



Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 7 Núm. 1 Enero – Junio, 2020 ISSN: 2007-9559

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Oaxaca, Volumen VII, Número 1, 2020



Foto: Lagunas de Chacagua, Oaxaca

Revista Mexicana de Agroecosistemas



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca





REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol. 7, Núm. 1 Enero – Junio 2020, es una publicación de la Secretaría de Educación Pública-Tecnológico Nacional de México, editada a través del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por la División de Estudios de Posgrado e Investigación. Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 56230, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-060211581800-203 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, <https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/>, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 20 de junio de 2020.

Su objetivo principal es difundir los resultados de investigación científica de las áreas agropecuaria, forestal, recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas, ambientales y socioeconómicas.

Para su publicación, los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución; las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.



Comité Editorial(DEPI-ITVO)

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. Jaime Calderón Patrón
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle
Dr. Salvador Lozano Trejo
Dr. Vicente A. Velasco Velasco
Dr. Yuri Villegas Aparicio
Dra. Gisela M. Santiago Martínez
Dra. Gisela V. Campos Ángeles
Dra. Martha P. Jerez Salas
M.C. Gustavo O. Díaz Zorrilla
M.C. Judith Ruíz Luna
M.C. María Isabel Pérez León

Coordinación editorial

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz

Diseño de portada

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz



Comité de arbitraje en este número

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo (DEPI-ITVO)
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz (DEPI-ITVO)
Dr. Jaime Manuel Calderon Patrón (DEPI-ITVO)
Dr. José C. Carrillo Rodríguez (DEPI-ITVO)
Dr. José R. Enríquez del Valle (DEPI-ITVO)
Dr. Rodolfo de los Santos Romero (ITVO)
Dr. Salvador Lozano Trejo (DEPI-ITVO)
Dr. Vicente A. Velasco Velasco (DEPI-ITVO)
Dr. Wenceslao Santiago García (UNSIJ)
Dr. Yuri Villegas Aparicio (DEPI-ITVO)
Dra. Gisela M. Santiago Martínez (DEPI-ITVO)
Dra. Gisela V. Campos Angeles (DEPI-ITVO)
Dra. Martha P. Jerez Salas (DEPI-ITVO)
M. C. Ernesto Hernández Santiago (ITVO)
M. C. Gustavo Díaz Zorrilla (DEPI-ITVO)
M. C. Judith Ruíz Luna (DEPI-ITVO)
M.C. María I. Pérez León (DEPI-ITVO)



Prólogo

La “Revista Mexicana de Agroecosistemas” (RMAE) surgió de una propuesta del Consejo del Posgrado del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Su objetivo es difundir los resultados generados del esfuerzo de alumnos e investigadores del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas que se imparte en este Instituto, y de las Licenciaturas en Biología e ingeniería en Agronomía y Forestal. Esta revista científica (RMAE) contempla las áreas agrícolas, pecuaria, forestal y recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas ambientales y socioeconómicas.

Por ello, se hace la invitación a alumnos, académicos e investigadores para que utilicen este espacio para publicar sus resultados de investigación relacionados con estas áreas. Los manuscritos se pueden enviar de acuerdo con las normas publicadas en <https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/normas-rmae.php> y pueden ser de tres tipos: artículo científico, nota técnica y ensayo libre (artículos de revisión). Todos los manuscritos se someterán a arbitraje y a edición. Deberán ser originales e inéditos, de alta calidad, acordes con las normas indicadas en este volumen y que no se hayan publicado o se vayan a publicar en otra revista.

En este número presentamos editados como artículos de investigación y Nota Técnica aspectos innovadores en el aprovechamiento del bambú, mango, camarón y sistemas agroforestales de guaje.

ATENTAMENTE

Comité editorial



	Contenido	Pág.
	Artículos de investigación	
1	ELABORACIÓN DE BIOCARBÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PROVENIENTE DE LAS PODAS DE BAMBÚ (<i>Guadua angustifolia</i>) / ELABORATION OF BIOCHAR FOR THE USE OF RESIDUES FROM BAMBOO (<i>Guadua angustifolia</i>) PRUNES WASTES	
	Gabriela Orozco Gutiérrez ^{1§} , Rogelio Cesar de Lira Fuentes ²	1 – 9
2	COMPARACIÓN DE FENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CÁSCARA, SEMILLA DE MANGO CRIOLLO DESHIDRATADO CON MICROONDAS / COMPARISON OF PHENOLS AND SKIN ANTIOXIDANT CAPACITY, HANDLE SEED DEHYDRATED CRIOLLO WITH MICROWAVE	
	Floriberta Calva Angeles ^{1§} , Lucero Zavala Zavala ¹ , Rogelio Muñoz Santos ¹ , María del Pilar Martha Vélez Rodríguez, Fredy Morales Trejo ² , Yanet Chávez Reyes ¹	10 – 18
3	OPTIMIZACIÓN DE DESHIDRATACIÓN DE LA SEMILLA DE MANGO CON MICROONDAS Y CONSERVACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS / OPTIMIZATION OF DEHYDRATION OF THE MANGO SEED WITH MICROWAVE AND OF PHENOLIC COMPOUNDS PRESERVATION	
	Lucero Zavala Zavala [§] , Yarizabeth Castro de la Cruz, Floriberta Calva Angeles, Alfredo Morales Cruz, María de la Luz Sánchez Mundo, Yanet Chávez Reyes ...	19 – 29
4	MODELOS ALOMÉTRICOS DE BIOMASA AÉREA PARA <i>Leucaena esculenta</i> EN UN SISTEMA AGROFORESTAL / ALOMETRIC MODELS FOR <i>Leucaena esculenta</i> ABOVEGROUND BIOMASS IN AN AGROFORESTRY SYSTEM	
	Yesenia José-Hernández [§] , Gerardo Rodríguez-Ortiz, José Raymundo Enríquez-del Valle, Gisela Virginia Campos-Angeles, Vicente Arturo Velasco-Velasco, Judith Ruiz-Luna	30 - 41
	Nota Técnica	
	SISTEMA DE NOTIFICACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN GRANJAS DE CAMARÓN / REAL-	



TIME WATER QUALITY NOTIFICATION SYSTEM FOR SHRIMP FARMS

Juan de Dios Barajas Corona^{1§}, Jesús Alberto Verduzco Ramírez², Elena Elsa Bricio Barrios², Santiago Arceo Díaz², Ramona Evelia Chávez Valdez², Patricia Elizabeth Figueroa Millán²

42 - 52

DIRECTORIO

Dr. Enrique Fernández Fassnacht- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Rubén Posada Gómez- Director de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

Ing. Sergio F. Garibay Armenta- Director (ITVO)

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez - Subdirección Académica (ITVO)

Dr. Salvador Lozano Trejo- Jefe (DEPI-ITVO)

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71233

Tel. y Fax: 01(951) 5170444, 5170788

Correo: rmae.itvo@gmail.com

<https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/>



ELABORACIÓN DE BIOCARBÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PROVENIENTE DE LAS PODAS DE BAMBÚ (*Guadua angustifolia*)¹

[ELABORATION OF BIOCHAR FOR THE USE OF RESIDUES FROM BAMBOO (*Guadua angustifolia*) PRUNES WASTES]

Gabriela Orozco Gutiérrez^{1§}, Rogelio Cesar de Lira Fuentes²

¹Investigadora Forestal del INIFAP Campo Experimental Tecomán, Colima. Km. 35 Carretera Colima-Manzanillo, C.P. 28100. ²Vicepresidente del Consejo Colimense del Bambú A.C. [§]Autor para correspondencia: (orozco.gabriela@inifap.gob.mx).

RESUMEN

El biocarbón (*biochar*) es un subproducto de la pirolisis de biomasa residual el cual ayuda a recuperar fertilidad y a secuestrar carbono. Los residuos sólidos, tales como hojas y ramas, subproductos del manejo y podas del bambú *Guadua angustifolia* representan 5 t ha⁻¹ año¹ en plantaciones forestales comerciales, estos, no generan valor. El objetivo fue elaborar biocarbón proveniente de residuos de bambú con la temperatura que genere el mejor rendimiento. El material fue secado al aire libre y fue pirolizado en un horno vertical. Se evaluó el rendimiento obtenido a cinco temperaturas: 350, 450, 550, 650 y 750°C. Se evaluaron 5 tratamientos con 3 repeticiones bajo un diseño de bloques completos al azar para un total de 15 unidades experimentales. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). El producto que tuvo mayor rendimiento fue caracterizado determinando: cenizas, materia volátil y materia recalcitrante (carbono fijado). Hubo diferencia estadística significativa entre tratamientos sobre el rendimiento de carbón elaborado. El mejor rendimiento fue, del 27% a 558.3°C (550°C), y tiene 11.5% bajo contenido de material volátil, 8.5% de cenizas y 72% de carbono fijado.

Palabras clave: Biochar, fertilización, pirolisis, suelo.

