfeldt, S. (2010). "Deposition of carotenoids in egg yolk by short-term supplement of coloured carrot (*Daucus carota*) varieties as forage material for egg-laying

- hens". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(7): 1163-1171.
- Hernández, J. M. y Hamelin, C. (2007). "La página web del huevo amarillo: todo lo que quieres saber sobre huevos y carotenoides". *Selecciones Avícolas*, 10(9): 291-292.
- Holdridge, L. R. (1987). "Ecología basada en zonas de vida" (No. 83). *Rev. Agroamérica*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Jacob, J. P.; Miles, R. D.; y Mather, F. B. (2000). "Egg quality". Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), *University of Florida PS*, 24.
- Jain, A.; Nahata, A.; Lodhi, S.; Singhai, A. K. (2014). "Effects of *Tephrosia purpurea* and *Momordica dioica* on streptozotocin-induced diabetic nephropathy in rats". *Biomedicine y Preventive Nutrition*, 4(3): 383-389.
- Jones, D. R. y Musgrove, M. T. (2005). "Effects of extended storage on egg quality factors". *Poultry science*, 84(11): 1774-1777.
- Malago, J. J. y Baitilwake, M. A. (2009). "Egg traits, fertility, hatchability and chick survivability of Rhode Island Red, local and crossbred chickens". *Tanzania Vet. J.*, 26(1): 24-36.
- Mamián, P. e Isabel, D. (2015). "Efecto en pigmentación, calidad de huevo y rendimiento productivo, del reemplazo de la proteína de torta de soya por proteína de harina de cangrejo de río (*Procambarus clarkii*) en la dieta de gallinas semipesadas (51 a 63 semanas de edad)". Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, 149.
- Mohammed, K. A. E. F.; Sarmiento-Franco, L.; Santos-Ricalde, R.; y Solorio-Sánchez, J. F. (2012). "The nutritional effect of Moringa oleifera fresh leaves as feed supplement on Rhode Island Red hen egg production and quality". *Tropical animal health and production*, 44(5): 1035-1040.
- Moula, N.; Antoine-Moussiaux, N.; Farnir, F.; y Leroy, P. (2009). "Comparison of egg composition and conservation ability in two Belgian local breeds and one commercial strain". *International Journal of poultry science*, 8(8): 768-774.
- Monira, K. N.; Salahuddin, M.; y Miah, G. (2003). "Effect of breed and holding period on egg quality characteristics of chicken". *International Journal of Poultry Science*, 2(4): 261-263.
- Narushin, V. G. (2005). "Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth". *Poultry science*, 84(3): 482-484.
- Nile, S. H. y Park, S. W. (2014). "α-Glucosidase Inhibitory Activity of Pyranochromenes and Root Extracts of *Tephrosia purpurea*". *Chemistry of Natural Compounds*, 50(6): 1113-1115.
- Oliveira, G. E.; Figueiredo, T. C.; Souza, M. R.; Oliveira, A. L.; Cancado, S. V.; y Gloria, M. B. A. (2009). "Bioactive amines and quality of egg from Dekalb hens under different storage conditions". *Poultry science*, 88(11): 2428-2434.
- Ortiz, Á. y Mallo, J. J. (2009). "Factores que afectan a la calidad externa del huevo".
- Pareja, M. M. E. y Betancur, L. F. R. (2015). "Caracterización de parámetros productivos para líneas genéticas de ponedoras, ubicadas en zona de trópico alto". *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1): 46-57.
- Saavedra, D.; Machado, L.; Murcia, V.; Rodríguez, D. (2017). "Incidencia de las condiciones climáticas sobre el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el Municipio de Campoalegre-Huila". *Rev. Agropecuaria*

- y *Agroindustrial La Angostura*. 10-25.
- Selim, S.; Hussein, E.; y Abou-Elkhair, R. (2018). "Effect of *Spirulina platensis* as a feed additive on laying performance, egg quality and hepatoprotective activity of laying hens". *European Poultry Science*, 82.
- Sgavioli, S.; Filardi, R. da S.; Praes, M. F. F. M.; Domingues, C. H. de F.; Andrade, P. de C.; Pileggi, J.; Boleli, I. C.; y Junqueira, O. M. (2013). "Effect of forced-molting methods and rearing temperatures on the performance and organ biometrics of laying hens". *Brazilian Journal of Poultry Science*, 15(3): 239-245.
- Shafey, T. M.; Hussein, E. S.; Mahmoud, A. H.; Abouheif, M. A.; y Al-Batshan, H. A. (2015). "Managing Collinearity in Modeling the Effect of Age in the Prediction of Egg Components of Laying Hens Using Stepwise and Ridge Regression Analysis". *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17(4): 473-482.
- Stevens, C. E. y Hume, I. D. (2004). "Comparative physiology of the vertebrate digestive system". Cambridge University Press.
- Stefanello, C.; Santos, T. C.; Murakami, A. E.; Martins, E. N.; y Carneiro, T. C. (2013). "Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals". *Poultry science*, 93(1): 104-113.
- Sturkie (1955). "Effect of sex and age on blood pressure in the duck and pigeon". *American Journal of Physiology*, 183, 141.
- Thilakarathna, M. S.; McElroy, M. S.; Chapagain, T.; Papadopoulos, Y. A.; y Raizada, M. N. (2016). "Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review". *Agronomy for sustainable development*, 36(4): 58.
- USDA (2017). "Economics, Statistics and Market Information System". [En línea]. Accesible en internet: <http://usda.mannlib.cornell.edu-/MannUsda/view-DocumentsInfo.do?-documentID=1488>
- Washburn, K. W. y Marks, H. L. (1985). "Changes in egg composition of lines selected for divergence in yolk cholesterol concentration". *Poultry Science*, 64(2): 205-211.
- Xia, B.; Liu, Y.; Sun, D.; Liu, J.; Zhu, Y.; Lu, L. (2018). "Effects of green tea powder supplementation on egg production and egg quality in laying hens". *Journal of Applied Animal Research*, 46(1): 927-931.



Actividades de formación en el laboratorio de cárnicos del Complejo Agroindustrial - Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Regional Huila.

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE LECHONES EN LA FASE DE LACTANCIA

Rafael Andrés Contreras-Quintero

Daniel Eduardo Huertas-Montiel

Roberto Arturo Angulo-Arroyave

Andrés Felipe Gutiérrez-Giraldo

Grupo de Investigación en Recursos Naturales, Biotecnología y Bioprospección (RENABBIO)

Semillero de Investigación en Gestión de la producción agropecuaria y desarrollo de sistemas sostenibles (GEAGRO)

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Regional Caldas.

Centro Pecuario y Agroempresarial - Programa AgroSENA.

Correspondencia autores: raarroyave@sena.edu.co

Resumen: La utilización de ácido cítrico en lechones ha mostrado efecto positivo en el control del pH gástrico, la digestibilidad de la proteína cruda y de los aminoácidos y el balance de los microorganismos de intestino en lechones, mejorando el desempeño productivo. En el presente estudio se evaluó el efecto de la utilización de ácido cítrico en el desempeño productivo de lechones en la fase de lactancia. Fueron utilizadas 12 camadas de cerdas multíparas en las cuales se evaluaron cuatro concentraciones de ácido cítrico en el agua de bebida (0, 1, 2 y 3%) sobre el peso al destete (PD), ganancia de peso diaria (GPD), consumo de alimento en la etapa (CDE), la incidencia de diarreas (IDC) y la mortalidad asociada a problemas digestivos (MDA). Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Se aplicó la prueba de Tukey para obtener las diferencias entre las medias. Se observó que la adición de ácido cítrico tiene un efecto significativo ($P < 0,05$) sobre el peso al destete (PD), la ganancia de peso diaria (GPD) y el consumo de alimento en la etapa (CAE) cuando se suministra en concentraciones del 3%. Se observó una diferencia significativa en la reducción de IDC y MAD. Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que el suministro de ácido cítrico mejora el desempeño productivo de cerdos en lactancia y reduce la presentación de diarreas y la mortalidad asociada a problemas digestivos.

Palabras clave: Cerdos, consumo, diarrea, mortalidad, parámetros productivos.

EFFECT OF THE ADDITION OF CITRIC ACID ON THE PRODUCTIVE PERFORMANCE OF PIGLETS IN THE LACTATION PHASE

Abstract: The use of citric acid in piglets has shown a positive effect in the control of gastric pH, the digestibility of crude protein and amino acids and the balance of intestinal microorganisms in piglets, improving productive performance. In the present study, the effect of the use of citric acid on the productive performance of piglets in the lactation phase was evaluated. 12 litters of multiparous sows were used in which four concentrations of citric acid in the drinking water (0, 1, 2 and 3%) were evaluated on the weight at weaning (PD), daily weight gain (GPD), consumption of food in the stage (CDE), the incidence of diarrhea (IDC) and mortality associated with digestive problems (MDA). For the statistical analysis a completely randomized design (DCA) was used, with four treatments and three repetitions. Tukey test was applied to obtain the differences between the means. It was observed that the addition of citric acid, has a significant effect ($P < 0.05$) on the weight at weaning (PD) and the daily weight gain (GPD) and the food consumption in the stage (CAE) when it supplies in 3% concentrations. A significant difference was observed in the reduction of IDC and MAD. The results obtained in this work show that the citric acid supply improves the productive performance of pigs in lactation and reduces the presentation of diarrhea and the mortality associated with digestive problems.

Keywords: Pigs, consumption, diarrhea, mortality, productive parameters

Introducción

El parámetro técnico que define la productividad de una granja de cerdos es el número de lechones destetados por cerda cada año, factor que se ve afectado por el alto índice de mortalidad que se presenta en esta etapa de producción y que afecta directamente la eficiencia económica de los sistemas de producción porcina (Weber *et al.*, 2009). Las mayores pérdidas por mortalidad de lechones se presentan en la etapa de lactancia, producidas principalmente por enfermedades digestivas que se traducen en diarreas causadas por *Escherichia coli* (Metzler *et al.*, 2005; Alonso-Spilsbury *et al.*, 2007). Se ha comprobado que la utilización de ácidos en los sistemas de alimentación tiene una relación con la exclusión competitiva de bacterias patógenas (Lalles *et al.*, 2007) y que su efecto genera una influencia posi-

tiva en el balance de la microflora intestinal, integridad y maduración del epitelio asociado al intestino y funcionamiento del sistema neuro-endocrino en lechones en etapas tempranas (Metzler *et al.*, 2005). Los ácidos orgánicos han sido utilizados como antimicrobianos y promotores de crecimiento en dietas para lechones y se ha observado su efecto en el control del pH gástrico, en el incremento de la eficiencia de la pepsina y de la actividad de las enzimas proteolíticas, mejorando la digestibilidad de la proteína cruda y de los aminoácidos, en la reducción de la producción de poliaminas tóxicas —cadaverina y putrexina— y amonio en el íleon y en el colon, y como fuente directa de energía en el metabolismo intermediario (Mosenthin, 2003; Metzler *et al.*, 2005). Estos efectos permiten mantener un bajo pH

del tracto gastrointestinal y controlar el equilibrio de las poblaciones microbianas, reduciendo el riesgo de colonización de tramos posteriores del tracto digestivo por microorganismos patógenos (Jensen, 1998). El ácido cítrico, es un ácido orgánico tricarboxílico presente en algunos alimentos y que también se produce en el tracto gastrointestinal. Trabajos realizados por Campabadal *et al.*, 1995; Tsiloyiannis *et al.*, 2001; Risley *et al.*, 2011; y Ortiz-Rueda *et al.*, 2012, reportan que la adición de ácido cítrico en el agua en dosis de 0,5% y 3,0%, mejora la producción de ácido láctico, promoviendo el crecimiento de bacterias benéficas, efecto que se refleja en la ganancia diaria de peso, la conversión del alimento, la eficiencia alimenticia y la reducción en la incidencia de diarreas y la mortalidad asociada a problemas digestivos. El objetivo de este estudio fue comparar diferentes niveles de ácido cítrico en el agua de bebida de lechones durante la etapa de lactancia, evaluando el efecto de la inclusión sobre los parámetros productivos, así como la incidencia de diarreas y mortalidad asociada a problemas digestivos.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de una granja porcina comercial de cría propiedad de la empresa Agro-Inversiones San Mateo SAS, ubicada en la vereda Malabar, del municipio de Mariquita en el departamento del Tolima, ubicado a una latitud de 05° 12' 04", a una altitud de 495 msnm, una temperatura promedio de 26,1 °C y una precipitación media aproximada de 2267 mm.

Animales

Para el desarrollo de la investigación fueron seleccionadas 12 hembras multíparas de la línea genética comercial Hypor Libra (Porcigenes), inseminadas con macho terminal PIC 410 superior, las cuales al momento del parto se homogenizaron con tamaños de camada

de 12 lechones; adicionalmente, se verificó que la diferencia entre partos no fuera superior a dos (2) días. Las hembras fueron vacunadas a los 90 días de gestación con Porcilis® Coli, vacuna oleosa inactivada contra la enterotoxiosis en lechones causada por *E. Coli* y vermifugadas con 10 ml de Ivermectina al 1%. Al momento del nacimiento, a cada lechón se le realizó una curación de ombligo y corte de cola y se les aplicó por vía subcutánea 2 ml de hierro con una concentración de 200 mg y 0,2 ml de Amoxicilina (trihidrato) de 150 mg, y se les administró por vía oral 2 ml de Toltrazuril de 50 mg, de acuerdo a las indicaciones establecidas por PIC (2015).

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron: T0 = agua de bebida sin ácido cítrico; T1 = Agua de bebida con el 1% de ácido cítrico; T2 = Agua de bebida con el 2% de ácido cítrico; y T3 = Agua de bebida con el 3% de ácido cítrico. Todos los tratamientos fueron dosificados diariamente en bebederos individuales para cada camada 2000 ml de la mezcla de agua y el porcentaje de ácido cítrico correspondiente a cada tratamiento, para asegurar el consumo total de la mezcla.

Instalaciones

Se utilizaron 12 jaulas de maternidad individuales de 0,6 m de ancho, 1,8 m de largo y 1,0 m de alto, separadas con divisiones de PVC de 0,6 m de alto y 0,06 m de ancho, con piso plástico ranurado y separadas 50 cm, dotadas con bebedero de chupón y comedero individual para las hembras, y bebederos Dutty, comederos de preiniciación y lámparas de calefacción para los lechones. Cada jaula representó una unidad experimental y fueron distribuidas de manera aleatorizada antes del inicio del experimento.

Alimentación

Durante el periodo experimental, todas las cerdas consumieron 8 kg de una dieta de lactancia formulada para satisfacer sus necesidades nutricionales de acuer-

do a las tablas del National Research Council (NRC, 2012), fraccionada en 8 tomas diarias; y los lechones fueron alimentados a partir del día 7 de lactancia con concentrado comercial de preiniciación a voluntad en todos los tratamientos y suministrado dos veces al día para evitar desperdicios. Se tomaron muestras del alimento de ambos grupos, las que posteriormente fueron sometidas a análisis químico proximal (AOAC, 2002) en el Laboratorio de Nutrición Animal de Italcol S.A. (tabla 1).

Tabla 1. Composición bromatológica de los alimentos balanceados

Nutriente	Preiniciador	Lactancia
Proteína (Min)	20,5%	16%
Grasa (Min)	5%	5%
Humedad (Max)	13%	13%
Fibra (Max)	4%	10%
Ceniza (Max)	8%	9%

Fuente: Registro ICA: Preiniciador 8938, Lactancia 10891.

Variables evaluadas

Para obtener el peso al nacimiento (PN) y al destete (PD), cada camada de lechones fue pesada al nacimiento y posteriormente a los 21 días (ED), momento en el cual se realizó el destete de los animales. Con los pesos obtenidos, se calculó la ganancia de peso diaria (GPD), utilizando la siguiente formula:

(a) $GPD = (PD - PN) / ED$

Se registró el consumo diario de alimento de las camadas y se calculó el consumo total en la etapa (CAE), calculando la diferencia entre lo ofrecido y el rechazo. Se observó diariamente el número de lechones con casos nuevos de diarrea y, de acuerdo al número de animales, se obtuvo la incidencia en la camada (IDC) y se registró la mortalidad asociada a diarreas (MAD) en los lechones.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de las variables PN, PD, GPD, CAE, IDC y MAD se empleó un diseño completamente al azar (DCA), conformado por cuatro tratamientos, cada uno con tres repeticiones, en donde cada camada se consideró como una unidad experimental. Se utilizó la función ARCSENO para la transformación de los porcentajes. Las diferencias entre las medias se realizaron mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Se empleó el paquete estadístico SAS Studio 3.2 (SAS, 2017).

Resultado y discusión

Parámetros productivos

Los parámetros productivos obtenidos para cada tratamiento se muestran en la tabla 2. Se observa que la adición de ácido cítrico en el agua para consumo de los lechones en etapa de lactancia tiene un efecto significativo ($P < 0,05$) sobre el peso al destete (PD), la ganancia de peso diaria (GPD) y el consumo de alimento diario (CAE), cuando se suministra en concentraciones del 3%. Resultados diferentes fueron reportados por Campabadal *et al.*, 1995 y Ortiz-Rueda *et al.*, 2012, en donde no se encontraron diferencias significativas en la ganancia de peso y el consumo de alimento diario cuando utilizaron concentraciones de 1 y 2%. Varios autores reportan que la utilización de porcentajes superiores al 2% en la dieta de lechones mejora significativamente la producción de ácido láctico a nivel intestinal e incrementa la eficiencia de la utilización de la pepsina, mejorando así la digestibilidad de nutrientes y aumentando significativamente la conversión del alimento y, por lo tanto, la ganancia de peso (Jensen, 1998; Mosenthin, 2003; Campabadal *et al.*, 1995; Ortiz-Rueda *et al.*, 2012). Estos autores concluyen que el empleo de ácido cítrico en lechones mejora la eficiencia en la utilización del alimento y, por lo tanto, debe ser empleado como práctica de manejo rutinaria en las explotaciones porcinas comerciales.

Tabla 2. Efecto de diferentes niveles de adición de ácido cítrico sobre los parámetros productivos de lechones en etapa de lactancia

TRATAMIENTO	PN* (kg)	PD (kg)	GPD (kg/animal/día)	CAE (kg/animal etapa)
T0	1,47 ± 0,16 a	6,43 ± 0,25 a	0,238 ± 0,01 a	0,322 ± 0,20 a
T1	1,60 ± 0,20 a	6,83 ± 0,25 ab	0,249 ± 0,02 ab	0,338 ± 0,28 a
T2	1,47 ± 0,21 a	7,13 ± 0,25 ab	0,270 ± 0,01 ab	0,448 ± 0,19 ab
T3	1,50 ± 0,10 a	7,23 ± 0,25 b	0,273 ± 0,01 b	0,466 ± 0,25 b

*Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística (P<0,05) entre tratamientos. PN: Peso al nacimiento; PD: Peso al destete; GPD: ganancia de peso diaria; CAE: consumo de alimento diario.

Los resultados obtenidos difieren a los encontrados por Radecki *et al.* (1988), quienes señalan que la adición de ácido cítrico en altos niveles tiene un efecto negativo sobre el consumo de alimento y, por lo tanto, reduce la productividad. Walsh *et al.* (2007) afirman que la administración de ácidos orgánicos en el agua potable, en lugar del alimento, tiene la ventaja de que los lechones comienzan a consumirla de forma rápida si se compara con el consumo tardío del alimento. El efecto positivo del ácido cítrico en los parámetros productivos evaluados está asociado a la reducción del pH intestinal, lo cual favorece el incremento de la eficiencia de la pepsina y de la actividad de las enzimas proteolíticas, mejorando la digestibilidad de la proteína cruda y de los aminoácidos (Metzler *et al.*, 2005; Lalles *et al.*, 2007).

Incidencia de diarrea y mortalidad asociada

En la tabla 3 se presenta el efecto de los niveles de adición de ácido cítrico sobre la incidencia (IDC) y la mortalidad asociada a diarreas en las camadas evaluadas. Se observó una diferencia significativa en las camadas (P<0,05) a las cuales se les suministró ácido cítrico en la reducción de IDC y MAD. No se encontró diferencias significativas en los porcentajes de ácido cítrico evaluado. La mayor parte de las diarreas se caracterizaron por presentar consistencia semilíquida, coloración amarilla y gránulos de concentrado sin digerir, lo que es caracte-

ístico de una diarrea de tipo fisiológica. Estos resultados son similares a los reportados por Jensen (1998), Campabadal *et al.* (1995), Risley *et al.* (2011) y Tsiloyiannis *et al.* (2001), quienes observaron una reducción en el porcentaje de enfermedades digestivas cuando se suministraba diferentes niveles de ácido cítrico en el agua de consumo y en la dieta de lechones.

Los resultados obtenidos pueden estar asociados al efecto que ejerce el ácido cítrico en el balance de pH intestinal, el control de microorganismos patógenos, principalmente *E. Coli*, y la reducción de la producción de poliaminas tóxicas (Tsiloyiannis *et al.*, 2001; Metzler *et al.*, 2005). En este estudio, la adición de ácido cítrico demostró un efecto positivo en la reducción de la IDC y la MAD, factor que se considera como un buen indicador del balance microbiano y salud en el tracto intestinal. Esto concuerda con Ortiz-Rueda *et al.* (2012) quienes atribuyen el efecto del ácido cítrico como un controlador del balance microbiano en el intestino.

Tabla 3. Efecto de diferentes niveles de adición de ácido cítrico sobre la incidencia de diarreas (IDC) y la mortalidad asociada a diarreas (MAD) de lechones en etapa de lactancia

TRATAMIENTO	IDC* (% + DS)	MAD (% ± DS)
T0	25,0 ± 8,30 a	8,33 ± 8,34 a
T1	5,53 ± 4,79 b	2,76 ± 4,79 b

TRATAMIENTO	IDC* (% + DS)	MAD (% ± DS)
T2	2,76 ± 4,79 b	2,76 ± 4,79 b
T3	2,76 ± 4,79 b	2,76 ± 4,79 b

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística (P<0,05) entre tratamientos. IDC: Incidencia de diarreas; MAD: Mortalidad asociada a diarreas.

En un estudio realizado por Ortiz-Rueda *et al.* (2012) se encontró que el consumo de ácido cítrico mejora la proliferación de bacterias ácido lácticas en el intestino. De igual manera, Lalles *et al.* (2007) encontraron que las condiciones ácidas favorecen el crecimiento de lactobacilos en el estómago y posiblemente inhiben la colonización y proliferación de *E. coli* mediante el bloqueo de los sitios de adhesión y el aumento en la producción de ácido láctico y otros metabolitos que disminuyen el pH e inhiben *E. coli*, principal causante de patologías asociadas a desórdenes digestivos (Mosenthin, 2003).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que el suministro de ácido cítrico en lechones en etapa de lactancia mejora la ganancia de peso, el peso al destete y el consumo de preiniciador. Adicionalmente, reduce la presentación de diarreas y la mortalidad asociada a problemas digestivos. Se encontró, también, que la inclusión de concentración del 3% de ácido cítrico en el agua de consumo presenta un efecto positivo en las variables evaluadas y es una alternativa económicamente viable para mejorar el desempeño productivo de lechones en lactancia en las granjas porcinas comerciales.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa Agro Inversiones San Mateo SAS y a su equipo de trabajo, por su disposición en la ejecución de la investigación cuyos resultados se presentan en este artículo. Al Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e

Innovación (SENNOVA) del SENA, por la financiación del proyecto “Evaluación de rendimientos productivos en cerdos de levante y ceba e impacto en la adecuación de la porquinaza para usos agrícolas utilizando microorganismos eficientes”, con código SGPS-580-2016. Y a la instructora del SENA Centro Pecuario y Agroempresarial, Gloria Penagos, por el apoyo lingüístico.

Referencias bibliográficas

Alonso-Spilsbury, M.; Ramírez-Necoechea, R.; González-Lozano, M.; Mota-Rojas, D.; y Trujillo-Ortega, M. (2007). “Piglet survival in early lactation: a review”. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6: 78-86.

Campabadal, C.; Vargas, E.; y Fonseca, M. (1995). “Evaluación de los ácidos orgánicos en la alimentación de lechones. Uso de ácido cítrico”. *Agronoma Costarricense*, 19(1): 47-51.

Jensen, B. (1998). “The impact of feed additives on the microbial ecology of the gut in young pigs”. *J. Anim. Feed Sci*, 7: 45.

Lalles, J.; Bosi, P.; Smidt, H.; y Stokes, D. (2007). “Nutritional management of gut health in pigs around weaning”. *Proceedings of the Nutrition Society*, 66: 260-268.

Metzler, B.; Bauer, E.; y Mosenthin, R. (2005). “Microflora Management in the Gastrointestinal Tract of Piglet”. *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, 18(9): 1353-1362.

Mosenthin, R. (2003). “Strategies for optimizing gut health in piglets”. *Proceedings of the 12th conference on nutrition of domestic animals* (págs. 150-157). Zdravec-Erjavec Days.

NRC. (2012). *Nutrient requirements of swine*. Washington D.C.: 11th Ed. Nat. Acad. Press.

Ortiz-Rueda, D.; Ruiz-Salazar, J.; y Pereira-Tupaz, R. (2012). “Efecto del ácido cítrico sobre los parámetros productivos, metabólicos y coliformes totales

- en lechones durante las cuatro primeras semanas postdestete". *Revista Investigación Pecuaria*, 1(2): 32-40.
- PIC (2015). *Manual de manejo de hembras y primerizas*. Barcelona, España: PIC.
- Radecki, S.; Juhl, M.; y Miller, E. (1988). "Fumaric and citric acids as feed additives in starter pig diets: Effect on performance and nutrient balance". *Journal Animal Science*, 66: 2598-2605.
- Risley, C.; Kornegay, E.; Lindemann, M.; Wood, C.; y Eigel, W. (2011). "Effect of feeding organic acids on selected intestinal content measurements at varying times postweaning in pigs". *Journal Animal Science*, 70: 196-206.
- SAS (2017). *SAS® Lineage 3.2: User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Tsiloyiannis, V.; Kyriakis, S.; Vlemmas, J.; y Sarris, K. (2001). "The effect of organic acids on the control of porcine post-weaning diarrhea". T. V. K., S. C. Kyriakis, y J. V. Sarris (Edits.), *Veterinary Science*, 70, 287-293.
- Walsh, M. C.; Sholly, D. M.; Hinson, R. B.; Saddoris, K. L.; Sutton, A. L.; Radcliffe, J. S.; Odgaard, R.; Murphy, J.; y Richert, T. (2007). "Effects of water and diet acidification with and without antibiotics on weanling pig growth and microbial shedding. *Journal Animal Science*, 85: 1799-1808.
- Weber, R.; Keil, N.; Fehr, M.; y Horat, R. (2009). "Factors affecting piglet mortality in loose farrowing systems on commercial farms". *Livestock Science*, 124: 216-222.



Aislamiento de hongos edáficos en el laboratorio de microbiología en el Complejo de Ciencias básicas en el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Regional Huila.

SPIRULINA EN COLOMBIA: UNA APROXIMACIÓN DE SU POTENCIAL SEGÚN INVESTIGACIÓN INTERNACIONAL

Sergio Andrés Orduz y Marcela Rey Arévalo

William Torres Quitian

Carlos Martínez

Grupo de investigación Agroindustrial La Angostura
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Regional Huila
Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
Correspondencia autores: sorduz@gaiaibiodiversa.com

Resumen: Colombia tiene un potencial de biodiversidad enorme; tal es el caso del alga *Arthrospira* sp., también conocida como *Spirulina* sp., que es una de las especies más versátiles y sus usos abarcan industrias contrastantes como la energética o la agroindustrial. Esta situación es especialmente favorable en Colombia, cuya producción está en auge, aunque su potencial no es del todo comprendido.

El objetivo de esta revisión es consolidar la información académica internacional relacionada con el uso y las propiedades de *Spirulina* sp., para así poder proyectar dichas capacidades al producto final en el país. Para esto se realizó una metabúsqueda usando la base de datos SCOPUS con rango temporal desde 2008 hasta 2018, excluyendo información incompleta en dichas bases de datos. Esta consolidación permitió identificar que para la industria ambiental *Spirulina* sp. tiene potencial en la absorción de metales pesados como Cr, Zn, Pb; así mismo, tiene la capacidad de ser usada en tratamiento de aguas residuales o en mercados verdes. Por otra parte, se identificó que su potencial nutraceútico es grande, dados los compuestos antioxidantes o antimicrobianos que el alga posee. Desde la perspectiva clínica, el potencial es amplio, pero aún se recomiendan estudios para confirmar la información hasta el momento estudiada. Mientras que en el sector agroindustrial se resalta el uso de *Spirulina* sp. en la producción de los derivados lácteos, tales como yogurt y quesos. Para el caso de la industria pecuaria, esta alga es una excelente fuente nutricional para bovinos y porcinos. Por esta razón, la producción de *Spirulina* sp. en Colombia resulta ser importante por la cantidad de usos potenciales que tiene, así como la variedad de productos que pueden ser desarrollados en el país, consolidando aún más la capacidad de transformación industrial promovida por mercados verdes.

SPIRULINA IN COLOMBIA: AN APPROXIMATION OF ITS POTENTIAL ACCORDING TO INTERNATIONAL RESEARCH

Abstract: Colombia has a huge biodiversity potential; such is the case of the *Arthrospira* sp. algae, also known as *Spirulina* sp., which is one of the most versatile species and its uses include contrasting industries like renewable energy or agroindustrial. This situation is peculiarly favorable in Colombia whose production is booming, although its potential is not completely understood.