ABSTRACT

Biocarbon (*biochar*) is a bio product of the pyrolysis of residual biomass which helps to recover fertility and sequester carbon. Solid waste, such as leaves and branches, management by-products and pruning of *Guadua angustifolia* bamboo represents 5 t ha⁻¹ year⁻¹ in commercial forest plantations, these do not generate value. The objective was to produce biocarbon from bamboo waste with the temperature that generates the best performance. The material was dried in the open air and pyrolyzed in a vertical oven. The yield obtained at five temperatures was evaluated: 350, 450, 550, 650 and 750°C. Five treatments with 3 repetitions were evaluated under a randomized complete block design for a total of 15 experimental units. An analysis of variance and a Tukey test ($\alpha = 0.05$) were performed. The product that had the highest yield was characterized by determining: ashes, volatile matter and recalcitrant matter (fixed carbon). There

¹ Recibido: 26-abril-2019
Aceptado: 25-mayo-2020

was a statistically significant difference between treatments on the yield of processed coal. The best yield was 27% at 558.3°C (550°C), and it has 11.5% low volatile material content, 8.5% ash and 72% fixed carbon.

Index words: Biochar, fertilization, pyrolysis, soil.

INTRODUCCIÓN

La pérdida de la fertilidad y la degradación de los suelos en México, es un fenómeno que va en aumento por el cambio climático que perturba la producción de alimentos y la conservación de los bosques; además afecta la disponibilidad de agua causada por sequías extremas o lluvias torrenciales, temperaturas muy altas o muy bajas (Sánchez *et al.*, 2011).

Las deficiencias nutrimentales y de materia orgánica generadas por la pérdida de la fertilidad, reduce no solo la calidad del suelo, sino también los rendimientos que pueden alcanzar los agroecosistemas. Normalmente, este problema es frecuentemente subsanado con aplicaciones de fertilizantes inorgánicos. Sin embargo, si se usan indiscriminadamente (hiperfertilización) pueden provocar contaminación de los cuerpos de agua y degradación en el suelo. Son muy pocos aún los agricultores que usan abonos orgánicos (Fortis *et al.*, 2007). El empleo de nuevas tecnologías como el uso de biofertilizantes, microorganismos y fertilizantes minerales para mejorar la fertilidad del suelo, podría verse apoyada por el empleo del biocarbón (Yamoah *et al.*, 2002).

Existen reportes que indican que el biocarbón puede retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo más lentamente que los productos inorgánicos, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de los cultivos (Zheng *et al.*, 2013). Dado que el “biochar” es una excelente enmienda en la recuperación de suelos ácidos y degradados, característicos de los trópicos con poca producción, su uso mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo permitiendo mayor productividad y mejorar la caldiad del suelo (Escalante *et al.*, 2016). The International Biochar Initiative o IBI (2012), define al biochar (biocarbón) como un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa, en un ambiente limitado de oxígeno, transformando los residuos sólidos orgánicos en un carbón fijo.

Aunque la producción de biocarbón y su aplicación al suelo es una tecnología empleada en diferentes partes del mundo (Lehman y Joseph, 2009; Major, 2010; Steiner *et al.*, 2010; Van Zwieten *et al.*, 2010), en México hay poca información disponible acerca de este producto. El biocarbón es un producto que puede ser obtenido sólo donde hay suficiente biomasa disponible, tal es el caso de los subproductos de actividades agroforestales o residuos orgánicos urbanos, que pueden ser usados como materia prima. Castañeda (2016) considera que entre las fuentes se sitúan los restos de poda, que ha sido estudiado en los últimos años como materia prima para la fabricación de biocarbones. Escalante *et al.*, (2016) indica que entre los materiales más utilizados son los residuos de cosecha, plantas secas, biomasa de árboles, entre otros.

El bambú constituye una alternativa sustentable de la madera, ya que requiere únicamente 5 años para ser aprovechado (aprovechamiento de recursos forestales maderables 20-40 años). El bambú es la materia prima para la elaboración de múltiples productos como: artesanías, muebles, estructuras, carbón vegetal y latillas, entre otros. Durante el proceso de aprovechamiento de culmos (tallos) de bambú dentro de una plantación forestal comercial, se generan residuos sólidos los cuales pueden ser aprovechados para elaborar biochar. En este contexto, se elaboró biocarbón

aprovechando los residuos de las podas de una plantación comercial de bambú *Guadua angustifolia* evaluando sus propiedades fisicoquímicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de material y ubicación de la plantación

El material recolectado fue de las ramas de bambú que fueron cortadas durante la poda habitual de una plantación forestal comercial de la especie *Guadua angustifolia*, ubicada en El Remudadero, Municipio de Comala, Colima. Donde fueron seleccionados al azar cinco tramos de 5 cepas diferentes, cortadas de la misma forma con ayuda de un machete o sierra de dientes de tiburón incluyendo ramas laterales y espinas. De cada rama se separaron por tejidos: ramas laterales primarias y ramas laterales secundarias. A este material se le realizaron cortes de aproximadamente 20-30 cm e inmediatamente después se prepararon las cinco tandas para los cinco tratamientos a realizarse, distribuyéndose equitativamente. Se contabilizó el número de trozos que pudiesen llenar el horno vertical para cada tratamiento, se determinó la humedad y se fijó un tiempo de residencia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de las variables registradas en el proceso de corte, preparación y pirolisis.

Número de quema	Número de ramas primarias	Número de ramas secundarias	Contenido de humedad (%)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)
1	50	20	35± 2.7a	3	350
2	50	20	32±2.5a	3	450
3	50	20	33±2.8a	3	550
4	50	20	34±3.2a	3	650
5	50	20	34±2.8a	3	750

Porcentaje de diversas propiedades físicas del carbón (promedio ± error estándar). Las letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Control de secado, humedad de la materia prima y características del horno

La materia prima fue secada al sol a temperatura ambiente, hasta tener una humedad < 20%. Para realizar esta medición, se utilizó un medidor de humedad manual para madera marca Benetech y la temperatura fue medida con termómetro.

El carbón se elaboró en un horno pirolítico tipo reactor vertical de doble barril, uno de acero de 200 L y uno de 50 L de acero inoxidable. Este horno fue diseñado para la producción en lotes de pequeñas cantidades con fines de investigación y análisis. Ambos con tapas, dejando una compuerta para la alimentación con leña de bambú y una salida de los gases procedentes de la pirolisis (syngas).

Proceso de pirolisis lenta

La pirolisis fue lenta o convencional en ausencia de oxígeno. El horno se dividió en dos niveles a partir de los orificios de entrada de aire y salida de humo. En cada uno se colocaron la misma

cantidad de material que se identificaron con clavos para comparar la calidad por nivel del horno.

Se evaluó el rendimiento obtenido a cinco temperaturas: 350, 450, 550, 650 y 750°C. Se evaluaron 5 tratamientos con 3 repeticiones bajo un diseño de bloques completos al azar dando un total de 15 unidades experimentales. Para identificar los tratamientos con diferencia significativa se realizó una prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). El proceso de carbonización se realizó en tres ocasiones con una duración de 150 h., se registró la temperatura máxima alcanzada en las quemas con un termómetro infrarrojo.

Rendimiento y propiedades fisicoquímicas

El rendimiento (kg) se determinó relacionando el peso del biochar (kg) de cada muestra entre el peso de la biomasa seca (kg) por 100. Para la caracterización del biocarbón, se consideró la determinación de los siguientes parámetros: porcentaje de humedad, ceniza, materia volátil y materia residente o recalcitrante (carbono fijado). Para evaluar las propiedades fisicoquímicas se usó la norma internacional ASTM D 1762 – 84 (ASTM, 2001) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ecuaciones utilizadas para determinar el rendimiento y propiedades físicas del biocarbón de bambú

Variable	Formula	Clave
Rendimiento (R)	$R = \frac{P}{P_s} * 100$	P= Peso del biochar (kg) Ps= Peso de la biomasa seca (kg)
Contenido de humedad (CH)	$CH = \frac{A - B}{B - C} * 100$	A= Masa inicial de la muestra molida (g) B= Masa después de 105°C (g) C= Masa después de 950°C (g)
Material volátil (MV)	$MV = \frac{B - C}{D} * 100$	D= Masa del residuo (g) CH= Contenido de humedad (%)
Contenido de Cenizas (CC)	$CC = \frac{D}{B} * 100$	MV= Material volátil (%) CC= Contenido de Cenizas (%)
Carbón fijo (CF)	$CF = 100 - C - MV - CC$	CF= Carbón fijo MV=Material volátil

Contenido de humedad: Se partió de 1.5 g del carbón molido y cribado con un tamaño de partícula de 425 µm. La muestra se colocó en una estufa ARSA® durante dos horas a 105° C.

Material volátil: Se colocó la muestra de carbón libre de humedad en una mufla CAISA ® a 950° C. El porcentaje del material volátil se estimó por diferencia de peso entre la masa del carbón anhidro y la masa de la muestra después de exponerla a 950° C. Contenido de cenizas: la muestra libre de humedad y material volátil se sometió a 750° C en la mufla durante siete horas, posteriormente se enfrió y pesó. Carbón fijo: Se estimó al restar el contenido de humedad, material volátil y cenizas a la masa del carbón molido y tamizado (Márquez-Montesino *et al.*, 2001).

Los datos porcentuales del contenido de humedad, material volátil, cenizas y carbón fijo se transformaron por medio de la función raíz cuadrada del arco seno de p , donde: $p = a$ la proporción de la variable dependiente (Scheffler, 1981). Posteriormente, se realizaron pruebas de

normalidad de los datos para cada variable, mediante la prueba Kolmogorov–Smirnov. Fueron analizados por el programa estadístico SAS/ETS® (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

El tratamiento con mayor rendimiento de biochar fue en un rango de temperatura de 550 a 558.3°C. Escalante *et al.* (2016) indican que para biochar destinado al uso agrícola como necesario que las temperaturas sean inferiores a los 700° C, esto, lo hace diferente al carbón activado o al carbón usado como combustible. Los resultados obtenidos son característicos para altas temperaturas de 550°C, tal como lo reportan Milesi *et al.* (2016); confirmándose que la temperatura es un factor importante en las características del biochar y en consecuencia en la estabilidad del biochar (Demirbas, 2004). El análisis de varianza del rendimiento mostró diferencias significativas ($p < 0.01$) entre temperaturas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza del rendimiento ($m^3 t^{-1}$) del biocarbón de *G. angustifolia* producido.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de <i>F</i>	Valor de <i>p</i>
Temperatura (T)	2	2.878	8.82	0.0042
Nivel (N)	2	0.3322	1.02	0.3141
Temperatura×Nivel (TN)	2	0.0053	0.02	0.8872
Error	54	0.321		
Total	56			

Propiedades fisicoquímicas

El contenido de humedad del bambú debe ser bajo para realizar un encendido rápido y obtener buenos rendimientos de producción de biochar. Así mismo, para que no se generen humos negros por la mala combustión producida, por lo que la humedad del material debe estar entre 4.5 a 17 % de humedad. Velázquez-Trujillo *et al.* (2010) iniciaron la carbonización con una humedad de 6.9 % sin tener problemas para el proceso, por lo que el rango sugerido permite una adecuada carbonización. El mejor rendimiento fue del 27%, el cual tiene 11.5% de bajo contenido de material volátil, 8.5% de cenizas y 72% de carbono fijado (Cuadro 4). Este resultado es mejor que lo encontrado para *Bambusa vulgaris striata* por Velázquez-Trujillo *et al.* (2010) quienes reportaron un rendimiento del 25%, mientras que Choy *et al.* (2015) obtuvieron el 22.5 % de rendimiento.

Respecto al contenido de humedad (CH), materia volátil (MV) y carbón fijo (CF), contenido de cenizas (CC) no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las temperaturas. Un bajo contenido de carbón fijo aumenta la friabilidad y fragilidad, y disminuye la resistencia a la compresión y cohesión (Demirbas, 2003). El contenido de carbón fijo (72%) es debido a su alta estabilidad, por consiguiente, bajo contenido de material volátil (11.5%), muy parecido a lo obtenido por Velázquez-Trujillo *et al.*, 2010 quienes obtuvieron un 35% de rendimiento. Existen evidencias que al aplicar biocarbón al suelo, debido a que existe evidencia que se precipita dentro

del mismo, proveyendo una fuente de carbono altamente soluble que podría causar deficiencia de nutrimentos a corto plazo, ya que estimularía el crecimiento de microorganismos que compiten con la planta por nitrógeno disponible, aunque esta sustancia volátil desaparece generalmente de una estación de crecimiento a otra, sin contribuir a mejorar las propiedades del suelo a largo plazo (Mc Laughlin *et al.*, 2009).

Cuadro 4. Propiedades fisicoquímicas del biocarbón obtenido de bambú *Guadua angustifolia*.

Temperatura ° C	Rendimiento (%)	Volátiles (%)	Cenizas (%)	Carbón fijo (%)	Humedad (%)
350	10	10.5±4.0a	8.2±0.5a	63.5±2.4a	4.4±0.3a
450	25	11.2±4.1a	8.1±0.6a	65.3±3.1a	4.3±0.2a
550	27	11.5±3.8a	8.5 ±0.7a	72±3.8b	4.5±0.3a
650	23	10.9±3.7a	8.4±0.4a	70.2±3.9b	4.2±0.5a
750	20	10.2±4.1a	8.2±0.6a	69.3±3.8b	4.5±0.1a

Porcentaje de diversas propiedades físicas del carbón (promedio ± error estándar). Las letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El contenido de material volátil es usado como medida de la susceptibilidad del biocarbón a degradarse, así mismo (Escalante *et al.* 2016) indica que a mayor contenido de material volátil es mayor la repelencia del biocarbón al agua. La importancia de presentar valores bajos de contenido de cenizas, es para evitar que los reactores se saturen obstruyendo el flujo de los gases de combustión en los intercambiadores de calor (Werkelin *et al.*, 2011). Mientras que un contenido de carbón fijo bajo, aumenta la posibilidad de rompimiento porque incrementa la friabilidad y fragilidad; y por ende disminuye la resistencia a la compresión (Demirbas, 2003).

Novak *et al.* (2010) indican que el 58% de carbono se encuentra formando parte de estructuras aromáticas altamente condensadas, presentándose en menor cantidad las formas alifáticas (29%) y carboxílica (13%), lo cual no alteraría la biodisponibilidad de carbono en el suelo.

Los biocarbones provenientes de material vegetal con altos contenidos de celulosa, como el bambú, obtenidos a temperaturas entre 250 y 350 °C, tienen una pérdida de masa considerable en forma volátil, dejando como producto final una estructura rígida de carbono amorfo. Por lo que tiene coherencia, que el mayor rendimiento sea a temperaturas mayores. Existe una relación directamente proporcional entre el aumento de la temperatura en la pirolisis y el incremento de la volatilización (Baldock y Smernik, 2002; Demirbas, 2004). En el caso del bambú cuando se encuentran sus tallos maduros, se debe a que esta disposición y organización de las fibras de celulosa en la pared secundaria y la fuerte lignificación de los tejidos de las especies leñosas, hace que presenten una estabilidad térmica elevada (Maya *et al.*, 2017).

La temperatura es fundamental para determinar diferentes propiedades fisicoquímicas del carbón de bambú. Por ejemplo, los biocarbones elaborados por medio de pirolisis a temperaturas bajas, pueden contener compuestos orgánicos que pueden ayudar a la nutrición vegetal. Sin embargo, se han encontrado que contienen bajos niveles de absorción, y por el contrario, existe una mejor capacidad de absorción en materiales carbonizados producidos a temperaturas mucho más altas (Gundale y De Luca, 2006).

Ayahn, (2000), Mohan *et al.* (2006) y Cedeño-Valdiviezo e Irigoyen- Castillo (2011) mencionan que el bambú *Guadua* es un buen candidato como precursor para producir carbón, debido a su bajo costo de producción y alta tasa de reposición; teniendo en cuenta que gran parte de esta importante materia prima, queda como desecho (Prías-Barragán *et al.*, 2011). El bambú *Guadua* es un material ligno celulósico, que implica una serie de reacciones tales como despolimerización, craqueo y deshidratación de lignina y celulosa, en la que se retira la materia volátil liberando elementos (principalmente hidrógeno y oxígeno) en forma de alquitranes, quedando un esqueleto carbonoso con porosidad incipiente (Navarrete *et al.*, 2005).

El carbón vegetal tiene la capacidad de atraer en su superficie moléculas de gases (adsorción) y presenta valores máximos de superficie específica no mayores a los 2 m g⁻¹ de carbón. Las partículas de carbón tienen, en su estructura interna, una gran cantidad de cavidades o intersticios que alojan el material volátil (sustancias alquitranadas) que se forma durante la carbonización; estas áreas tienen baja capacidad de adsorción. Con la activación, el material volátil es eliminado por arrastre, dejando los intersticios libres, con el consiguiente aumento de la superficie específica que puede llegar a valores cercanos a los 2 000 m g⁻¹ (Gonzales, 2002).