The main objective of this review is to consolidate international academic information related to the use and properties of *Spirulina* sp., in order to project these capabilities to the final product in the country. For this, the metasearch was performed managing the SCOPUS database with a time range from 2008 to 2018, excluding incomplete information within saying databases. This consolidation allowed identifying that for the environmental industry *Spirulina* sp. has potential in the selective absorption of heavy metals such as Cr, Zn, Pb; likewise, it has the capacity to be used in wastewater treatment or green markets. Then again, it was identified that its nutraceutical potential is great, given the antioxidant or antimicrobial compounds that the algae possess. From the clinical perspective, the potential is broad, but studies are still recommended to confirm the information until the moment studied. While in the agro-industrial sector it is common to use *Spirulina* sp. in the local production of dairy products, like yogurt and cheeses. In the case of the livestock industry, this alga is an excellent nutritional source for cattle and swine animal production. For this reason, the production of *Spirulina* sp. in Colombia is important, because of the number of potentials uses it has. As well as the variety of products that can be developed in the country, further consolidating the industrial transformation capacity promoted by green markets.

Introducción

El uso de la biodiversidad en la economía colombiana es trascendental. La agricultura, como un motor de desarrollo, es importante en este país tropical pues su desarrollo se basa precisamente en el uso de especies vegetales para su explotación. Además, la producción pecuaria, que es también de carácter importante en la economía nacional, aporta un 6,5% al PIB y se fundamenta en la producción de fauna a lo largo de todo el territorio nacional (SCA, 2018). Sin embargo, no es la única forma de biodiversidad que participa activamente en la economía de este país; los microorganismos son también fuentes importantes, puesto que participan en la transformación agroalimentaria, la cual incrementa el valor base de los productos agropecuarios primarios.

El uso de microorganismos en la industria mundial es importante, y ejemplos prácticos de ello están relacionados con la producción de queso madurado, cerveza, entre otros (Graham, 2016; López, 2011). El uso que las bacterias y hongos representan a nivel nacional es de relevancia industrial, no por nada la producción de cerveza fue de 17.800 millones de hectolitros en el 2018, mientras que el 20% de la producción de leche fue destinada a la fabricación de queso durante el 2016 (Banrepublicultural, 2018; Miniagricultura, 2016). Sin embargo, otras especies, además de ser parte de la cadena de producción primaria, han tomado fuerza dada su facilidad de ser transformadas para usos alternativos; tal es el caso del alga *Arthrospira* sp. (figura 1), comercialmente

conocida como *Spirulina sp.* (en adelante spirulina), cuyos usos agroindustriales, agropecuarios, nutricionales, ambientales, veterinarios e incluso clínicos son posibles dadas las condiciones versátiles para su producción, sus características metabólicas y su composición química (Piccolo, 2012).



Figura 1a. Producción de la spirulina en estanques. **Figura 1b.** La spirulina deshidratada (ECOESPIRULINA, 2018).

Colombia es un país cuyas características ambientales lo convierten en una zona de óptima producción de spirulina, a lo que se suma la ventaja de que su cultivo no demanda áreas extensas, contrario a la creencia popular y, por tanto, no afectaría otras líneas de producción agrícola o pecuaria. Debido a estas apreciaciones, es importante identificar el potencial que dicho género tiene, y es así que el objetivo de esta corta revisión es identificar el potencial de la spirulina y las opciones de uso final de la misma, ampliando el panorama de producción a nivel industrial con base en información académica internacional.

Materiales y métodos

Con miras a establecer un plano académico y de investigación sobre la spirulina, se realizaron las metabúsquedas en la base de datos académica SCOPUS (www.scopus.com) con fecha de acceso del 22 de agosto de 2018, usando como espacio temporal 2008 a 2018. En la búsqueda realizada en SCOPUS se excluyeron las subáreas “COMP”, “SOCI”, “MATH”, “HEAL”, “DENT”, “DECI”, “PSYC”, “NEUR”, “BUSI” y se realizaron análisis de la información en las áreas de agricultura, ciencias am-

bientales, áreas clínicas e ingeniería y energía; aquella información incompleta (por ejemplo autor o título de la revista) o no correspondiente a un artículo impreso o en línea, se excluyó del análisis. Posteriormente, se realizó la selección y extracción de la información más importante de los artículos, con el fin de determinar el potencial o capacidad de la spirulina y así poder dimensionar la capacidad que tiene esta alga en Colombia, con base en la investigación científica relacionada.

La búsqueda inicial arrojó 1.801 resultados, que con la posterior exclusión de área se redujo a 1.703, los cuales en algunos casos se distribuyen en más de un área, por lo cual el total de artículos enumerados por la base de datos es superior a 3.000 (tabla 1). La selección de los artículos finales para la revisión se realizó luego de una lectura detallada de los artículos y según el perfil industrial de Colombia.

Tabla 1. Artículos enumerados por área y sub área según los resultados de búsqueda realizada en la base de datos académica SCOPUS el 22 de agosto de 2018, usando como palabra clave de búsqueda “spirulina”

Área	Subárea	Total de artículos enumerados
Agropecuaria	Agricultura y ciencias biológicas	835
	Veterinaria	42
Ambiental	Bioquímica, genética y biología molecular	392
	Ciencias ambientales	292
	Ciencias de materiales	34
	Tierra y ciencias planetarias	28
Clínica	Medicina	445
	Farmacología, toxicología y farmacéutica	265
	Inmunología	123
	Psicología	2

Área	Subárea	Total de artículos enumerados
Ingeniería	Ingeniería química	438
	Química	226
	Energía	130
	Ingeniería	105
Nutrición humana	Profesiones de la salud	14
Sub áreas excluidas	Física y astronomía	25
	Neurociencias	16
	Ciencias computacionales	13
	Ciencias sociales	11
	Negocios y gerencia	3
	Odontología	3
	Matemáticas	3

Resultados de búsqueda

Uso en energía e ingeniería

Uno de los principales retos en usar la spirulina para la producción de biocombustibles es la extracción de los aceites que esta alga contiene; el método más eficiente es el rompimiento celular de la spirulina mediante presiones osmóticas con recuperación de lípido de 8,9%. Sin embargo, esta revisión se enfocó en otras líneas potenciales, para así ampliar la expectativa de uso de la spirulina más allá del biodiesel (Sumprasit *et al.*, 2017); sin embargo, el gran reto es la producción masiva de dicha especie, para lo cual se han establecido criterios y condiciones de cultivo de optimización de proceso de producción en diferentes medios (crecimiento tubular, cultivo en invernadero, columnas verticales suplementadas con CO₂) así como más condiciones nutricionales para el crecimiento ideal de la spirulina, toda vez que sus características nutricionales o concentración de aceites finales sea la ideal para cualquier tipo de industria (Soni *et al.*, 2017). Otra opción para la producción energética con uso de algas es la producción de gas con biomasa

de algas mediante la combustión de las mismas, esto dado el alto contenido de compuestos nitrogenados y aceites biológicos que favorece la baja reducción de PHA's, permitiendo, además, la producción de fracción gaseosa de 87,1wt% (Hong *et al.*, 2017).

Usos ambientales

Como alga, su capacidad de absorción de metales pesados es relevante. Se ha demostrado que a pH de 2,0 la máxima capacidad de absorción de Cr(VI) es de 41,12 mg por gramos de extracto de *Spirulina plantensis*, con la posibilidad de recuperar el metal con una solución de NaOH 0,1 M; además, también se tienen reportes de remoción de cromo hasta 95% en pH neutro, por lo que la spirulina puede ser considerada como una estrategia de tratamiento y reciclaje de Cr(VI) en aguas contaminadas (Balaji *et al.*, 2015; Kwak *et al.*, 2015). También ha sido reportada la bioadsorción de Cr(VI) y Pb(II) en aguas residuales industriales por *S. platensis* inmovilizada con alginato, aunque el efecto de reducción es mayor con el Cr(VI) (Babu *et al.*, 2013). Otra estrategia para la biorremediación del Cr(VI) es su transformación a un estado de menor toxicidad, de manera que sea reducido a Cr(III) el cual es fácilmente sedimentable, con un rango de pH entre 0,5 a 6,0 y temperaturas entre 25-45 °C, lo que permite su posterior manejo, reduciendo el impacto ambiental de dicho elemento, siempre y cuando sean controlados aniones como Cl⁻, SO₄⁻² y NO⁻³ que reducen la capacidad de reducción de Cr por la spirulina (Gagrai *et al.*, 2013).

Con relación al Zn, se evidenció que al trabajar una concentración de spirulina de 60 g por litro de afluente, se logró remover el 83% de este metal en el afluente con una capacidad de absorción máxima de 7,1 mg de Zn/g de alga (Zinicovscaia *et al.*, 2018). Por otra parte, *S. máxima* tiene la capacidad de soportar hasta 17 mg/L de zinc, por lo cual es la especie con mayor potencial para ser usada en sistemas de biorremediación de aguas residuales (Balaji *et al.*, 2014). El uso de biomasa seca

de spirulina, como estrategia de tratamiento, también ha sido evaluado. Ferreira *et al.* (2011) identificaron que la absorción de Ni^{2+} , Zn^{2+} o Pb^{2+} se da por la interacción entre los carbohidratos del alga y el metal y, por lo tanto, en biomasa seca la absorción puede ser mayor, al compararla con biomasa húmeda de spirulina; incluso bajo esta misma estrategia se evidenció la adsorción de Cd con remociones de hasta el 98% en aguas contaminadas (Solisio *et al.*, 2008).

Por otra parte, la spirulina se considera como opción para el tratamiento de aguas residuales con valor agregado. Entre ellos se destaca el tratamiento de aguas residuales procedentes de cultivos acuícolas donde, además de la reducción de contaminantes, se usa el subproducto de esta como biofertilizante para el cultivo de vegetales como la rúcula (*Eruca sativa*) o la espinaca china (*Ameranthus gangeticus*), así como un potencial para la germinación de col china repo (*B. rapa ssp. chinensis*) y col verde chino (*Brassica oleracea alboglabra*) (Wuang *et al.*, 2016). En tratamientos de la industria porcina, se realizaron ensayos donde, diluyendo el cultivo de spirulina en agua residual de dicha industria, se redujo en 23 y 45% la DQO y DBO, respectivamente, del afluente, y concluyen que el uso del alga puede optimizar costos de producción en porcino al establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales biológicos y económicos e, incluso, contemplar dichas aguas para la producción a escala piloto de spirulina (Cheunbarn y Peerapornpisal, 2010; Guo *et al.*, 2014).

En aguas residuales domiciliarias la spirulina resulta una opción eficiente y con opción de producción a escala. Zhai *et al.* (2017) demostraron que al cultivar esta alga con aguas residuales se logra su producción a escala industrial y una reducción simultánea cercana al 95% de fósforo total y 93% del nitrógeno total del afluente.

Se ha descubierto, además, que la spirulina inmovilizada puede ser usada en sistemas de recirculación acuícolas, esto dado que reduce la concentración de metales y los niveles de nitritos en hasta 32% (Somba-

tjinda *et al.*, 2014).

Como estrategia para la industria del carbono, el potencial de la spirulina para fijar CO_2 es importante, con picos máximos de 42.506 mg/(L*h), siendo usada como fuente inorgánica de C y que aporta al control en la reducción de pH del medio de cultivo (Yang *et al.*, 2013). Paralelamente, se ha considerado el uso de CO_2 más aguas residuales domiciliarias como medio ideal de producción de spirulina, y aunque a elevada concentración de CO_2 y 8-80% de aguas residuales domésticas no se obtiene alta tasa de crecimiento del alga, sí se logran elevadas concentraciones de clorofila, proteínas y carbohidratos de la célula comparada con cultivos tradicionales, lo cual resulta útil para la industria farmacéutica y cosmética (Park *et al.*, 2013).

Usos Agroindustriales

La spirulina ha sido considerada como un posible suplemento en productos con prebióticos, puesto que favorece la viabilidad del microorganismo, además de incrementar la acidez del alimento y ayudar al almacenamiento del producto fermentado sin afectar las propiedades fisicoquímicas de los productos ni sus atributos sensoriales (Kavimandan, 2015); en este sentido, Akalin *et al.* (2009) demostraron que al usar esta alga en la fermentación de yogurt con *Bifidobacterium sp.* se preserva la concentración celular hasta 6×10^6 UFC.

En la producción de derivados lácteos, como son los quesos con probióticos, la spirulina resultó ser un aditivo adecuado para la preservación de *Lactobacillus acidophilus* en queso feta. Wuang *et al.* (2016) demostraron que la adición del alga en concentraciones de 0,8% (p/v) incrementó la cantidad de hierro, proteínas y resistencia de los prebióticos en queso feta cuando se almacenó a 4 °C y, además, favoreció la sobrevivencia de la bacteria durante el almacenamiento.

El uso más prometedor de la spirulina es el potencial que tiene como sustituto de proteína animal para complementos alimenticios humanos, dado que es posible

obtener hasta 83,9% de proteína cruda a partir de algas, sin contar el potencial de su contenido de carbohidratos y lípidos, que son indispensables en nutrición humana (Becker, 2009; Pereira *et al.*, 2018).

Usos en clínica

Los estudios realizados para la industria clínica han identificado que la spirulina puede producir insulina inmunoactiva y demás usos farmacéuticos con resultados prometedores en ratones; de la misma forma, se identificó que los extractos proteicos similares a la insulina producidos por la spirulina son más efectivos que aquellos extractos etanólicos o acuosos usados actualmente en tratamientos para pacientes con diabetes (Anwer *et al.*, 2013; Anwer *et al.*, 2012).

En 2018, De la Jara *et al.* consolidaron estudios clínicos donde resaltaron el uso de *Arthrospira* en estudios clínicos con dispepsia, diabetes, lesiones de páncreas, alergias, efectos virales y estudios nutricionales; sin embargo, resaltan que deben ser realizados más estudios de cada uno de los posibles usos de la spirulina para, de esta manera, validar las ventajas en la salud humana que puede tener este microorganismo.

Usos en nutrición humana

En 2009, Abd El-Baky *et al.* identificaron compuestos como antioxidantes, antimicrobianos y pigmentos, los cuales tienen características similares a nutraceúticos comerciales de esa época, como por ejemplo las a C-ficocianinas, las cuales tienen actividad antioxidante o B-carotenos como pigmentos naturales (Madhyastha *et al.*, 2009; Xian *et al.*, 2014).

Como parte de los procesos de calidad relacionados con suplementos nutricionales, es importante identificar la posible contaminación microbiológica que afecte la vida útil del producto y del usuario final. Precisamente, Hoekstra *et al.* (2011) identificaron que *Clostridium sp.* puede estar presente en productos derivados de la spirulina y, por tanto, deben ser considerados como objeto de control sanitario para los fines pertinentes.