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para el efecto de la temperatura sobre el rendimiento de carbón elaborado. El mejor rendimiento fue del 27% a 558.3°C (550°C), el cual presentó bajo contenido de material volátil (11.5%), de cenizas (8.5%) y de carbono fijado (72%). La calidad del biocarbón, en términos fisicoquímicos, se encuentra dentro de los intervalos establecidos para un biocarbón de calidad, establecidos por International Biochar Initiative. La calidad del carbón puede incrementar, si se consideran aspectos operativos durante el proceso de carbonización, como elevar la temperatura para reducir el porcentaje de material volátil y aumentar el carbón fijo; sin embargo, se reduciría el rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Ayahn, D. 2000. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion & Management* 42: 1357-1378. DOI: 10.1016/S0196-8904(00)00137-0
- Baldock, J. A. and R. J. Smernik. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry* 33: 1093-1109. DOI: 10.1016/S0146-6380(02)00062-1
- Castañeda, W. 2016. Mejora de la gestión de la fracción vegetal municipal. V Congreso de residuos sólidos en el Perú. Logística, reciclaje, reúso, tratamiento y disposición final Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. pp. 23-24.
- Cedeño-Valdiviezo, A. E y J. Irigoyen-Castillo. 2011. El bambú en México. *Usjt. Arq. Urb.*, 6:223-243. Fecha de consulta 08/agosto/2019. Disponible en: https://www.usjt.br/arq.urb/numero_06/arqurb6_06_ponto_de_vista_03_alberto_cedeno.pdf
- Choy, K., J. Barford and G. McKay. 2005. Production of activated carbon from bamboo scaffolding waste-process design, evaluation and sensitivity analysis. *Chemical Engineering Journal* 109: 147-165. DOI: 10.1016/j.cej.2005.02.030
- Demirbas, A. 2003. Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy Conversion and Management* 44(9):1465-1479.

- Demirbas, A. 2004. Bioenergy, global warming, and environmental impacts. *Energy Sources* 26(3): 225-236. DOI: 10.1080/00908310490256581
- Escalante, A. M., G. Pérez., C. Hidalgo, J. López, J. Campo, E. Valtierra y J. D. Etchevers. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. México. *Terra Latinoamericana* 34(3):367-382.
- Fortis, H., E. Salazar, I. Orono, J. Leos, J. Cruz, J. A. Montemayor, J. A. García y R. A. Aldaco. 2007. Estadísticas de la producción orgánica. pp. 1-33. *In*: E. Salazar S., H. I. Trejo E., I. Orono C., C. Vázquez V., J. D. López M., M. Fortis H., A. Flores H., F. J. Sánchez R., J. A. Léos R. y F. Jiménez D. (eds.). *Uso y aprovechamiento de abonos orgánicos e inocuidad*. FAZ- UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED. Gómez Palacio, Durango, México
- Gonzales, M.H.E. 2002. Estudio de carbonización y sus productos de 02 especies de "paca" (*Guadua angustifolia* y *Guadua sarcocarpa*) provenientes de la zona de Iberia-Tahuamanu, Madre de Dios. Monografía. Sección Transformación Química, Dpto. Industrias Forestales, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima Perú. Disponible en: https://www.academia.edu/8052385/ESTUDIO_DE_CARBONIZACION_DE_02_ESPECIES_DE_PACA_Guadua_angustifolia_y_Guadua_sarcocarpa_PROVENIENTES_DE_LA_ZONA_DE_IBERIA-TAHUAMANU_MADRE_DE_DIOS
- Gundale, M. J. and T. H. DeLuca. 2006. Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management* 231(3): 86-93. DOI:10.1016/j.foreco.2006.05.004
- International Biochar Initiative (IBI). 2014. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. (Consultado: 25/04/2019). Disponible en: http://www.biochar-international.org/sites/default/files/IBI_Biochar_Standards_V2%20_nal_2014.pdf.
- Lehmann, J and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management. Science and technology. Earthscan. UK-USA. (Consultado: 25/04/2019). Disponible en: https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/Biochar_book_Chapter_1.pdf
- Major, J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative. (Consultado: 25/04/2019). Disponible en: <https://biochar-international.org/>
- Maya, J.M., J.C. Camargo y O. Marino. 2017. Características de los culmos de guadua de acuerdo al sitio y su estado de madurez. *Colombia Forestal* 20(2): 171-180. DOI:10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06
- McLaughlin, H., P. S. Anderson, F. E. Shields and T. B. Reed. 2009. All biochars are not created equal, and how to tell them apart. North American Biochar Conference. Boulder, CO. (Consultado: 25/04/2019). Disponible en: <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/AllBiochars--Version2--Oct 2009.pdf>.
- Milesi, L., C. Branco, A. Irizar y A. Andriulo. 2016. Caracterización de biochar producidos a partir de *Miscanthus x giganteus* y *Aspidosperma quebracho-blanco*. XXX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Rio de Janeiro, Brasil.
- Mohan, D., C. Pitman and P. Steele. 2006. Pyrolysis of wood/Biomass for bio-oil: A critical review. *Energy & Fuels* 20: 848-88. DOI: 10.1021/ef0502397
- Navarrete, L., L. Giraldo, M. Baquero y J. Moreno. 2005. Carbón activado: efecto del lavado con ácido sulfúrico del precursor lignocelulósico, cuesco de palma africana, sobre los procesos de carbonización y activación. Bogotá, CO. *Revista Colombiana de Química* 34(1):67-78.

- Novak, J. M., I. Lima, B. Xing, J. W. Gaskin, C. Steiner, K.C. Das, D.W. Watts, W. J. Busscher, and H. Schomberg. 2009. Characterization of designer at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3:195- 206.
- Prías-Barragán J. J., C. A. Rojas-González, N. A. Echeverry-Montoya. G. Fonthal y H. Ariza-Calderón. 2011. Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua angustifolia* Kunth. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 35(135): 157-166.
- Sánchez, S., M. Hernández y F. Ruz. 2011. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos Forrajes* 34: 375-392.
- Scheffler, W. C. 1981. *Bioestadística*. Fondo Educativo Interamericano. México. D.F. México. 267 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2004. SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide. Release 9.1. SAS Institute. Raleigh, NC. USA. 5136 p.
- Steiner, C., K. C. Das, N. Melear and D. Lakely. 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environmental Quality* 39:1236-1242.
- Van Zwieten, L., S. Kimber, S. Morris, K. Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph and A. Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plan Soil* 327: 235-246. DOI: 10.1007/s11104-009-0050-x
- Velázquez-Trujillo, A., E. Bolaños-Reynoso y Y.S. Pliego- Bravo. 2010. Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 9(3): 359-366
- Werkelin, J., D. Lindberg, D. Boström, B. J. Skrifvars and M. Hupa. 2011. Ash-forming elements in four Scandinavian wood species part 3: Combustion of five spruce samples. *Biomass and Bioenergy* 35(1): 725-733.
- Yamoah, C. F., A. Bationo, B. Shapiro and S. Koala. 2002. Trend and stability of millet yields treated with fertilizer and crop residues in the Sahel. *Field Crops Research* 75: 53-62. DOI: 10.1016/S0378-4290(02)00008-4
- Zheng, H., Z. Wang, X. Deng, S. Herbert and B. Xiang. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma* 206: 32-39. DOI:10.1016/j.geoderma.2013.04.018

COMPARACIÓN DE FENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CÁSCARA, SEMILLA DE MANGO CRIOLLO DESHIDRATADO CON MICROONDAS¹

[COMPARISON OF PHENOLS AND SKIN ANTIOXIDANT CAPACITY, HANDLE SEED DEHYDRATED CRIOLLO WITH MICROWAVE]

Floriberta Calva Angeles^{1§}, Lucero Zavala Zavala¹, Rogelio Muñoz Santos¹, María del Pilar Martha Vélez Rodríguez, Fredy Morales Trejo², Yanet Chávez Reyes¹

¹Departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias; Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Carretera las Choapas-Cerro de Nanchital Km 6. Col. J. Mario Rosado, Las Choapas, Veracruz, C.P. 96980, México. Tels. (01923) 3232010 al 32017.²Laboratorio de Química del Dpto. de preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. [§]Autor para correspondencia: (florangeles-98@hotmail.com).

RESUMEN

El tratamiento adecuado de los residuos agroindustriales como son semilla y cáscara de mango criollo puede evitar muchos problemas de contaminación. En este estudio se realizó la comparación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante entre cáscara y semilla de mango criollo deshidratada con microondas. Se estandarizaron las condiciones óptimas de deshidratación con microondas, cuantificación de los compuestos fenólicos de la semilla y cáscara fresca y deshidratada, capacidad antioxidante con el radical ABTS, análisis químico proximal de semilla y cáscara de mango. Se encontró que las condiciones de deshidratación fueron de 15-17 min a una potencia de 460 watts. La cáscara de mango criollo presentó un contenido de compuestos fenólicos de 243.56 ± 0.15 y la semilla 67.58 ± 0.04 . Se obtuvo un mayor contenido de los compuestos fenólicos en la semilla y cáscara deshidratada en comparación con la semilla y cáscara fresca debido que el tratamiento con microondas ayuda a liberar los compuestos oxidativos y compuestos fenólicos. La cáscara de mango presentó 51.15 ± 2.40 de capacidad antioxidante, la semilla presentó 45.30 ± 0.06 , debido a la gran cantidad de compuestos bioactivos tanto en cáscara como en semilla de mango deshidratada se puede dar un valor agregado al utilizarse en diversos productos en la industria alimentaria.

Palabras clave: Compuestos bioactivos, ondas electromagnéticas, químico proximal, radical ABTS, secado.