Usos en el sector agropecuario

En producción de porcinos se ha identificado que la spirulina puede favorecer los parámetros fisiológicos y metabólicos de los animales producidos en granjas; para ello, se adicionó Cu en el alga, apoyados en su capacidad de absorción, luego se comparó la alimentación de animales con algunas sales, y se identificó que los niveles de asimilación de N por los animales son similares independiente del tratamiento, además de presentar menores concentraciones de colesterol de baja densidad y colesterol total (Saeid *et al.*, 2013). Por otra parte, se evaluó suplementar la dieta de bovinos con 40 g de spirulina seca diaria por animal, lo cual aumentó el perfil lipídico en la leche de producción, reduciendo la concentración de ácidos grasos saturados e incrementando los ácidos grasos mono y poli saturados, que son considerados saludables para el corazón humano (CDC, 2018; Christaki *et al.*, 2012).

Para la producción de conejos, se ha identificado que el suplemento de spirulina en la dieta genera efectos beneficiosos transgeneracionales sobre la foliculogénesis que favorece la reproducción de los animales (Abadjieva *et al.*, 2018).

En la industria piscícola, la necesidad de buscar alternativas de suplementos proteicos ha sido indispensable, especialmente porque las principales fuentes de N (harina de pescado) son escasas y la fuente suplementaria (soya) ha incrementado sustancialmente su valor en la última década. Se demostró que el alimento para tilapia suplementado con spirulina al 30% presenta un óptimo nivel dietario, como N en el alimento, favoreciendo la producción piscícola con la mejoría de la salud en juveniles de tilapia del Nilo (Velasquez *et al.*, 2016); a su vez, se ha reportado que aunque usando suplemento exclusivo, la spirulina como alimento en tilapia es más favorable para el crecimiento del animal comparado con el alimento comercial, pero el contenido de proteína (36,9%) y grasas (37,7%) es menor que

en animales alimentados con concentrado comercial (42,3% y 8,6%, respectivamente) (Ju *et al.*, 2017). También se evaluó el uso de la spirulina como suplemento dietario de camarón y se identificó que niveles entre 8-10% del alga en alimento favorece el crecimiento y la sobrevivencia en cultivos, además de incrementar la capacidad reproductiva y salud inmunológica del animal (Macías-Sancho *et al.*, 2014; Namaei *et al.*, 2018). Como cultivos acuícolas alternos, se ha demostrado que la spirulina también resulta ideal como suplemento alimenticio para el crecimiento e inmunidad para cultivos de ostras en etapa juvenil, siempre y cuando la spirulina sea mezclada con soya y extracto de levadura en la formulación de dietas (C. Yang *et al.*, 2017).

La spirulina también es considerada para procesos de fitocontrol en cultivos de interés, donde se ha identificado que los extractos fenólicos obtenidos de esta alga controlan el crecimiento de *Fusarium graminearum*, reduciendo las micotoxinas que afectan a cultivos de cereal en 68% (Pagnussatt *et al.*, 2014), lo que la proyecta como un producto de control de plagas en el país. Por otra parte, las microalgas han sido probadas en producción de maíz en cultivos de invernadero, bajo condiciones controladas, demostrando que pueden ser ideales para sistemas circulares de fertilización (Alobwede *et al.*, 2019).

Conclusiones

El potencial de la spirulina es amplio; su uso en diversas industrias como la agropecuaria, ambiental e industrial es importante, especialmente porque en Colombia dichas industrias representan el crecimiento económico del país. La identificación de su potencial permite ampliar el panorama de uso de esta alga más allá del Biodiesel y ahora se muestra un perfil transversal que incluye manejo ambiental en conjunto con producción pecuaria y agroindustrial, favoreciendo las actividades inclusivas encaminadas por las políticas de reincorporación a la vida civil en el marco del proceso

de paz, y que fortalecerá la cadena de producción rural para dar más opciones de mejorar la calidad de vida de la comunidad rural.

Referencias bibliográficas

- Abadjieva, D.; Shimkus, A.; Shimkiene, A.; Rashev, P.; Kistanova, E. (2018). "Transgenerational beneficial effect of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* on the rabbit ovaries". *Journal of Applied Phycology*, 30(3): 1691–1700. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1400-y>
- Abd El-Baky, H. H.; El Baz, F. K.; y El-Baroty, G. S. (2009). "Characterization of nutraceutical compounds in blue green alga *Spirulina maxima*". *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 8(11): 1113-1126.
- Akalin, A. S.; Ünal, G.; y Dalay, M. C. (2009). "Influence of *Spirulina platensis* biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage". *Italian Journal of Food Science*, 21(3): 357-364.
- Alobwede, E.; Leake, J.; y Pandhal, J. (2019). "Circular economy fertilization: Testing micro and macro algal species as soil improvers and nutrient sources for crop production in greenhouse and field conditions". *Geoderma*, 15: 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.049>
- Anwer, R.; Alam, A.; Khursheed, S.; Kashif, S. M.; Kabir, H.; y Fatma, T. (2013). "Spirulina: Possible pharmacological evaluation for insulin-like protein". *Journal of Applied Phycology*, 25(3): 993-889. <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9924-z>
- Anwer, R.; Khursheed, S.; y Fatma, T. (2012). "Detection of immunoactive insulin in *Spirulina*". *Journal of Applied Phycology*, 24(3): 583-591. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9757-1>
- Babu, R. L.; Vijayalakshmi, E.; Kumar, M. N.; Patil, R. H.; Devaraju, K. S.; y Sharma, S. C. (2013). "Biosorp-

- tion of chromium(VI) and lead(II): Role of *Spirulina platensis* in the treatment of industrial effluent". *Bioremediation Journal*, 17(4): 231-239. <https://doi.org/10.1080/10889868.2013.827619>
- Balaji, S.; Kalaivani, T.; y Rajasekaran, C. (2014). "Biosorption of Zinc and Nickel and Its Effect on Growth of Different *Spirulina* Strains". *Clean - Soil, Air, Water*, 42(4): 507-512. <https://doi.org/10.1002/clen.201200340>
- Balaji, S.; Kalaivani, T.; Rajasekaran, C.; Siva, R.; Shalini, M.; Das, R.; y Dhamorikar, P. (2015). "Bioremediation Potential of *Arthrospira platensis* (Spirulina) against Chromium (VI)". *Clean - Soil, Air, Water*, 43(7): 1018-1024. <https://doi.org/10.1002/clen.201400133>
- Banrepublicultural (2018). "La industria cervecera en Colombia". Retrieved March 1, 2018, from <http://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-260/la-industria-cervequera-en-colombia>
- Becker, E. W. (2009). "Micro-algae as a source of protein". *Biotechnology Advances*, 25(2): 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- CDC (2018). Fase de seguimiento: Grasas: saturadas, insaturadas y trans.
- Cheunbarn, S. y Peerapornpisal, Y. (2010). "Cultivation of *Spirulina platensis* using anaerobically swine wastewater treatment effluent". *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(4): 586-590.
- Christaki, E.; Karatzia, M.; Bonos, E.; Florou-Paneri, P.; y Karatzias, C. (2012). "Effect of dietary *Spirulina platensis* on milk fatty acid profile of dairy cows". *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(7): 597-604. <https://doi.org/10.3923/ajava.2012.597.604>
- De la Jara, A.; Ruano-Rodríguez, C.; Polifrone, M.; Assunção, P.; Brito-Casillas, Y.; Wägner, A. M.; y Serra-Majem, L. (2018). "Impact of dietary *Arthrospira* (Spirulina) biomass consumption on human health: main health targets and systematic review". *Journal of Applied Phycology*, 30(4): 2403-2323. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1468-4>
- ECOESPIRULINA (2018). Ecoespirulina. Retrieved October 6, 2018, from <https://ecoespirulina.es/marca-especializada-alta-calidad/cultivo-sostenible-espana/>
- Ferreira, L. S.; Rodrigues, M. S.; De Carvalho, J. C. M.; Lodi, A.; Finocchio, E.; Perego P.; y Converti, A. (2011). "Adsorption of Ni²⁺, Zn²⁺ and Pb²⁺ onto dry biomass of *Arthrospira* (Spirulina) platensis and *Chlorella vulgaris*. I. Single metal systems". *Chemical Engineering Journal*, 173(2): 326-333. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.07.039>
- Gagrai, M. K.; Das, C.; y Golder, A. K. (2013). "Reduction of Cr(VI) into Cr(III) by *Spirulina* dead biomass in aqueous solution: Kinetic studies". *Chemosphere*, 93(7): 1366-1371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.021>
- Graham, S. (2016). "Saccharomyces species in the Production of Beer". *Beverages*, 2(34): 1-18. <https://doi.org/10.3390/beverages2040034>
- Guo, Q.-Q.; Liu, R.; Luo, J. F.; Wang, G. R.; Chen, L. J.; y Liu, X. (2014). "Pilot-scale cultivation of *Spirulina platensis* with digested piggery wastewater. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 35(9): 3480-3486. <https://doi.org/10.13227/j.hjxx.2014.09.033>
- Hoekstra, D. T.; Volschenk, H.; Collins, M.; y L. D., M. (2011). "An investigation of *Clostridium* species present in nutraceutical preparations of *Arthrospira platensis* (Spirulina) for human consumption". *Journal of Applied Phycology*, 23(4): 777-787. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9630-7>
- Hong, Y.; Chen, W.; Luo, X.; Pang, C.; Lester, E. y Wu, T. (2017). "Microwave-enhanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for syngas production". *Bioresource Technology*, 237: 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.044>

- org/10.1016/j.biortech-2017.02.006
- Ju, Z.; Davis, S.; Ramm, K.; Steck, M.; Soller, F.; y Fox, B. (2017). "Effects of microalgae-added diets on growth performance and meat composition of tilapia (*Oreochromis mossambicus*)". *Aquaculture Research*, 48(9): 5053-5061. <https://doi.org/10.1111/are.13322>
- Kavimandan, A. (2015). "Incorporation of *Spirulina platensis* into probiotic fermented dairy products". *International Journal of Dairy Science*, 10(1): 1-11. <https://doi.org/10.3923/ijds.2015.1.11>
- Kwak, H. W.; Kim, M. K.; Lee, J. Y.; Yun, H.; Kim, M. H.; Park, Y. H.; y Lee, K. H. (2015). "Preparation of bead-type biosorbent from water-soluble *Spirulina platensis* extracts for chromium (VI) removal". *Algal Research*, 7: 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.12.006>
- López, A. (2011). "Diversidad de la microbiota fúngica del queso paipa fabricado en Pacho, Cundinamarca". *Revista ION*, 21(1): 77-84. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v24n1/v24n1a10.pdf>
- Macias-Sancho, J.; Poersch, L. H.; Bauer, W.; Romano, L. A.; Wasielesky, W.; y Tesser, M. B. (2014). "Fishmeal substitution with *Arthrospira* (*Spirulina platensis*) in a practical diet for *Litopenaeus vannamei*: Effects on growth and immunological parameters". *Aquaculture*, 426-427: 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture-2014.01.028>
- Madhyastha, H. K.; Sivashankari, S.; y Vatsala, T. M. (2009). "C-phycocyanin from *Spirulina fusciformis* exposed to blue light demonstrates higher efficacy of in vitro antioxidant activity". *Biochemical Engineering Journal*, 43(2): 221-224. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.11.001>
- Miniagricultura (2016). "Cadena Láctea". Bogota D.C. Retrieved from <https://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/002-CifrasSectoriales/2016Abril.pdf>
- Namaei, K. M.; Esmaeili, F. A.; Firouzbakhsh, F.; y Hayati, I. (2018). "Effects of dietary incorporation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* meal on growth, survival, body composition, and reproductive performance of red cherry shrimp *Neocaridina davidi* (*Crustacea, Atyidae*) over successive spawnings". *Journal of Applied Phycology*, 30(1): 431-442. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1220-5>
- Pagnussatt, F. A.; Del Ponte, E. M.; Garda-Buffon, J.; y Badiale-Furlong, E. (2014). "Inhibition of *Fusarium graminearum* growth and mycotoxin production by phenolic extract from *Spirulina* sp.". *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 108(1): 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.11.002>
- Park, Y. I.; Labrecque, M.; y Lavoie, J. M. (2013). "Influence of elevated CO2 and municipal wastewater feed on the productivity, morphology, and chemical composition of *Arthrospira* (*spirulina*) *platensis*". *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1(11): 1348-1356. <https://doi.org/10.1021/sc400230q>
- Pereira, A. M.; Lisboa, C. R.; y Costa, J. (2018). "High protein ingredients of microalgal origin: Obtainment and functional properties". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47: 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.02.015>
- Piccolo, A. (2012). *Report / Rapport : Sf / 2011 / 16 Spirulina – a Livelihood and a Business Venture*. Mauritius. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-az386e.pdf>
- Saeid, A.; Chojnacka, K.; Korczyński, M.; Korniewicz, D.; y Dobrzański, Z. (2013). "Effect on supplementation of *Spirulina maxima* enriched with Cu on production performance, metabolical and physiological parameters in fattening pigs". *Journal of Applied Phycology*, 25(5): 1607-1617. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9984-8>
- SCA (2018). "PIB total y agropecuario". Retrieved March 1, 2018, from <http://www.sac.org.co/es/estu->

- dios-economicos/estadisticas.html
- Solisio, C.; Lodi, A.; Soletto, D.; y Converti, A. (2008). "Cadmium biosorption on *Spirulina platensis* biomass". *Bioresource Technology*, 99(13): 5933-5937. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.002>
- Sombatjinda, S.; Wantawin, C.; Techkarnjanaruk, S.; Withyachumnarnkul, B.; y Ruengjitchatchawalya, M. (2014). "Water quality control in a closed re-circulating system of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) postlarvae co-cultured with immobilized *Spirulina* mat". *Aquaculture International*, 22(3): 1181-1195. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9738-2>
- Soni, A.; Sudhakar, K.; y Rana, R. (2017). "Spirulina - From growth to nutritional product: A review". *Trends in Food Science and Technology*, 69: 157-171. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010>
- Sumprasit, N.; Wagle, N.; Glanpracha, N.; y Annachhatre, A. P. (2017). Biodiesel and biogas recovery from *Spirulina platensis*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119: 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.006>
- Velasquez, S. F.; Chan, M. A.; Abisado, R. G.; R. F. M., T.; Tayamen, M. M.; Maliwat, G. C. F.; y Ragaza, J. A. (2016). "Dietary *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) replacement enhances performance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)". *Journal of Applied Phycology*, 28(2): 1023-1030. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0661-y>
- Wuang, S. C.; Khin, M. C.; Chua, P. Q. D.; y Luo, Y. D. (2016). "Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers". *Algal Research*, 15: 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.02.009>
- Xian, R. Q.; Li, Q. Y.; Diao, F. Y.; Wang, X. B.; y Hu, D. F. (2014). "Determination of β -Carotene in *Spirulina* by ASE-UPLC". *Modern Food Science and Technology*, 30(3): 239-243.
- Yang, C.; Hao, R.; Deng, Y.; Liao, Y.; Wang, Q.; Jiao, Y.; y Du, X. (2017). "Effects of protein sources on growth, immunity and antioxidant capacity of juvenile pearl oyster *Pinctada fucata martensii*". *Fish and Shellfish Immunology*, 67: 411-418. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.037>
- Yang, Y.; Ren, H.; Miao, H.; y W., R. (2013). "Optimization of environmental factors affecting potential of carbon fixation of *Spirulina platensis*". *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 7(7): 2795-2800.
- Zhai, J.; Li, X.; Li W.; Rahaman M. H.; Zhao, Y.; Wei, B.; y Wei, H. (2017). Optimization of biomass production and nutrients removal by *Spirulina platensis* from municipal wastewater. *Ecological Engineering*, 108, 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.023>
- Zinicovscaia, I.; Yushin, N.; Shvetsova, M.; y Frontasyeva, M. (2018). "Zinc removal from model solution and wastewater by *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* biomass". *International Journal of Phytoremediation*, 20(9): 901-908. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1448358>

Anexo 1

Listado de artículos seleccionados a partir de la búsqueda realizada en la base de datos SCOPUS, usando como término principal “spirulina”.

Autores	Título	Año	Revista
Abadjieva, D.; Shimkus, A.; Shimkiene, A.; Rashev, P.; y Kistanova, E.	Transgenerational beneficial effect of <i>Arthrospira</i> (Spirulina) <i>platensis</i> on the rabbit ovaries	2018	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Abd El-Baky, H. H. y El-Baroty, G. S.	Characterization and bioactivity of phycocyanin isolated from <i>Spirulina maxima</i> grown under salt stress	2012	<i>Food and Function</i>
Akalin, A. S.; Üna, I G.; y Dalay, M. C.	Influence of <i>Spirulina platensis</i> biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage	2009	<i>Italian Journal of Food Science</i>
Anwer, R.; Alam, A.; Khursheed, S.; Kashif, S. M.; Kabir, H.; y Fatma, T.	Spirulina: Possible pharmacological evaluation for insulin-like protein	2013	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Anwer, R.; Khursheed, S.; y Fatma, T.	Detection of immunoactive insulin in Spirulina	2012	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Babu, R. L.; Vijayalakshmi, E.; Kumar, M. N.; Patil, R. H.; Devaraju, K. S.; y Sharma, S. C.	Biosorption of chromium (VI) and lead (II): Role of <i>spirulina platensis</i> in the treatment of industrial effluent	2013	<i>Bioremediation Journal</i>
Balaji, S.; Kalaivani, T.; y Rajasekaran, C.	Biosorption of Zinc and Nickel and Its Effect on Growth of Different Spirulina Strains	2014	<i>Clean - Soil, Air, Water</i>
Balaji, S.; Kalaivani, T.; Rajasekaran, C.; Siva, R.; Shalini, M.; Das, R.; Madnkar, V.; y Dhamorikar, P.	Bioremediation Potential of <i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina) against Chromium (VI)	2015	<i>Clean - Soil, Air, Water</i>
Becker, E.W.	Micro-algae as a source of protein	2009	<i>Biotechnology Advances</i>
Cheunbarn, S. y Peerapornpisal, Y.	Cultivation of <i>Spirulina platensis</i> using anaerobically swine wastewater treatment effluent	2010	<i>International Journal of Agriculture and Biology</i>
Christaki, E.; Karatzia, M.; Bonos, E.; Florou-Paneri, P.; y Karatzias, C.	Effect of dietary <i>Spirulina platensis</i> on milk fatty acid profile of dairy cows	2012	<i>Asian Journal of Animal and Veterinary Advances</i>
De la Jara, A.; Ruano-Rodríguez, C.; Polifrone, M.; Assunção, P.; Brito-Casillas, Y.; Wägner, A. M.; y Serra-Majem, L.	Impact of dietary <i>Arthrospira</i> (Spirulina) biomass consumption on human health: main health targets and systematic review	2018	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Ferreira, L. S.; Rodrigues M. S.; De Carvalho, J. C. M.; Lodi, A.; Finocchio, E.; Perego, P.; y Converti, A.	Adsorption of Ni ²⁺ , Zn ²⁺ and Pb ²⁺ onto dry biomass of <i>Arthrospira</i> (Spirulina) <i>platensis</i> and <i>Chlorella vulgaris</i> . I. Single metal systems	2011	<i>Chemical Engineering Journal</i>
Gagrai, M. K.; Das, C.; y Golder, A. K.	Reduction of Cr (VI) into Cr (III) by Spirulina dead biomass in aqueous solution: Kinetic studies	2013	<i>Chemosphere</i>

Autores	Título	Año	Revista
Guo, Q. Q.; Liu, R.; Luo, J. F.; Wang, G. R.; Chen, L. J.; y Liu, X.	Pilot-scale cultivation of <i>Spirulina plantensis</i> with digested piggery wastewater	2014	<i>Huanjing Kexue/Environmental Science</i>
Hoekstra, D. T.; Volschenk, H.; Collins, M.; y McMaster, L. D.	An investigation of <i>Clostridium species</i> present in nutraceutical preparations of <i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina) for human consumption	2011	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Hong, Y.; Chen, W.; Luo, X.; Pang, C.; Lester, E.; y Wu, T.	Microwave-enhanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for syngas production.	2017	<i>Bioresource Technology</i>
Ju, Z.; Davis, S.; Ramm, K.; Steck, M.; Solter, F.; y Fox, B.	Effects of microalgae-added diets on growth performance and meat composition of tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	2017	<i>Aquaculture Research</i>
Kavimandan, A.	Incorporation of <i>Spirulina platensis</i> into probiotic fermented dairy products	2015	<i>International Journal of Dairy Science</i>
Kwak, H. W.; Kim, M. K.; Lee, J. Y.; Yun, H.; Kim, M. H.; Park, Y. H.; y Lee, K. H.	Preparation of bead-type biosorbent from water-soluble <i>Spirulina platensis</i> extracts for chromium (VI) removal	2015	<i>Algal Research</i>
Macias-Sancho, J.; Poersch, L. H.; Bauer, W.; Romano, L. A.; Wasielesky, W.; y Tesser, M.B.	Fishmeal substitution with <i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina platensis</i>) in a practical diet for <i>Litopenaeus vannamei</i> : Effects on growth and immunological parameters	2014	<i>Aquaculture</i>
Madhyastha, H. K.; Sivashankari, S.; y Vatsala T. M.	C-phyococyanin from <i>Spirulina fusciformis</i> exposed to blue light demonstrates higher efficacy of in vitro antioxidant activity	2009	<i>Biochemical Engineering Journal</i>
Namaei Kohal, M.; Esmaeili Fereidouni, A.; Firouzbakhsh, F.; y Hayati, I.	Effects of dietary incorporation of <i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina</i>) <i>platensis</i> meal on growth, survival, body composition, and reproductive performance of red cherry shrimp <i>Neocaridina davidi</i> (Crustacea, Atyidae) over successive spawnings	2018	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Pagnussatt, F. A. ; Del Ponte, E. M. ; Garda-Buffon, J. ; y Badiale-Furlong, E.	Inhibition of <i>Fusarium graminearum</i> growth and mycotoxin production by phenolic extract from <i>Spirulina</i> sp.	2014	<i>Pesticide Biochemistry and Physiology</i>
Park, Y. I. ; Labrecque, M.; y Lavoie, J. M.	Influence of elevated CO2 and municipal wastewater feed on the productivity, morphology, and chemical composition of <i>Arthrospira</i> (<i>spirulina</i>) <i>platensis</i>	2013	<i>ACS Sustainable Chemistry and Engineering</i>
Pereira, A. M.; Lisboa, C.R.; y Costa, J. A. V.	High protein ingredients of microalgal origin: Obtainment and functional properties	2018	<i>Innovative Food Science and Emerging Technologies</i>
Saeid, A.; Chojnacka, K.; Korczyński, M.; Korniewicz, D.; y Dobrzański, Z.	Effect on supplementation of <i>Spirulina maxima</i> enriched with Cu on production performance, metabolical and physiological parameters in fattening pigs	2013	<i>Journal of Applied Phycology</i>

Autores	Título	Año	Revista
Solisio, C.; Lodi, A.; Soletto, D.; y Converti A.	Cadmium biosorption on <i>Spirulina platensis</i> biomass	2008	<i>Bioresource Technology</i>
Sombatjinda, S.; Wantawin, C.; Techkarnjanaruk, S.; Withyachumnarnkul, B.; y Ruengjitchatchawalya, M.	Water quality control in a closed re-circulating system of Pacific white shrimp (<i>Penaeus vannamei</i>) postlarvae co-cultured with immobilized <i>Spirulina mat</i>	2014	<i>Aquaculture International</i>
Soni, R. A.; Sudhakar, K.; y Rana, R. S.	Spirulina - From growth to nutritional product: A review	2017	<i>Trends in Food Science and Technology</i>
Sumprasit, N.; Wagle, N.; Glanpracha, N.; y Annachhatre, A. P.	Biodiesel and biogas recovery from <i>Spirulina platensis</i>	2017	<i>International Biodeterioration and Biodegradation</i>
Velasquez, S. F.; Chan M. A.; Abisado R. G.; Traifalgar R. F. M.; Tayamen, M. M.; Maliwat, G. C. F.; y Ragaza, J. A.	Dietary <i>Spirulina</i> (<i>Arthrospira platensis</i>) replacement enhances performance of juvenile Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	2016	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Wuang, S. C.; Khin, M. C.; Chua, P. Q. D.; y Luo, Y. D.	Use of <i>Spirulina</i> biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers	2016	<i>Algal Research</i>
Xian, R. Q.; Li, Q. Y.; Diao, F. Y.; Wang, X. B.; y Hu, D. F.	Determination of β -Carotene in <i>Spirulina</i> by ASE-UPLC	2014	<i>Modern Food Science and Technology</i>
Yang, Y.; Ren, H.; Miao, H.; y Ruan W.	Optimization of environmental factors affecting potential of carbon fixation of <i>Spirulina platensis</i>	2013	<i>Chinese Journal of Environmental Engineering</i>
Yang, C.; Hao, R.; Deng, Y.; Liao, Y.; Wang, Q.; Jiao, Y., y Du, X.	Effects of protein sources on growth, immunity and antioxidant capacity of juvenile pearl oyster <i>Pinctada fucata martensii</i>	2017	<i>Fish and Shellfish Immunolog</i>
Zhai, J.; Li, X.; Li, W.; Rahaman, M. H.; Zhao, Y.; Wei, B.; y Wei, H.	Optimization of biomass production and nutrients removal by <i>Spirulina platensis</i> from municipal wastewater	2017	<i>Ecological Engineering</i>
Zinicovskaia, I.; Yushin, N.; Shvetsova, M.; y Frontasyeva, M.	Zinc removal from model solution and wastewater by <i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina</i>) <i>platensis</i> biomass	2018	<i>International Journal of Phytoremediation</i>



Producción de tilapia roja en sistema de geomembrana en el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Regional Huila.

HARINA DE SUBPRODUCTOS DE CAMARÓN COMO OPORTUNIDAD DE INCLUSIÓN EN DIETAS PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Mike Douglas Sánchez Orozco

María Rosa Angarita Peñaranda

Diego Armando Ortiz Ortega

Luis Alberto Rosas

Empresa TumakoFish

Correspondencia autores: mdsanchezo@unal.edu.co

Resumen: La tilapia es conocida en la actualidad con el nombre de pollo acuático debido a su rápido crecimiento, reproducción en cautiverio y adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, convirtiéndose en una especie excelente para la acuicultura en ambientes tropicales y subtropicales. Existe una creencia de los inicios de la explotación de esta especie hace más de 4000 años: en Kenia, en el año 1920, se evidenciaron los primeros ensayos de cultivo de tilapia; desde esta época en el trópico y subtrópico, incluso en zonas más allá de su hábitat, cultivan esta especie. Como resultado de este fenómeno, durante las últimas cuatro décadas se ha prestado gran atención a su explotación y, en consecuencia, más de cien países en la actualidad, dentro de su esquema pecuario, le apuestan al cultivo de tilapia para fortalecer la economía de sus regiones. Con el objetivo de reducir costos de producción, se ha propuesto el diseño y desarrollo de dietas reemplazando fuentes proteicas, como harinas de pescados, por harinas de origen vegetal y animal, entre ellas harinas de residuos de crustáceos como los camarones. TumakoFish es una compañía que produce, procesa y comercializa camarón en la ciudad de Tumaco. Dicha compañía, en el marco del proyecto cofinanciado por el SENA titulado “Desarrollo de un nuevo producto a partir del aprovechamiento de los residuos de cabezas de camarón, como alternativa que contribuya a la competitividad de TumakoFish y el buen manejo ambiental”, requirió revisar las posibilidades de aprovechamiento de los residuos generados durante el procesamiento; de esta manera, esta revisión relaciona la caracterización de los residuos y el procesamiento de residuos de camarones como cefalotórax, cola y caparazones, que son convertidos en harinas, concentrado de proteínas, ensilados de proteína, hidrolizados de proteína con potencialidad para alimentación de aves de corral, pollos de engorde, animales mono gástricos y peces, entre ellos de la especie tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Palabras clave: residuos de camarón, harina de camarón, concentrado de proteína, ensilado de proteína, hidrolizado de proteína, reactor.

SHRIMP SUBPRODUCT MEAL AS AN OPPORTUNITY TO INCLUSION IN DIETS FOR ANIMAL FEED

Abstract: Tilapia is currently known as “aquatic chicken” due to its rapid growth, reproduction in captivity and adaptability to different environmental conditions, making it an excellent species for aquaculture in tropical and subtropical environments. It is thought that exploitation of this species dates back more than 4000 years although there is scarce information about it. In Kenya in 1920, the first tilapia farm attempts were evidenced; from this time in the tropics and subtropics, even in areas beyond their habitat this species is farmed. As a result of this phenomenon, during the last four decades great attention has been paid to its exploitation. Today more than 100 countries commit to tilapia farming within their livestock scheme to strengthen their economies. With the aim to reduce production costs, design and development of diets has focused on replacing protein sources such as fish meal with alternative flours of vegetable and animal origin including flours of crustacean waste such as shrimp waste. TumakoFish produces, processes and markets shrimps in Tumaco city. This company within the framework of the project co-financed by SENA (Colombian national training service, in Spanish) and entitled: “Development of a new product based on the use of shrimp head waste, as an alternative that contributes to the competitiveness of TumakoFish and good environmental management”; requested a review on potential uses of shrimp processing waste. The review described in this document relates to the characterization and processing of shrimp waste such as cephalothorax, tail and shells, which are converted into flours, protein concentrate, protein silage and protein hydrolysates with potential for feeding poultry, broiler chickens, monogastric animals and fish, including the tilapia species (*Oreochromis niloticus*).