ABSTRACT

The proper treatment of agroindustrial waste such as seed and shell of native mango can avoid many pollution problems. In this study, a comparison was made of phenolic compounds and antioxidant capacity between shell and seed of criollo mango dehydrated with microwaves. The optimal conditions of dehydration were standardized with microwaves, quantification of the phenolic compounds of the seed and fresh and dehydrated skin, antioxidant capacity with the radical ABTS, proximal chemical analysis of seed and mango husk. It was found that dehydration conditions were 15-17 min at a power of 460 watts. The criollo mango peel had a content of

¹ Recibido: 19-abril-2019
Aceptado: 12-mayo-2020

phenolic compounds of 243.56 ± 0.15 and the seed 67.58 ± 0.04 . A higher content of the phenolic compounds was obtained in the seed and dehydrated shell in comparison with the seed and fresh shell since the treatment with microwaves helps to release the oxidative compounds and phenolic compounds. The mango husk presented 51.15 ± 2.40 of antioxidant capacity, the seed presented 45.30 ± 0.06 , due to the large amount of bioactive compounds in both shell and dehydrated mango seed can be given an added value and be used in various products in the food industry.

Index words: bioactive compounds, electromagnetic waves, proximal chemical, radical ABTS, drying.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es la fruta comercial de mayor disponibilidad en países de la región tropical de América además es una fuente importante de fibra, vitaminas y compuestos bioactivos con actividad antioxidante como la vitamina C, vitamina E, polifenoles y carotenos (Sumaya *et al.*, 2012). Es uno de los cultivos de frutas tropicales más importantes con un valor comercial significativo, ocupa el tercer lugar en cuanto a superficie sembrada en México dentro de los frutales, siendo el café el principal, seguido de la naranja (SAGARPA-SIAP, 2008).

Las industrias de alimentos producen una gran cantidad de residuos los cuales afectan al medio ambiente, ya que gran parte de estos residuos agroindustriales se disponen sobre el suelo sin ningún tratamiento previo. A dichos residuos se les puede dar un valor agregado y obtener grandes beneficios de ellos Engels *et al.* (2009) mencionan que las cáscaras y el hueso del mango que pueden considerarse desechos pueden ser una fuente importante de compuestos bioactivos, tales como la pectina, polifenoles y manguiferina en las cáscaras, ácidos grasos poliinsaturados en el hueso y compuestos de naturaleza fenólica con actividad antioxidante y antiinflamatoria. Además, se ha reportado una importante actividad antimicrobiana en extractos de semilla de mango, debido a la naturaleza de los compuestos polifenólicos que contienen. En Las Choapas Veracruz se cultiva el mango pájaro, esta fruta es utilizada para la elaboración de helados, mermeladas, jalea y agua, originando residuos como son la semilla y la cáscara. García *et al.* (2003) encontraron que las cáscaras de mango criollo presentan en promedio 4.8% de proteína cruda, 29% de fibra dietética soluble y 27% de fibra dietética insoluble, dicho balance entre los dos tipos de fibra es similar al de la avena. Así mismo, en la semilla y cáscara del mango se ha encontrado una importante actividad antioxidante, inclusive más alta que en la pulpa misma (Soong y Barlow, 2004; Ribeiroa *et al.*, 2008; Maisuthisakula y Gordon, 2009).

De acuerdo al estudio de la Cadena Agroalimentaria del Mango (2003) uno de los más importantes problemas de la transformación del mango es el mínimo desarrollo tecnológico para su industrialización, por lo que se favorece su venta en fresco lo que implica que los productos finales tengan un bajo valor agregado y exista un alto desperdicio de materia prima (aproximadamente 40%). Una manera de responder a esta situación es la formación de una red de valor, en la cual es indispensable conocer las necesidades del consumidor para el desarrollo de nuevas estrategias de comercialización del mango, es por eso que se recomienda la implementación de las microondas para la conservación de sus compuestos ya que se ha convertido durante los últimos años, en una herramienta que mejora la productividad de los procesos (Duvernay, 2005; Wannberg, 2006). Además, es una forma de energía electromagnética no calorífica, la cual se caracteriza por ser una onda corta que viaja a la velocidad de la luz y

tiene la propiedad de hacer vibrar las moléculas de los cuerpos que atraviesa, calentándolos. El proceso con microondas genera calor del interior del alimento al exterior a través de las vibraciones moleculares, en cambio con el calentamiento convencional, el calor se aplica desde el exterior hacia el interior, generando un aumento de temperatura en el alimento.

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la deshidratación con microondas y comparar los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de la cáscara y semilla de mango criollo. Esto con la finalidad de conservar los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante para poder darle un valor agregado a la semilla y cáscara de mango criollo y ser utilizados en la elaboración de alimentos con propiedades funcionales debido a que los alimentos funcionales y los suplementos representan una oportunidad para el diseño y formulación de alimentos orientado a productos que contribuyan a conservar la salud y a prevenir enfermedades; mediante la incorporación de materias primas o ingredientes con actividades funcionales (Pérez, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestra

Para el desarrollo del trabajo experimental se utilizó como muestra de estudio la cáscara y semilla de mango criollo, las cuales fueron recolectadas durante los meses de junio-julio del 2017 en la localidad de San José del Carmen municipio de Las Choapas, los frutos recolectados se llevaron al laboratorio de usos múltiples del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas Veracruz. Se hizo una selección de acuerdo a sus características fenotípicas y se desinfectaron con Citrus®. Se separaron en lotes de 5 kg cada uno y se refrigeraron a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ hasta el momento de su análisis.

La deshidratación de la cáscara y semilla de mango se realizó por el método con microondas. Se estandarizaron las variables como tiempo (min), potencia (watts) y la cantidad de masa (g) a deshidratar, determinando límites máximos y mínimos.

Análisis químico proximal

Para el estudio de químico proximal se basó en los métodos oficiales de análisis descritos por la AOAC (2000):

Determinación de humedad: Se realizó en estufa a 105°C hasta la obtención de peso constante. El contenido de humedad es el resultado de la diferencia del peso inicial y el final expresado en porcentaje. Determinación de proteína: Esta determinación se realizó por el método semimicro de Kjendahl. Se considera 6.25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína. Determinación de grasa: Se usó el método Soxhlet, utilizando como solvente el hexano-éter. Determinación de ceniza: Se realizó por incineración de la muestra en una mufla a 600°C método descrito por la Determinación de fibra bruta: Se determinó con la muestra previamente seca y desgrasada AOAC (2000).

Extracción de los compuestos fenólicos

Se analizaron extractos metabólicos de la semilla y cáscara de mango criollo. La extracción se obtuvo en metanol: agua (1:1). Se pesó 1 g de muestra y se agregó 7.5 mL del disolvente de

extracción. Posteriormente se sónico por (1 h), se dejó en reposo por 15 h y se volvió a sonicar por 1h. El extracto se centrifugó a $13,000\text{ g}^{-1}$ por 5 min, usando una centrifuga modelo Beckman J2-H2 (USA).

El contenido total de fenoles fue determinado usando el método de Folin-Ciocalteu. El reactivo de Folin-Ciocalteu fue diluido 10 veces con agua. Los extractos de la semilla y cascara de mango (0.1 mL) fueron mezclados con 750 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu. Después la reacción se dejó en reposo por 5 min, y se adicionaron 750 μL (60 g L^{-1}) de bicarbonato de sodio y se mezclaron. Las soluciones fueron incubadas por 90 min y para determinar las lecturas espectrofotométricas se leyeron a 750 nm usando un Thermo Spectronic modelo Genesys 10_{uv} scanning (Rochester, NY. USA). Se realizó una curva de calibración usando ácido gálico en concentraciones de 0 a 0.25 mg mL^{-1} . Los resultados se expresan como $\text{mg GAE}/100\text{ g DW} \pm$ desviación estándar (SD) para 3 repeticiones.

Determinación de capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos de cáscara y semilla de mango fueron evaluadas mediante el uso de 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) (ABTS). Se preparó el reactivo per sulfato de potasio del cual pesaron 0.0066 g y reactivo ABTS .0384, los reactivos en polvo se colocaron en frascos color ámbar, y después fueron llevados a un matraz aforado de 50 ml y se diluyeron con agua destilada y se colocó en refrigeración 12 h antes de usarlo.

El reactivo ABTS preparado se diluyo en etanol 1:100 y se leyó en el espectrómetro con absorbancia de 734 nm. En tubos de ensayo se colocaron 10 μL de muestra de cascara y semilla de mango los cuales se le adicionaron 990 mL de ABTS, seguido de una homogenización durante 1 min. Las muestras se realizaron por triplicado para la lectura en el espectrofotómetro. Antes de leer a cada muestra se analizó la estabilidad del ABTS (La muestra realizaba previamente) en el espectrofotómetro.