Keywords: shrimp waste, shrimp meal, protein concentrate, protein silage, protein hydrolyzate, reactor.

Introducción

La acuicultura se encuentra en una constante búsqueda de materias primas para reemplazar proteínas de alto costo en las dietas para alimentación de especies con potencial de explotación, por otras que logren cumplir los requerimientos nutricionales que ellas demanden a menor costo. Un gran número de investigaciones se ha orientado a reemplazar proteínas de origen animal por proteínas de origen vegetal que, en determinadas proporciones de inclusión en las dietas alimenticias, cumplen con los requerimientos nutricionales requeridos por las especies en explotación (G. Salas *et al.*, 2014). La acuicultura es el sector de mayor crecimiento en producción

en la industria de los alimentos. Asia lidera el cultivo de camarón, que representa casi el 80% de la producción mundial; el camarón es procesado para obtener su carne, dejando su cabeza y caparazón como productos de desecho (Kandra *et al.*, 2012). En la región Pacífica Colombiana inició el cultivo de camarón; sin embargo, la región Atlántica posee mejores condiciones naturales, disponibilidad de tierras, aspectos sanitarios y posición geográfica para exportar a Europa y Estados Unidos, razón por la cual existe mayor producción y desarrollo empresarial en esta zona. Según el boletín de análisis por producto (cultivo de camarón) elaborado por el Mi-

nisterio de Agricultura y Desarrollo Rural en Colombia, la producción en este país se concentra en los departamentos de Sucre, Bolívar, Guajira, Córdoba, Atlántico y Nariño. La región Caribe participa con el 98,6 % y la región Pacífica con el 1,4 % de la producción, concentrada en el municipio de Tumaco, en Nariño (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2010).

Producto del procesamiento de camarones en las plantas de procesamiento, se generan residuos sólidos, entre ellos el cefalotórax del camarón, que se procesa y convierte en harina utilizada para diversos fines agroindustriales, por ejemplo, su inclusión en dietas para alimentación animal (Chacón Villalobos *et al.*, 2016). El proceso de elaboración de harina de cabezas de camarón involucra una cocción a 95 °C durante diez minutos, seguido de un escurrido, la molienda y el secado a 65 - 100 °C, tras lo cual nuevamente se muele hasta un tamaño de partícula aproximado de 300 µm (Andrade *et al.*, 2007). En Colombia solo la cola de los camarones posee valor comercial, el cefalotórax representa entre un 30-48 % del peso total (C. Salas *et al.*, 2015). Es por ello que la elaboración de harinas de subproductos del procesamiento del camarón, como el cefalotórax, se puede emplear en alimentación animal, abriendo posibilidades económicas y nutricionales como posible sustituto parcial de las fuentes convencionales de proteínas (Sila *et al.*, 2014).

Métodos

Esta revisión se realizó durante el año 2017; las bases de datos empleadas para las consultas fueron las suscritas por el SENA en el Sistema de Bibliotecas, específicamente ScienceDirect, y ProQuest; también fueron consultadas las bases de datos de la Universidad Nacional de Colombia, específicamente SCOPUS, Taylor and Francis Online, EBSCO y SciELO. Fueron revisados artículos desde el año 2000 hasta el año 2016, las palabras claves para la búsqueda se introdujeron con el

operador booleano “AND”, las publicaciones fueron tamizadas teniendo en cuenta la relevancia de los temas para una futura propuesta de formulación de dietas para alimentación de tilapia, teniendo como foco los contenidos proximales de subproductos de camarón, procesamiento de los subproductos y las posibles aplicaciones e inclusiones de estos subproductos en dietas para alimentación animal. La mayoría de artículos consultados reportan el uso de subproductos de diferentes especies de camarón en dietas para la alimentación de aves de corral y otras especies de peces; solamente un reporte relacionó el uso de subproductos en alimentación de tilapia.

Composición proximal de residuos de camarones de diferentes especies

El camarón es una fuente rica en proteínas, calcio, minerales y vitaminas; durante su procesamiento la cabeza y caparazón se eliminan y representa aproximadamente el 50 % de la captura (Heu *et al.*, 2003). La carne de camarón es una fuente excelente de ácidos grasos insaturados como el eicosapentanoico (20:5n3, EPA) y el docosahexanoico (22:6n3, DHA), ambos considerados esenciales (Sriket *et al.*, 2007). Adicionalmente, el perfil de ácidos grasos, contenido de colesterol y contenido total de carotenoides de los camarones cambia según la temporada (Sriket *et al.*, 2007). Las cabezas de camarón representan entre un 37,9% y 38,9% de rendimiento aproximado con respecto al peso total del camarón (Heu *et al.*, 2003). Diferentes autores han reportado la composición proximal de harina de residuos de camarón (Okoye *et al.*, 2005), y cabezas de camarón de diferentes especies (Rahman y Koh, 2014). Andrade *et al.* (2007) reportaron la composición proximal de los subproductos de camarón. La tabla 1 lista la composición porcentual promedio.

Tabla 1. Composición porcentual promedio de subproductos de camarón (Andrade *et al.*, 2007)

Componentes	Cabeza seca	Exoesqueleto
Agua	-	10.00
Proteína bruta	58.2	40.60
Extracto etéreo	8.9	2.60
Fibra cruda	11.1	14.20
Extracto libre de nitrógeno	-	2.60
Cenizas	22.6	30.00
Calcio	7.20	9.70
Fósforo	1.68	1.57

En Bangladesh se generan grandes cantidades de residuos, alternativa de proteína para dietas de aves de corral a niveles máximos del 15% (Khempaka *et al.*, 2011); Rosenfeld *et al.* (1997) experimentaron con niveles de inclusión entre el 14,3 % y 31,6 % de harina de camarón sin efectos negativos sobre el peso corporal. Contenidos de materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza y quitina reportados por Rahman y Koh (2014) se ilustran en la tabla 2; los valores se encuentran expresados en base seca, resultados de tres observaciones con sus respectivas desviaciones estándar.

Tabla 2. Composición porcentual de cabezas, cáscara y cabezas + cáscara

Parámetros (%)	Porciones	Tigre negro		Camarón blanco	Camarón argentino rojo
		Grande	Pequeño		
Materia seca	Cabeza	89,6 ± 0,2	88,4 ± 0,3	88,3 ± 0,2	92,1 ± 0,2
	Cáscara	90,5 ± 0,1	89,9 ± 0,1	89,4 ± 0,1	90,7 ± 0,3
	Cabeza Cáscara	91,6 ± 0,2	91,4 ± 0,02	91,4 ± 0,2	91,7 ± 0,2
Proteína cruda	Cabeza	52,3 ± 0,8	51.7 ± 0.4	54.4 ± 0.2	42.4 ± 0.6
	Cáscara	40,9 ± 0,3	42,2 ± 0,7	51,3 ± 0,3	45,8 ± 0,9
	Cabeza Cáscara	48,9 ± 0,1	48,8 ± 0,3	52,5 ± 0,2	44,0 ± 0,1
Extracto etéreo	Cabeza	6,4 ± 0,2	5,1 ± 0,6	9,7 ± 0,5	21,1 ± 0,2
	Cáscara	1,4 ± 0,3	0,9 ± 0,01	3,5 ± 0,1	2,6 ± 0,1
	Cabeza Cáscara	5,1 ± 0,3	3,9 ± 0,2	8,1 ± 0,1	17,2 ± 0,7
Fibra cruda	Cabeza	10,8 ± 0,03	10.7 ± 0.1	8.5 ± 0.2	6.7 ± 0.2
	Cáscara	21,5 ± 0,2	21,5 ± 0,4	18,2 ± 0,2	16,8 ± 0,6
	Cabeza Cáscara	12,7 ± 0,1	12,0 ± 0,1	10 ± 0,1	9,2 ± 0,1
Ceniza	Cabeza	20,4 ± 0,4	19.7 ± 0.7	15.8 ± 0.4	20.0 ± 0.7
	Cáscara	27,1 ± 0,7	23,8 ± 0,2	19,1 ± 0,1	30,2 ± 0,8
	Cabeza Cáscara	23,1 ± 0,2	21,6 ± 0,3	16,3 ± 0,3	23,7 ± 0,2
Quitina	Cabeza	14,1 ± 0,2	12,1 ± 0,3	10,7 ± 0,2	8,4 ± 1,0
	Cáscara	24,6 ± 0,4	22,8 ± 0,4	19,3 ± 0,3	18,9 ± 0,7
	Cabeza Cáscara	16,4 ± 0,4	14,0 ± 0,2	12,7 ± 0,3	13,4 ± 0,2

Khempaka *et al* (2011) elaboraron harina de camarón para alimentación de aves de corral y determinaron los contenidos de materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas, calcio, fósforo total y quitina de la harina; los valores reportados se encuentran en la tabla 3. De igual forma, Mustanur y Katsuki (2015) prepararon harinas de camarón tigre negro (*Penaeus monodon*) y camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), para alimentar aves de corral, determinaron el análisis proximal de la harina e incluyeron el contenido de quitina; los reportes se encuentran en la tabla 4.

Tabla 3. Composición porcentual de harina de camarón (*Litopenaeus vannamei*) (Khempaka *et al.*, 2011)

Componente	Harina de camarón (<i>Litopenaeus vannamei</i>) (%)
Materia seca	95,76
Proteína cruda	36,69
Extracto etéreo	10,28
Fibra cruda	19,49
Ceniza	21,77
Calcio (Ca)	4,92
Fósforo total (P)	1,2
Quitina	18,99

Chacón Villalobos *et al* (2016) emplearon harina de camarón partiendo de exoesqueletos y cefalotórax de camarón de la especie (*Pleuroncodes planipes*) para suplementar dietas de gallinas ponedoras y medir el efecto en el huevo; el contenido proximal de la harina presentó 40,7 % de proteína cruda, 11,0 % de extracto etéreo, 11,3 % de humedad, 27,5 % de cenizas, 7 % de fibra cruda, 9,0 % de calcio y 2,7 % de fósforo.

Tabla 4. Composición de harina de camarón elaborada con cabezas de camarón tigre negro (*Penaeus monodon*) y camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) (Mustanur y Katsuki, 2015)

Componentes	Camarón tigre negro	Camarón blanco
	g/Kg	
Proteína cruda	523	543,6
Fibra cruda	107,6	84,6
Extracto etéreo	63,7	97,4
Cenizas	203,7	157,7
Quitina	141,4	106,9

Los componentes aproximados, incluidos pH y salinidad de subproductos de camarones de la especie (NPS, *Pandalus borealis*) y camarones de la especie (SS, *Trachypena curvirostris*), fueron analizados por Heu *et al.* (2003) y comparados con los músculos de los camarones de ambas especies; los resultados se encuentran registrados en la tabla 5. Los promedios son el resultado de tres observaciones con sus respectivas desviaciones estándar.

Tabla 5. Composición proximal, pH, salinidad de músculo y procesamiento de subproductos de camarón rosado del norte (NPS) y camarón manchado (SS) (Heu *et al.*, 2003)

Componentes	NPS		SS	
	Músculo	Subproductos	Músculo	Subproductos
Humedad	84,4 ± 0,0	79,1 ± 0,8	83,1 ± 0,1	78,5 ± 0,0
Proteína cruda	13,4 ± 0,3	9,3 ± 0,3	14,9 ± 0,5	11,6 ± 0,2
Lípidos totales	0,4 ± 0,0	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,7 ± 0,2
Cenizas	1,6 ± 0,1	8,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1	7,0 ± 0,2
pH	8,05 ± 0,13	8,98 ± 0,04	7,76 ± 0,04	8,94 ± 0,01
Salinidad	0,89 ± 0,02	0,80 ± 0,02	0,86 ± 0,00	0,68 ± 0,05

Limam *et al.* (2008) obtuvieron proteína hidrolizada por vía enzimática de cabezas de camarón de la especie (*Penaeus Kerathurus*), caracterizando mediante análisis bioquímico el contenido de proteína, dando como re-

sultado un 79,2 % ± 2,96 comparado con un 65,14 % ± 1.44 de contenido proteico para la proteína hidrolizada y cabezas de camarón sin proceso enzimático como muestra control, respectivamente.

Los *snacks*, particularmente las papas tipo croqueta para consumo humano, han sido objeto de experimentación con inclusión de harina de cabezas de camarón hasta un 5 %; la tabla 6 registra los contenidos de proteína, lípidos y cenizas de las cabezas y caparazones secos de camarón (Ibrahim y Salama, 1999).

Tabla 6. Composición de cabezas y cáscaras secas de camarón utilizadas en formulaciones de croquetas de papa (Ibrahim y Salama, 1999)

Composición	Cabezas secas	Cáscaras secas
Proteína (%)	47.75	47.43
Lípidos (%)	10.5	3.78
Cenizas (%)	15.73	18.02

En Nigeria se realizó un ensayo de alimentación de bagre africano (*Clarias gariepinus*), reemplazando harina de pescado por harina de cabezas de camarón ensilado en proporciones de 5%, 10%, 20%, 30% y 40% en dietas que aportaron el 40 % de proteína cruda; la composición aproximada de la harina de cabezas de camarón se referencia en la tabla 7 (Nwanna *et al.*, 2004).

Tabla 7. Composición aproximada de harina de cabezas de camarón ensilada (Nwanna *et al.*, 2004)

Composición aproximada	
Parámetros	(%)
Proteína cruda	59,1
Extracto etéreo	4,05
Fibra cruda	3,81
Cenizas	28,3
Materia seca	95,9

En Brasil, durante el procesado del camarón, se generan cabezas y cáscaras cuyo peso representa el 40% del peso del camarón; con estos residuos se elabora harina de camarón, partiendo de cabezas, exoesqueletos y camarones de menor tamaño (Brasileiro *et al.*, 2012). Estos autores determinaron la composición proximal de la harina de camarón, así como las propiedades funcionales del concentrado de camarón y la harina liofilizada. Los resultados de su análisis se aprecian en la tabla 8.

Tabla 8. Composición química de cabezas frescas, concentrado de proteína y harina liofilizada de cabezas de camarón

	Humedad	Calcio	Lípidos	Proteína	Cenizas
Cabezas frescas	78,60 ± 0,95	3,16 ± 0,16	0,88 ± 0,07	12,43 ± 0,65	6,59 ± 1,12
Concentrado de proteína	7,49 ± 0,04	6,48 ± 0,09	1,16 ± 0,14	54,41 ± 3,10	19,19 ± 1,52
Harina liofilizada	4,99 ± 0,04	6,14 ± 0,04	3,56 ± 0,35	51,01 ± 1,28	15,75 ± 0,91

Okoye *et al.* (2005) determinaron que la harina de camarón producto de cabeza, entrañas y exoesqueleto es particularmente rica en lisina, convirtiéndola en un complemento ideal para mezclarla con cereales, de aroma agradable y apetecible, rica en calcio y fósforo, sugiriendo la posibilidad de reemplazar parcial o totalmente la harina de soya en dietas para alimentación de aves de corral. La composición proximal de harina de camarón estimada se referencia en la tabla 9.