Análisis estadístico

Las medidas realizadas para las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado expresando los resultados como valor medio (\pm) desviación estándar (SD). Se realizó un análisis de varianza y la comparación de resultados mediante la prueba Tukey para ver las diferencias entre las distintas condiciones con un nivel de significancia del 95% ($p>0.05$), utilizando el programa infostat versión 2017®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura del mango

El mango es un fruto carnosos que varía de tamaño y color, esto es independiente de las variedades de mango al tener toda la misma estructura. El mango de la variedad criolla contiene 6.8% de semilla y 20% de cáscara. Datos similares encontraron Salunkhe y Kadam (1995) y Sruamsiri y Silman (2009) en el mango manila la cáscara representa 12-15% y la semilla de un 15-20%. Dependiendo la variedad de mango la semilla representa un porcentaje del 10 al 25% del total de la fruta a excepción del mango Kernel en el cual la representa 45 a 85% de la semilla o aproximadamente el 20% de la fruta. En otros estudios Durán *et al.* (2016) mencionan que la

cáscara de mango representa de 10 a 25% del peso total del fruto, de la variedad de mango Kernel representa la semilla de un 45 a 85% total del fruto.

Deshidratación con microondas de la cáscara y semilla de mango criollo

En el Cuadro 1 se pueden observar las condiciones de secado con microondas de semilla y cáscara de mango. Las condiciones de deshidratación con microondas se estandarizaron aplicando potencias, en un rango de tiempo de 15 a 17 min. Alvarado (2017) reportó resultados más eficaces utilizando y evaluando el rendimiento de la fresa en sus experimentos de secado en horno de microondas a una frecuencia de 2.45 GHz con potencia de 10 kW, el mayor aprovechamiento de la energía se obtuvo durante el minuto 5 y 20 donde el rendimiento fue entre 0,3 y 0,45 kg kWh⁻¹ presentando una diferencia significativa ($p > 0.05$), utilizando el método Tukey. En estudios realizados por Hojjati *et al.* (2015) se deshidrataron pistachos en hornos de microondas a 480 y 640 W, y exhibieron mayor contenido de fenoles totales. Condiciones similares para llevar a cabo la deshidratación de cáscara y semilla de mango criollo.

Cuadro 1. Condiciones de secado, determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Muestra	Condiciones de secado		Determinación de compuestos fenólicos EAG/100 g		Capacidad antioxidante ABTS ($\mu\text{M Trolox}$)	
	Potencia (watts)	Tiempo (min)	Materia fresca	Deshidratada con microondas	Materia fresca	Deshidratada con microondas
Semilla de mango	460	15	52.64 ^a ±0.05	67.58 ^b ±0.04	37.30±0.04 ^a	45.30±0.06 ^b
Cáscara de mango	460	16-17	104.31 ^a ±0.10	243.56 ^b ±0.15	43.80 ± 1.5 ^a	51.15± 2.40 ^b

Letras idénticas indican que no hay diferencia significativa (Tukey, $p > 0.05$) ± indica desviación estándar.

Análisis químico proximal de la cáscara y semilla de mango deshidratado con microondas

Los resultados obtenidos del análisis químico proximal de la cáscara y semilla de mango criollo se muestran en el Cuadro 2. Como se puede observar la cáscara presenta un alto contenido de proteína 5.62 %g/100 g en comparación con otros estudios de residuos de marañón amarillo el contenido de proteínas fue de 5.43% g/100 g (Montesinos, 2008), la cáscara de mango al ser comparada con otros residuos en su contenido de proteínas fue mayor, por lo que puede ser una buena alternativa de uso para emplearla en productos funcionales.

El contenido de fibra en la semilla de mango criollo es 65.02 %, este resultado es mayor en comparación con otros estudios reportados por Thuaytong *et al.* (2011) en ralladura de limón con un contenido de 45.27%. La diferencia que existe entre los datos obtenidos y los reportados por otros autores puede atribuirse a que se trata de diferentes variedades, además de que el clima, la temperatura, luminosidad y suelo son factores que también contribuyen a tal efecto (Serna y Torres, 2015). Por otro lado, la semilla de mango presentó un contenido de cenizas de 3.1% estos resultados son similares a los encontrados por Fasaki *et al.* (2008) en la semilla de guanábana

(2.29%). Habría que considerar que el contenido de cenizas también puede variar de acuerdo con el fruto, estado de madurez, variedad y temporada de cosecha, así como por las condiciones de cultivo (Priego, 2007).

De acuerdo a los resultados obtenidos en químico proximal la cáscara y semilla de mango son dos residuos agroindustriales con gran cantidad de proteínas, y fibra que pueden aportar grandes beneficios a nuestro organismo y son una buena alternativa para ser ampliamente utilizados en la industria alimentaria.

Cuadro 2. Análisis químico proximal de semilla y cascara de mango.

Muestras	Componente				
	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra	Grasa
Residuos de cáscara de mango (%)	22.4±0.8	2.9±0.2	5.62±0.7	39.07±0.3	0.11±0.6
Residuos de semilla de mango (%)	22.30±0.7	3.1±0.02	0.68±0.8	65.02±0.5	0.12±0.7

Letras idénticas indican que no hay diferencia significativa (Tukey, $p > 0.05$) ± indica desviación estándar.

Determinación de compuestos fenólicos

Los resultados del contenido de los compuestos fenólicos de la cáscara y semilla de mango se muestran en el Cuadro 1, se obtuvo que con la aplicación de las microondas se mejoró la biodisponibilidad del contenido de compuestos fenólicos en la cáscara y la semilla, lo cual se puede deber a la ruptura de tejidos Bagherian *et al.* (2011), por otro lado, de acuerdo a Rodríguez-Bencomo *et al.* (2015 el tratamiento térmico libera los compuestos fenólicos unidos; además oxidativo, y enzimas hidrolíticas.

El mango ataulfo en la variedad mexicana presento un contenido de 6813 mg/100 g de compuestos fenólicos en materia seca (García *et al.*, 2013), en otros estudios reportados Sogi *et al.* (2013) encontraron que la variedad Tommy Atkins cultivada en Estados Unidos presenta 3185 mg/100 g de compuestos fenólicos, por otro lado Uslu *et al.* (2017), determinaron compuestos fenólicos en el marañón manzana, empleando el proceso de calentamiento a microondas en diferentes potencias, a 180 W obtuvieron 33.38 mg EAG/100 g, 78.13 mg EAG/100 g a 360 W, y 107.00 mg EAG/100 g en la potencia de 720 W, lo cual fue más favorable porque el contenido fenólico se aumentaba conforme aumentaba la potencia a 5 min. Los resultados de fenoles en esta investigación fueron 243.56 mg/100 en la cáscara de mango criollo y 67.58 mg/100 en la semilla, estos resultados son inferiores a los reportados por otros investigadores esto se puede deber a la variedad del mango, la maduración etc. Con base a estos resultados se puede deducir que la cáscara y semilla de mango son una buena fuente de compuestos fenólicos.

Capacidad antioxidante de la cáscara y semilla de mango

En el Cuadro 1, se muestran los resultados de la capacidad antioxidante de la semilla y cáscara de mango en estado fresco y deshidratado por microondas. Robles-Sánchez *et al.* (2013) reportaron que el consumo de mango puede proveer cantidades significativas en compuestos bioactivos como con actividad antioxidante; más sin embargo es necesario desarrollar algunas técnicas que ayuden a disminuir el deterioro del fruto después del procesamiento mínimo.

La cáscara es descartada como desecho que contiene una amplia variedad de productos secundarios con actividad antioxidante (Rafiq *et al.*, 2016). En la cáscara de mango fresco se encontró un contenido de 43.80 ± 1.5 mg-eq-trolox g^{-1} , la muestra deshidratada con microondas presento un contenido de 51.15 ± 2.40 mg-eq-trolox g^{-1} , como se muestra se obtuvo una mayor capacidad antioxidante en la muestra seca en comparación con la muestra fresca, de acuerdo a estos resultados la cáscara de mango puede ser considerada una fuente potencial de antioxidantes, en la literatura se reportan valores de 2.1 a 26.8 mg de cianidina 3-glucósido equivalente/100 g en cáscaras de manzanas (Wolfe *et al.*, 2003), 1.84 mg 100 g^{-1} en fresas y 17.87 mg 100 g^{-1} en frambuesas rojas (mg 100 g^{-1}) y en uvas rojas (Samappito y Butkhup, 2010). En estudios realizados por Rincón *et al.* (2005) se encontraron que las cáscaras de las frutas son las principales fuentes de antioxidantes naturales, Suja *et al.* (2017) mencionan que estos compuestos son seguros además de que imparten beneficios a la salud del consumidor. Se obtuvo el mismo efecto en la semilla de mango hubo un incremento de capacidad antioxidante en la muestra seca en comparación con la muestra fresca, la semilla en estado fresco presento un contenido de 37.30 ± 0.04 mg-eq-trolox g^{-1} , en la muestra deshidratada por microondas se obtuvo un contenido de 45.30 ± 0.06 mg-eq-trolox g^{-1} , el empleo de microondas favoreció los resultados debido a que permite un calentamiento volumétrico el cual provoca un aumento instantáneo de la temperatura al existir un contacto directo entre el producto y el campo electromagnético generado (De la Hoz *et al.*, 2005; Keshwani y Cheng, 2010).

CONCLUSIONES

La deshidratación con microondas presenta ventajas tales como corto tiempo de secado conservando los compuestos bioactivos como son los compuestos fenólicos, así como su capacidad antioxidante en la semilla y cáscara de mango criollo. La cáscara y semilla de mango criollo deshidratado contienen un alto contenido de fibra, proteína por lo cual pueden ser una alternativa para emplearlos en alimenticios funcionales, además de incrementar la economía del municipio de Las Choapas mediante su comercialización.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, M.B. 2017. Study of the stramberry drying process using microwave dryer. *Prospectiva* 15: 29-34.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis* (16th Ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. pp .777-787
- Bagherian, H., F. Z. Ashtiani, A. Fouladitajar, and M. Mohtashamy. 2011. Comparisons between conventional, microwave -and ultrasound- assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chem. Eng. Process.* 50: 1237-1243.
- Cadena Agroalimentaria del Mango. 2003. *Elaboración del programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el Estado de Guerrero. Red para el Desarrollo Sostenible de México*, A.C.
- De la Hoz, A. Díaz, O. A. and A. Moreno. 2005. Microwaves in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects. *Chemical Society Reviews* 34: 164-178.
- Fasakin, A.O., E.O. Fehintola, O.A. Obijole, and O.A. Oseni. 2008. Compositional analyses of the seed of soursop, *Annona muricata* L., as a potential animal feed Supplement. *Sci. Res. Essays*.3: 521-523.

- García-Magaña, M. L., H.S. García, L. A. Perez-Bello, S.G. Sáyago-Ayerdi, and M. M. de Oca. 2013. Functional properties and dietary fiber characterization of mango processing by-products (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo and Tommy Atkins). *Plant Foods Human Nutr.* 68(3): 254-258.
- Hojjati, M., L. Noguera-Artiaga, A. Wojdyło, and A.A. Carbonell-Barrachina. 2015. Effects of microwave heating on physicochemical properties of pistachios (*Pistacia vera* L.). *Food Sci. Biotechnol* 24: 1995–2001.
- Montesinos, E. 2008. Efecto de la temperatura de congelación en las propiedades físicas y químicas de la pulpa congelada de dos variedades (CCP76 y CCP06) del falso fruto de marañón (*Anacardium occidentale* L.). Zamora, Honduras. pp. 22.
- Pérez L, H. 2006. Nutraceuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA* 3: 20–28.
- Priego-Mendoza, N. 2007. Obtención de fibra dietética a partir de sáculos de naranja aplicando un tratamiento con vapor. Tesis de Licenciatura Ingeniero en Alimentos, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca. pp.5.
- Rafiq, S., K. Rajkumari, S. Sajad-Ahmad, B. Nadia, N. Fiza, and N. Gulzar-Ahmad. 2016. Citrus peel as a source of functional ingredient. A Review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 17(4): 351-358.
- Rincón, A. M., A. Vásquez, and F. C Marina-Padilla. 2005. Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 55(3): 305-310.
- Robles-Sánchez R., M. Rojas-Graü, I. Odriozola-Serrano, G. González-Aguilar and O. Martín-Belloso. 2013. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. *LWT-Food Science and Technology* 50: 240-246.
- Rocha-Rivero, S. M., L. C. Almeida-Barbosa, J. H. Queiroz, M.knodler and A. schieber. 2008. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Food Chemistry.* 110(3): 620-626.
- Rodríguez-Bencomo, J., J. Kelebek, H. Sonmezdag, A.S. Rodriguez-Alcala, L.M. Fontecha, and J. Selli S. 2015. Characterization of the aroma-active, phenolic, and lipid profiles of the pistachio (*Pistacia vera* L.) nut as affected by the single and double heating process. *J. Agric. Food Chem* 63 :7830–7839.
- SAGARPA-SIAP. 2008. Producción Sistema Producto Mango. (consultado: 29/11/2019). Disponible en : <http://www.mango.gob.mx/index.php?portal=mango>.
- Salunkhe, D.K., and S.S Kadam. 1995. *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage, and Processing.* CRC Press. Boca Raton, FL, p. 27.
- Samappito, S., and L. Butkhup. 2010. Analysis of anthocyanin, Flavonoids, and Phenolic Acid Contents of Ten Fruits and Antioxidant Activity. *International Journal of Fruit Science* 10:264–280.
- Serna-Cock, L., and Torres-León, C. 2015. Potencial agroindustrial de cáscaras de mango de las variedades Keitt, y Tommy Atkins (*Mangifera indica*). *Acta Agronómica.* 64(2): 110-115.
- Sogi, D. S., M. Siddiq, I. Greiby, and K. D. Dolan, 2013. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of Tommy Atkins mango peel and kernel as affected by drying methods. *Food Chem.* 141(3):2649-55.
- Suja, D., G. Bupesh, R. Nivya, V. Mohan, P. Ramasamy, N.S. Muthiah, E. Arul-Amutha, K. Meenakumari, and K. Prabu. 2017. Phytochemical Screening, Antioxi-dant, Antibacterial

Activities of Citrus Limon and Citrus Sinensis Peel Extracts. International Journal of Pharmacognosy and Chinese Medicin. 1(2): 1-7.

Sumaya-Martínez. M. T., L. M. Sánchez-Herrera, G. Torres-García, and D. García-Paredes.2012. Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. Rev. Mex. Agronegocios 30: 826-833.

Thuaytong, W. and P. Anprung. 2011. Bioactive compounds and prebiotic activity in Thailand-grown red and white guava fruit (*Psidium guajava L.*). Food science and technology international. 17(3): 205-212.

Wannberg, J., K. Ersmark, and M. Larhed. 2003. Microwave-Accelerated Synthesis of Protease Inhibitors. Topics in Current Chemistry. 266: 167–198.

Wolfe, K. X.Wu. and R. Hai-Liu. 2003. Antioxidant activity of apple peels. J. of Agri. Food Chemistry 51(3): 609-614.

OPTIMIZACIÓN DE DESHIDRATACIÓN DE LA SEMILLA DE MANGO CON MICROONDAS Y CONSERVACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS¹

[OPTIMIZATION OF DEHYDRATION OF THE MANGO SEED WITH MICROWAVE AND OF PHENOLIC COMPOUNDS PRESERVATION]

Lucero Zavala Zavala[§], Yarizabeth Castro de la Cruz, Floriberta Calva Angeles, Alfredo Morales Cruz, María de la Luz Sánchez Mundo, Yanet Chávez Reyes

Departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias; Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Carretera las Choapas-Cerro de Nanchital Km6. Col. J. Mario Rosado, Las Choapas, Veracruz, C.P. 96980, México. Tels. (01923) 3232010 al 32017. [§]Autor para correspondencia: (lucero_zavala_zavala@hotmail.com).

RESUMEN

La semilla de mango contiene compuestos bioactivos, para su conservación se utilizan tecnologías emergentes como son las microondas. El objetivo de la investigación fue optimizar las condiciones de deshidratación con microondas y conservar los compuestos fenólicos de la semilla del mango. Se optimizó las condiciones de deshidratación con microondas utilizando un programa estadístico Desing Expert ver 7.0, se obtuvieron 18 corridas, se evaluó el peso, tiempo y potencia, las variables independientes fueron humedad y color. Cuantificación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante mediante los radicales ABTS y DPPH. Las condiciones óptimas de deshidratación fueron 460 W, tiempo 15 minutos y peso 150 g. Se obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.96$ en medición de color, en humedad se obtuvo un coeficiente de $R^2=0.79$. La semilla deshidratada presentó mayor contenido de los compuestos fenólicos (180.75 mg EAG/100 g) en comparación con la semilla fresca (67.01 mg EAG/100 g). Los resultados de la capacidad antioxidante por método DPPH en semilla fresca fue de 7.90 ± 12.09 , y en semilla deshidratada 55.053 ± 0.23 . Por consiguiente, el uso de las microondas puede ser empleado como un método alternativo para la deshidratación y conservación de compuestos bioactivos que pueden ser aplicados en la elaboración de productos funcionales.

Palabras clave: Capacidad antioxidante, color, endocarpio, humedad, ondas electromagnéticas.