Tabla 9. Composición proximal de harina de camarón (Okoye *et al.*, 2005)

Nutriente	g/100 g de materia seca
Proteína cruda	46.3
Fibra cruda	4.3
Extracto etéreo	9.04
Cenizas	17.04

Nutriente	g/100 g de materia seca
Quitina	9.82
Calcio	7.0
Fósforo	3.03

Oliveira Cavalheiro *et al.* (2007) elaboraron ensilado en polvo de cabezas de camarón para sustituir harina de pescado e incluirlo en dietas para alimentación de tilapia con un contenido aproximado del 40 % de proteína, la incorporación fue del 0 %, 33,3 %, 66,6 % y 100 % en las dietas experimentales; el análisis proximal del ensilado de cabezas de camarón en polvo se encuentra en la tabla 10.

Tabla 10. Composición proximal de ensilado de cabeza de camarón (Oliveira Cavalheiro *et al.*, 2007)

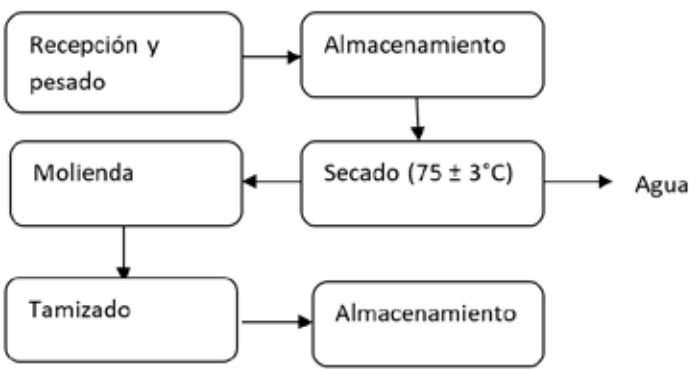
Componente	g/100 g de ensilado
Humedad	19,3 ± 1,02
Proteína	39,9 ± 1,82
Lípidos	12,5 ± 1,34
Cenizas	12,3 ± 1,07
Carbohidratos	16
Calcio (mg/100 g)	449,0 ± 17,1
Fósforo (mg/100 g)	44,0 ± 2,78

Por último, en Estados Unidos se generó un material rico en proteína (64 %, aproximadamente) con un buen balance de aminoácidos, mediante tratamiento termo-químico con adición de cal, que puede ser usado como suplemento alimenticio para animales monogástricos.

Elaboración de harinas, concentrados, hidrolizados y ensilados de subproductos de camarón y sus posibles aplicaciones

Chávez Astudillo *et al* (2010) establecieron el proceso para la elaboración de harina a partir de caparazones de camarón, la figura 1 relaciona el diagrama de flujo.

Figura 1. Diagrama de flujo para la harina de caparazones de camarón.



Rahman y Koh (2014), de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Shinshu, en Japón, trabajaron con camarones congelados de las especies *Penaeus monodon* y *Litopenaeus vannamei*, separando las partes no comestibles como cabezas y cáscaras; seguidamente, secaron por separado las partes en hornos eléctricos a 55 °C entre 8 y 10 horas; el material seco fue molido y tamizado en una malla de 1 mm; más tarde, estos dos materiales molidos se mezclaron según la relación de peso cabeza:cáscara de 2,5:1 a 3,0:1 para cada especie; determinaron la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la proteína cruda de cabezas y cáscaras de camarón acorde al procedimiento descrito por Saunders *et al.* (1972): tomaron 250 mg de harina de camarón seco y fue suspendida en 15 ml de HCl 0,1 N con 1,5 mg de pepsina (10.000 U/mg proteína) a 37 °C, agitación suave durante 3 horas y posterior neutralización con NaOH 0,5

N; la digestión fue mezclada con 7,5 ml de fosfato *buffer* a pH 8,0, conteniendo pancreatina y agitado a 37 °C por 24 horas. La solución fue centrifugada a 240 g por 10 minutos, lavada con agua destilada, filtrada y secada. La digestibilidad *in vitro* de materia seca y proteína cruda se registra en la tabla 11.

Tabla 11. Digestibilidad *in vitro* de materia seca, proteína cruda de cabezas, cáscaras, cabezas + cáscaras de camarón de tres especies de camarones (Rahman y Koh, 2014)

Parámetros (%)	Porciones	Tigre negro		Blanco	Argentino rojo
		Grande	Pequeño		
DM Digestibilidad	Cabezas	58,7 ± 0,3	60,0 ± 0,9	65,3 ± 0,3	51,8 ± 2,4
	Cáscaras	44,0 ± 0,1	42,7 ± 0,4	53,3 ± 0,4	44,0 ± 0,9
	Cabezas + Cáscaras	55,9 ± 0,1	57,3 ± 0,2	61,5 ± 0,5	48,4 ± 0,5
CP Digestibilidad	Cabezas	81,6 ± 0,1	81,4 ± 0,1	80,9 ± 0,2	72,6 ± 0,6
	Cáscaras	66,8 ± 1,0	67,4 ± 0,6	76,1 ± 0,2	64,9 ± 0,5
	Cabezas + Cáscaras	80,6 ± 0,6	79,4 ± 0,3	79,4 ± 0,5	68,9 ± 0,3

Nwanna y J. A. (2000) formularon 5 dietas para proporcionar 30 % de proteína bruta para alimentación de tilapia, incluyendo harina de cabeza de camarón comercial al 0 %, 15 %, 30 %, 45 % y 60 %. Los ingredientes se mezclaron en una máquina de mezclado y granulación, y por último, el alimento fue secado al sol (30-32 °C). La tabla 12 registra las dietas para alimentación de alevinos de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con inclusión de harina de cabeza de camarón.

Tabla 12. Dietas para alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Ingredientes (%)	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4	Dieta 5
Harina de pescado	34,75	29,54	24,33	19,11	13,9
Harina de cabeza de camarón	(-)	5,21	10,42	15,64	20,85
Maíz	61,75	61,75	61,75	61,75	61,75
Mezcla de vitaminas y minerales	1	1	1	1	1
Aceite de hígado de bacalao	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Harina de huesos	1	1	1	1	1
Almidón	1	1	1	1	1

Fall *et al.* (2012) investigaron la posible sustitución de harina de cáscara de camarón (39,4 % proteína cruda) por harina de soya (44,05 % proteína cruda) en dietas para alimentar híbridos de tilapia (*O. niloticus* x *O. aureus*). Cinco dietas fueron formuladas con aproximadamente la misma cantidad de proteína (30 %). El reemplazo de niveles de harina de soya por harina de cáscaras de camarón fue de 100 %, 67 %, 50 %, 33 % y 0 % del total de proteína dietaria, 10 % fue de harina de pescado (68,71 % de proteína cruda) y 90 % de diferentes raciones de harina de soya y harina de caparazones de camarón. El proceso para la fabricación de harina de cáscaras de camarón se basó en el método descrito por Oliveira Cavalheiro *et al.* (2007). La principal fuente de proteína fue la harina de soya y harina de caparazones de camarón molidas con tamaño de partícula de 425 µm, y la mezcla de vitaminas y minerales fue preparada acorde al método establecido por Sheen y Wu (1999). Luego de mezclar los ingredientes en las proporciones adecuadas con agua al (30 % por cada 100 g de ingredientes mezclados) y aceite de bacalao y maíz (proporción 2:1). La masa fue puesta en un extrusor, y secada a 35 °C por un tiempo de 8 horas. La dieta seca fue empacada en bolsas plásticas y almacenadas a -20 °C.

C. Salas *et al.* (2015) adecuaron el cefalotórax del camarón en tornillos sin fin que trocean y mezclan el material conduciéndolo a un cocinador continuo a 90 °C durante 15 minutos. El material cocinado se decantó y separó de los sólidos, aceite y agua. Los sólidos fueron prensados para extraer la humedad en exceso. El material prensado fue secado a 110 °C durante una hora hasta alcanzar una humedad de 10 %. Finalmente, el material seco se almacenó en sacos. La harina obtenida se utilizó para alimentar gallinas ponedoras. Las dietas formuladas se registran en la tabla 13.

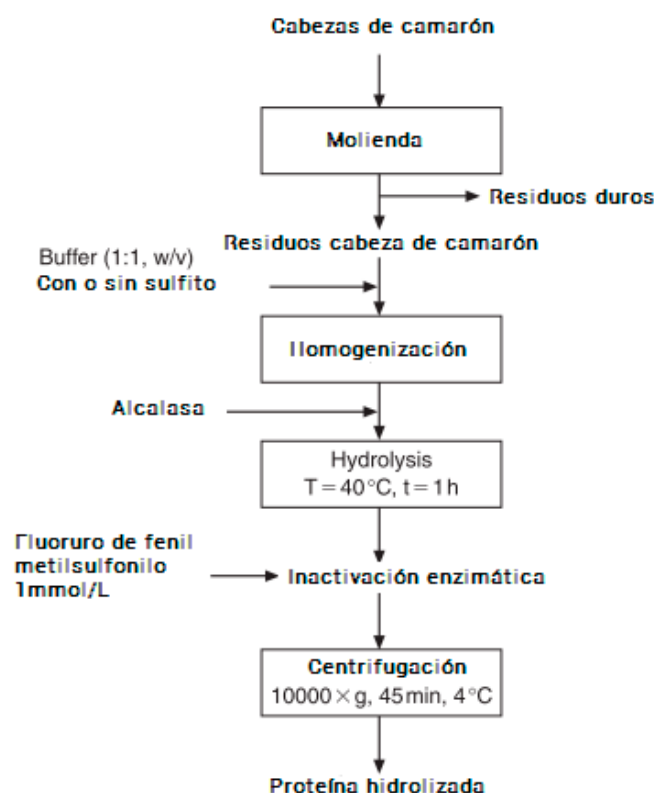
Tabla 13. Dietas formuladas para alimentación de gallinas ponedoras (C. Salas *et al.*, 2015)

Ingredientes	Control	5%HC	10%HC	15%HC
Maíz	58,1	55,02	56,84	57,68
Soya 47%	20,11	23,19	17,45	13,34
Carbonato de calcio	8,76	8,93	7,88	7,05
Harina de camarón	(-)	5	10	15
Harina de carne	5,98	0,08	0,76	0,15
Aceite de trigo	3,91	3,74	4	4
Aceite de soya	1,96	2,05	1,3	1
Fosfato monocalcico	(-)	0,86	0,53	0,43
Sal	0,4	0,4	0,4	0,4
Metionina	0,23	0,23	0,24	0,27
Lisina	0,11	0,07	0,13	0,18
Premezcla de vitaminas y minerales	0,1	0,1	0,1	0,1
Colina 60 %	0,05	0,05	0,05	0,05
Treonina	0,02	0,01	0,05	0,08
Lucantin rojo	0,002	(-)	(-)	(-)
Total	100	100	100	100

Mizani *et al.* (2005) realizaron extracción de proteína de cabeza y caparazón de camarón según el procedimiento establecido en la figura 2. El extracto de proteína es una fuente de aminoácidos esenciales que pueden ser proveídos a varias especies de peces, acorde a lo sugerido por D'mello (2003). Es importante mencionar que la histidina es el aminoácido limitante de estas fuentes al igual que la harina de residuos de camarón sin hidrolizar.

Coward-Kelly *et al.* (2006) realizaron un tratamiento termoquímico en una autoclave de 1 litro con agitación mecánica y control de temperatura. El proceso se realizó a 1000 rpm para garantizar un buen contacto entre los sólidos en suspensión y el líquido; se evaluaron las siguientes condiciones de proceso: temperatura, carga y

Figura 2. Procedimiento para la extracción de proteína de cabeza de camarón

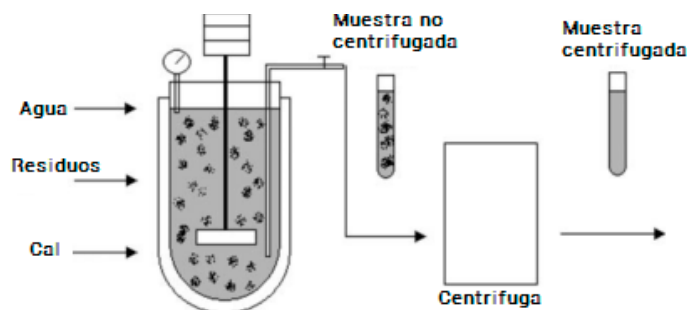


tiempo de contacto del hidróxido de calcio. Se tomaron muestras del reactor en diferentes tiempos y luego se centrifugaron para separar la fase líquida del material sólido residual. La conversión de material hidrolizado en la fase líquida de la muestra centrifugada se basó en el nitrógeno total inicial como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Conv} = \frac{\text{Vagua} \times \text{TKN}}{\text{m residuo} \times \text{TKN}} \times 100$$

Donde “Vagua” es el volumen total del agua en litros (L), “TKN” es el nitrógeno total en el material especificado y “m residuo” es la masa de los residuos adicionados en el reactor. La figura 3 ilustra el esquema experimental de tratamiento termoquímico para hidrolizar proteína a partir de residuos del procesamiento de camarones.

Figura 3. Esquema experimental de tratamiento termoquímico (Coward-Kelly et al., 2006).



La composición de aminoácidos de las cabezas de camarón hidrolizadas con cal presentó equilibrio respecto a los requerimientos de aminoácidos esenciales de diferentes animales monogástricos. La composición del producto líquido que contiene la proteína hidrolizada cumplió los requerimientos de aminoácidos esenciales de los animales monogástricos durante las fases de crecimiento. La histidina, en este caso, también será el aminoácido limitante a suplir con otras fuentes de proteínas.

Conclusiones

Los residuos de camarones generalmente son arrojados al mar aumentando la contaminación ambiental, y experimentan una rápida putrefacción debido a su naturaleza alcalina (pH 7,5-8,0); por lo tanto, se deben implementar procedimientos de aprovechamiento apropiados que garanticen la reducción del impacto ambiental generado. Varias propuestas relacionadas en este artículo solucionarían este problema, tales como la transformación de estos residuos en harinas, concentrados de proteína, ensilados e hidrolizados de camarón para ser incluidos en dietas para alimentación de aves de corral, pollos de engorde, gallinas ponedoras, camarones y algunas especies de peces como bagres y tilapias. Lo anterior demuestra que cumplen con los perfiles de aminoácidos requeridos en las dietas particulares para cada especie referenciada, con la observación de que

se debe complementar con otras fuentes proteicas y suplir la deficiencia de histidina. TumakoFish, empresa dedicada al procesamiento de camarones y generadora de estos residuos, desarrollará un concentrado animal con inclusión de harina de cefalotórax de camarón para alimentar tilapia (*Oreochromis niloticus*); esta revisión fue necesaria para proponer ensayos preliminares e iniciar la experimentación en las instalaciones de la compañía.

Referencias bibliográficas

- Andrade, R.; Chávez, M.; y Naar, V. (2007). "Evaluación de las etapas de cocción y secado en la obtención de harina de cabezas de camarón de cultivo (*Penaeus* sp). *DYNA*, 74(2007): 1-6.
- Brasileiro, O. L.; Cavalheiro, J. M. O.; Prado, J. P. D. S.; Anjos, A. G. Dos; y Cavalheiri, T. T. B. (2012). "Determination of the chemical composition and functional properties of shrimp waste protein concentrate and lyophilized flour". *Ciência e Agrotecnologia*, 36(2), 189-194.
- Chacón Villalobos, A.; Salas Durán, C.; y Zamora Sánchez, L. (2016). "Harina de cefalotórax de camarón en raciones para gallinas ponedoras: efectos en el huevo". *Agronomía Mesoamericana*, 27(1): 81-93.
- Chávez Astudillo, D. R.; López Chica, M. G.; y Cornejo Zúñiga, F. (2010). "Factibilidad Técnica para el Aprovechamiento Integral del Camarón de la Especie *Penaeus Vannamei*".
- Coward-Kelly, G.; Agbogbo, F. K.; y Holtzapple, M. T. (2006). "Lime treatment of shrimp head waste for the generation of highly digestible animal feed". *Bioresource Technology*, 97(13): 1515-1520.
- D'mello, J. P. (2003). *Amino Acids in Animal Nutrition Second Edition*. (J. P. F. D'Mello, Ed.), *Amino Acids in Animal Nutrition* (Second edi, Vol. 2). Edinburgh, UK: CABI Publishing. Recuperado de http://gtu.ge/Agro-Lib/0834903_04864_d_mello_j_p_f_amino_acids_in_animal_nutrition_2d_edition.pdf#page=472%5Cnhttp://gtu.ge/AgroLib/0834903_04864_d_mello_j_p_f_amino_acids_in_animal_nutrition_2d_edition.pdf#page=138
- Fall, J.; Tseng, Y. T.; Ndong, D.; y Sheen, S. S. (2012). "The effects of replacement of soybean meal by shrimp shell meal on the growth of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) reared under brackish water". *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 4(April), 85-91.
- Heu, M. S.; Kim, J. S.; y Shahidi, F. (2003). "Components and nutritional quality of shrimp processing by-products". *Food Chemistry*, 82(2): 235-242.
- Ibrahim, H. M. y Salama, M. F. (1999). "Shrimp's waste : Chemical composition, nutritional value and utilization". *Nahrung*, 43(6): 1-6.
- Kandra, P.; Challa, M. M.; y Kalangi Padma Jyothi, H. (2012). "Efficient use of shrimp waste: Present and future trends". *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(1), 17-29.
- Khempaka, S.; Chitsatchapong, C.; y Molee, W. (2011). "Effect of chitin and protein constituents in shrimp head meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids, and ammonia production in broilers". *Journal of Applied Poultry Research*, 20(1): 1-11.
- Limam, Z.; Sadok, S.; y Abed, A. El (2008). "Enzymatic hydrolysis of shrimp head waste: Functional and biochemical properties". *Food Biotechnology*, 22(4): 352-362.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (2010). *Camarón de cultivo - Boletín de análisis por producto*. Santafé de Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

- Mizani, M.; Aminlari, M.; y Khodabandeh, M. (2005). "An Effective Method for Producing a Nutritive Protein Extract Powder from Shrimp-head Waste". *Food Science and Technology International*, 11(1): 49-54.
- Mustanur, R. y Katsuki, K. (2015). "Effect of Shrimp Meal Made of Heads of Black Tiger (*Penaeus monodon*) and White Leg (*Litopenaeus vannamei*) Shrimps on Growth Performance in Broilers". *The Journal of Poultry Science*.
- Nwanna, L. C.; Balogun, A. M.; Ajjenifuja, Y. F.; y Enujiugh, V. N. (2004). "Replacement of fish meal with chemically preserved shrimp head in the diets of African catfish, *Clarias gariepinus*". *Food, Agriculture and Environment*, 2(1); 79-83.
- Nwanna, L. C. y J. A., D. (2000). "Harnessing of shrimp head waste in nigerian for low cost production of tilapia (*Oreochromis Niloticus* L.)". *Department of Fisheries and Wildlife, Federal University of Technology, P M B 704 Akure, NIGERIA*.
- Okoye, F. C.; Ojewola, G. S.; y Njoku-Onu, K. (2005). "Evaluation of shrimp waste meal as a probable animal protein source for broiler chickens". *International Journal of Poultry Science*, 4(7), 458-461.
- Oliveira Cavaleiro, J. M.; Oliveira de Souza, E.; y Bora, P. S. (2007). Utilization of shrimp industry waste in the formulation of tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) feed". *Bioresource Technology*, 98(3), 602-606.
- Rahman, M. y Koh, K. (2014). "Nutritional Quality and in vitro Digestibility of Shrimp Meal Made of Heads and Hulls of Black Tiger (*Penaeus monodon*), White Leg (*Litopenaeus vannamei*) and Argentine Red (*Pleoticus muelleri*) Shrimps". *The Journal of Poultry Science*.
- Rosenfeld, D. J.; Gernat, A. G.; Marcano, J. D.; Murillo, J. G.; Lopez, G. H.; y Flores, J. A. (1997). "The Effect of Using Different Levels of Shrimp Meal in Broiler Diets". *Poultry Science*, 76(4): 581-587.
- Salas, C.; Chacón, A.; y Zamora, L. (2015). "La harina de cefalotórax de camarón en raciones para gallinas ponedoras". *Agronomía Mesoamericana*, 26(2): 9.
- Salas, G.; Cruz, R.; y Navarro, V. (2014). "Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia vegetable, *Livestock and Agroindustrial*. 53(23): 240-251.
- Saunders, R. M.; Connor, M. A.; y Booth, A. N. (1972). "Measurement of Digestibility of Alfalfa Protein Concentrates by in vivo and in vitro Methods". *The Journal of Nutrition*, 1(1): 530-535.
- Sheen, S. S. y Wu, S. W. (1999). "The effects of dietary lipid levels on the growth response of juvenile mud crab *Scylla serrata*". *Aquaculture*, 175(1-2): 143-153.
- Sila, L. A.; Bermúdez, A.; Almario, F.; Mojica, P.; Cuéllar, S.; y Montoya, M. (2014). *Subproductos del camarón (quitina, quitosan, harina y proteína de camarón)*. Bogotá: Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia.
- Sriket, P.; Benjakul, S.; Visessanguan, W.; y Kijroongrojana, K. (2007). "Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats". *Food Chemistry*, 103(4): 1199-1207.

NORMAS PARA PRESENTACIÓN DE DOCUMENTOS

Características de los documentos

Los documentos sometidos a publicación en la revista, debe animar a los lectores de la comunidad académica, científica, del sector productivo y comunidad educativa del SENA sobre los temas expuestos, así como realizar una contribución en los avances del conocimiento científico y técnico, para aportar a la circulación y apropiación social del conocimiento.

Tipos de documentos

- **Artículo de investigación científica y tecnológica:** Documentos que presentan de manera detallada resultados originales de investigación científica, con una contribución original al conocimiento en alguno de las áreas de interés de la revista. El documento debe contener literatura actual y un análisis estadístico de los datos. La extensión del artículo debe ser máximo de 10 hojas, incluida la bibliografía o 6000 palabras, incluyendo título, resumen (hasta 300 palabras), abstract, palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión y con máximo 30 referencias bibliográfica actualizadas.
- **Artículo de reflexión:** Documentos que presentan resultados de investigaciones finalizadas, desde una perspectiva analítica, interpretati-

va o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

- **Artículo de revisión:** Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracterizan por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica, la cual debe contener **mínimo 50 citas bibliográficas actualizadas**.
- **Artículo de revisión:** Documento breve que presenta resultados originales parciales de una investigación científica o tecnológica.
- **Artículo de Divulgación.** Documento escrito bajo las normas de divulgación, para públicos no expertos que desean “entretenerse”, aprender “sin sufrir”.
- **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico o área de interés. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

Preparación y formato del documento

Los documentos deben estar ajustados a las siguientes especificaciones de formato:

- **Fuente:** Roboto-Light, 14 para títulos, 12 para texto
Tamaño de papel carta (21.5 x 27.9 cm) y márgenes de 2.5 cm.
- Doble espacio a través de todo el texto (incluyendo tablas y figuras).
- **Palabras clave:** Máximo cinco palabras que deben estar en los descriptores del Tesauro AGROVOC (<http://aims.fao.org/es/agrovoc>) o la Real Academia Española (RAE), debe ir en orden alfabético.
- **Key Word:** Deben ser las mismas traducidas al idioma inglés.
- **Tabla y Figura (solo usar los dos términos).** Presentar las figuras (fotos, mapas, gráficos, esquemas) en plancha, tratando de economizar el mayor espacio posible, deben ser de 400 a 1000 kb y ajustarse a 6x10 cm en formato pg., además deben ser enviadas como archivo adjunto. Los títulos de las tablas no deberán exceder las 15 palabras y deberá estar centrado y en la parte
- Los documentos donde se usen unidades deben estar según el sistema métrico internacional, así como sus abreviaturas y no usar puntos después de estas. Los decimales serán señalados con coma (,) y no con puntos, y los miles y millares con punto. Todos los nombres científicos deberán estar escritos en letra cursiva.

Cuerpo del documento artículos de investigación

- **El título.** Debe ser breve y contener **máximo 18 palabras** que suministren suficiente información al lector. Debe ser escrito en minúsculas y sólo las primeras letras o los nombres propios en mayúscula. No debe contener términos que necesiten aclaración, abreviaturas y fórmulas. Debe incluir el nombre científico de la especie.
- **Afiliaciones.** En la lista de autores se deben incluir los nombres y apellidos completos de cada investigador. Se señala la afiliación de los autores en el siguiente orden: Universidad- Sede - Facultad o Instituto - Regional- Centro de Formación - Grupo de investigación o Laboratorio - Dirección, Ciudad. Código Postal (de acuerdo con la empresa de Correos de Colombia 4-72) - País y Correo electrónico, indicando el autor que mantendrá correspondencia o al cual se le pueda contactar. **Evite usar títulos académicos o posiciones institucionales.**
- **Resumen:** De manera corta debe recopilar el objetivo, método y resultados más significativos del trabajo, en lo posible con términos cuantitativos. **No citar referencias bibliográficas.** Se aceptan máximo 250 caracteres. El texto debe incluir la versión del resumen en inglés (abstracto), **no usar traductores de páginas web.**
- **Introducción:** Debe Presenta el tema a tratar en el artículo, debe responder a la pregunta del **Por qué, el para qué y el cómo se ha realizado el estudio.** En este aparte se presenta la flexibilidad y variedad temática, de igual manera parte de un análisis descriptivo sobre temas históricos, teóricos, científicos, políticos, culturales, económicos y sociales de actualidad. Debe

Inicia con el conocimiento actual del tema y termina con los objetivos de la investigación. Lo que se pretende es que el articulista describe los acontecimientos más o menos actuales.

- **Materiales y métodos:** Incluir el lugar donde se desarrolló la investigación (**solo para artículos de investigación, reportes de caso**); debe responder la pregunta ¿cómo se estudia esa pregunta de investigación?; incluir la información que estaba disponible en el momento en que se escribió la metodología, describir: muestras u objetos de estudios, procedencia, técnicas o métodos desarrollados, análisis estadísticos si los hay.
- **Resultados y Discusión:** Deben responder a los objetivos planteados y la pregunta ¿Cuáles son las implicaciones de los resultados que se obtuvieron?; y los resultados obtenidos en la fase experimental y responder a la pregunta ¿qué se encontró? La discusión debe comparar los resultados obtenidos con otros previos o se analizan de acuerdo a los resultados esperados. Además de contextualiza la importancia de los resultados, así como sus implicaciones e investigaciones futuras, que pueden derivar de este trabajo.
- **Agradecimientos:** Personas o instituciones que apoyaron de diversas formas el trabajo de investigación y/o de redacción.

Cuerpo de otros tipos de documentos

Los documentos descritos anteriormente que no corresponden a artículo de investigación deben ser cortos, breves. Deben contener las mismas partes del artículo de investigación a excepción de materiales y métodos, para los reportes de caso pueden describir las experiencias técnicas y metodológicas en un caso partícula. No superar las 8 páginas incluida la bibliografía.

Literatura citada: Debe ir en orden alfabético y sin numeración alguna. Recuerde usar el estilo de la **American Psychological Association (APA) sexta edición**, los artículos que reportan unidades deben adoptar el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Recepción de documentos

El documento en el formato indicado, junto con las imágenes, fotos, diagramas, mapas o dibujos que son consideradas figuras y deberán estar en formato JPG, PDF o TIFF, al e-mail, deben ser enviadas al correo revistaagropecuariaangostura@gmail.com, en los plazos establecidos.

La región Centro Sur, conformada por los departamentos del Tolima, Huila, Caquetá, Putumayo y Amazonas, se caracteriza por la biodiversidad y el gran potencial para la producción de alimentos. Según la FAO, el aseguramiento de las viandas para la nutrición de la población es una prioridad para satisfacer el hambre de más de 815 millones de personas, equivalente al 11% de la población mundial. Al ser Colombia uno de los países con la posibilidad de aportar a la superación de este déficit de seguridad alimentaria, el reto que se nos presenta requiere de un alto componente de audacia y proyección. El departamento del Huila al ser parte de esta región en la que predomina la producción de materias primas con escaso valor agregado, mínima planificación y baja adopción tecnológica, debe crear estrategias que busquen zanzar la brecha que nos separa de las dinámicas plausibles en la producción agroindustrial contemporánea.

Una de las entidades que ha asumido un decidido compromiso es el SENA, especialmente el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, quien ha definido para los próximos 10 años enfocar sus prioridades de formación profesional, innovación y desarrollo tecnológico a la agroindustria y la biotecnología. Son estas las claves para aprovechar las ventajas comparativas de nuestra región y así convertirnos en una potencia alimentaria. Lo anterior, en concordancia con dos de las apuestas de mayor importancia priorizadas en el Plan regional de productividad y competitividad del Huila y que corresponden a la agroindustria de base tecnológica de cafés especiales, cacao, frutales, cereales, lácteos y cárnicos, caña – panela; y piscicultura.



**Centro de Formación
Agroindustrial La Angostura**