ABSTRACT

Mango seeds contain bioactive compounds, for their conservation, emerging technologies such as microwaves are used. The objective of the research was to optimize the dehydration conditions with microwaves and to conserve the phenolic compounds of the mango seed. The conditions of dehydration with microwaves were optimized using a statistical program Desing Expert see 7.0, 18 cycles were obtained, weight, time and power were evaluated, the independent variables were humidity and color. Determination of phenolic compounds and antioxidant capacity through ABTS and DPPH radicals. The optimal dehydration conditions were 460 W, time 15 minutes and weight 150 g. A coefficient of determination of $R^2 = 0.96$ was obtained in the measurement of

¹ Recibido: 19-abril-2019
Aceptado: 30-mayo-2020

color, in humidity a coefficient of $R^2 = 0.79$ was obtained. The dehydrated seed had a higher content of phenolic compounds (180.75 mg EAG / 100 g) compared to the fresh seed (67.01 mg EAG / 100 g). The results of the antioxidant capacity by the DPPH method in fresh seed were 7.90 ± 12.09 , and in dehydrated seed 55.053 ± 0.23 . Therefore, the use of microwaves can be used as an alternative method for the dehydration and preservation of bioactive compounds that can be applied in the elaboration of functional products.

Index words: Antioxidant capacity, color, endocarp, humidity, electromagnetic waves.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.), es un fruto tropical, que varía en forma (redonda, ovalada, ovoide-oblonga), tamaño y color, dependiendo de la variedad. Existen 69 especies de interés comercial, el mango es el tercer fruto tropical en términos de producción e importación a nivel mundial. El origen del mango se ubica en el continente asiático, entre la zona geográfica del noreste de la India y el norte de Burma, muy cerca del Himalaya, siendo México el principal exportador de mango (Bangerth and Carle, 2002).

Actualmente, la pulpa de mango es la más aprovechada a nivel industrial en la elaboración de bebidas, néctares, jugos, mermeladas, etc. Los subproductos generados por la fruta, como la semilla y la cáscara representan un problema ambiental ya que no se cuenta con políticas adecuadas para su manejo y la mayoría de las veces son arrojados a los basureros (Gabino y Valdés, 2012). Las industrias alimentarias generan residuos de desechos en grandes volúmenes y solo una pequeña parte es reutilizada por lo que estos residuos presentan un efecto negativo en el medio ambiente, como es la contaminación. En estudios se han obtenido que los residuos contienen compuestos bioactivos lo cual resulta interesante la extracción de estos compuestos, como son compuestos fenólicos debido a que contienen propiedades antioxidantes que ayudan a la prevención de enfermedades crónicas degenerativas.

Así mismo, en la semilla o hueso del mango se ha encontrado una importante actividad antioxidante, inclusive más alta que en la pulpa misma, que pueden ser utilizados para la elaboración de productos funcionales y darle un valor agregado (Soong y Barlow, 2004; Ribeiroa *et al.*, 2008; Maisuthisakula y Gordon, 2009).

Con el fin de obtener y caracterizar los compuestos fenólicos a partir de productos o subproductos vegetales se disponen de diferentes técnicas tales como la deshidratación con hornos convencionales, liofilización, etc. El deshidratado es una operación esencial en muchas industrias (Mujumdar, 2015), actualmente se emplean tecnologías emergentes como las microondas, que mejoran la eficiencia energética que se puede alcanzar con su uso (Schiffmann, 2015), disminuye el tiempo empleando un aumento de temperatura (Ozkan *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2010; Akoy y von Höresten, 2015), y conservan las características sensoriales y fisicoquímicas del producto. Según Hojjati *et al.* (2015) argumentan que el proceso de microondas puede ser empleado como un método alternativo al proceso de calor convencional para la deshidratación, este método causa la polarización de moléculas y una movilidad intensa de sus electrones, debido a la conversión de energía electromagnética en energía cinética. A causa de este movimiento, los electrones chocan entre sí, generando calor como resultado de la fricción. Además, el proceso de

calentamiento por microondas proporciona algunas ventajas como la velocidad, el ahorro de energía y la no formación de daños químicos en el producto.

El objetivo de la investigación fue la optimización de las condiciones para la deshidratación de la semilla de mango pájaro, así mismo la conservación de los compuestos bioactivos. Esto con la finalidad de aprovechar y darle un valor agregado al subproducto del mango en la elaboración de productos funcionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Para el desarrollo del trabajo experimental se utilizó como muestra de estudio el mango criollo (*Mangífera Indica* L.) denominado mango pájaro, las cuales fueron recolectadas durante los meses de junio-julio del 2018 en la localidad del San José del Carmen, Las Choapas, Veracruz. Los frutos, recolectados se llevaron al laboratorio de usos múltiples del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, Veracruz. Se seleccionaron los frutos en buen estado y se desinfectaron con Citrus®. Se separaron en lotes de 5 kg cada uno y se refrigeraron a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ hasta el momento de su análisis. Se llevó a cabo una separación manual de pulpa y semilla de lotes de mango maduro, basados solo en un estado de madurez.

Deshidratación con microondas

Se utilizó un horno de microondas “GL modelo MS17444XT” con 120V – 60 Hz, 1400 W y 13.8 A de entrada y 2,450 MHz de frecuencia. Se colocaron 200 g de semilla de mango en un plato de vidrio templado distribuyendo uniformemente en toda la superficie del plato, lo cual se dejó un círculo al centro del plato considerando como el punto con alta concentración de calor, se empleó una potencia de 460 Watts.

Determinación de color

El color de la semilla de mango se determinó usando un colorímetro universal. Para la medida de color se utilizó el sistema Hunter L*, a*, b* y h° (hue), donde L* es la luminosidad, a* define el componente rojo- verde (el rojo indica valores positivos y el verde indica valores negativos), b* define el componente amarillo – azul (el amarillo indica valores positivos y el azul valores negativos). El diagrama CIE L*a*b* es el modelo cromático que se usa normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Commission Internationale d’Eclairage (Comisión Internacional de Iluminación), razón por la cual se abrevia CIE, describe el color en términos de dos coordenadas cromáticas (a* y b*) y una de luminosidad (L*) lo que permite inferir el color de una muestra (Ahmed *et al.*, 2002).

Determinación de humedad

Para la determinación de humedad en la semilla de mango deshidratado, se basó en la NMX-F-083-1986. Foods. Moisture in food products determination. Se pesaron en la balanza analítica OHAUS con capacidad de peso 200 g y precisión de 0.01. Las charolas fueron lavados y secados, luego se pesaron y posteriormente se introdujeron a la estufa convencional a 60°C/24 h para la obtención del peso constante. Se pesaron 2.5 g de muestras en unas charolas de aluminio

previamente taradas, fueron sometidos en el horno convencional a 60°C por 24 h; Después fueron transferidas al desecador durante 15 min; finalmente, se realizó el peso y para calcular el porcentaje de humedad.

Extracción de los compuestos fenólicos

La extracción de los compuestos fenólicos de la semilla de mango se determinó por el método descrito por Ferreres *et al.* (2009). Con algunas modificaciones. La extracción se obtuvo en metanol: agua (1:1). Se pesó 1 g de muestra y se agregó 7.5 mL del disolvente de extracción. Posteriormente se agitó por 1 h con una parrilla de agitación, se dejó en reposo por 3 h. El extracto se centrifugó a 13,000 r /5 min, usando una centrifuga.

Determinación de contenido total de fenoles

El contenido total de fenoles fue determinado usando el método de Folin-Ciocalteu. El reactivo de Folin-Ciocalteu fue diluido 10 veces con agua. El extracto de marañón amarillo y rojo (0.1 mL) fue mezclado con 750 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu. Después la reacción se dejó en reposo por 5 min, y se adicionaron 750 μ L (60 g L⁻¹) de bicarbonato de sodio y se mezcló. La solución fue incubada por 90 min y se leyó a 750 nm usando un Thermo Spectronic (Genesys 10_{uv} scanning (Rochester, NY. USA)). Se realizó una curva de calibración usando ácido gálico en concentraciones de 0 a 0.25 mg mL⁻¹. Los resultados se expresan como mg GAE / g DW \pm desviación estándar (SD) para 3 repeticiones.

Determinación de capacidad antioxidante por radical ABTS⁺

La capacidad antioxidante fue evaluada por ABTS, la captación de radicales se llevó a cabo por un método modificado por Re et al. El persulfato de potasio se preparó en una solución de 7 mmolL⁻¹ de ABTS^{•+}. La solución acuosa de ABTS se diluyó en etanol (1:100) teniendo una absorbancia de 0.7 (\pm 0.02) a 734 nm antes de su análisis. Se tomaron 10 μ L de muestra y se adiciona 990 μ L de solución ABTS. Se mezclaron y después de 1 min se midió la absorbancia de cada muestra a 734 nm, durante 7 minutos.

Las muestras se realizaron por triplicado y se tomó lectura de cada una cada minuto, en total cada muestra se leyó en el espectro 7 min. Antes de leer cada muestra se analizaba la estabilidad del ABTS (la muestra realizada previamente en el espectro para comprobar su estabilidad).

Capacidad antioxidante de los extractos fenólicos por el radical DPPH

Para la determinación de la capacidad antioxidante por el radical DPPH⁺, se disolvió 0.2 mM del reactivo DPPH⁺ en metanol al 80%. Se añadió 100 μ L de cada muestra en un tubo y se mezcló con 2.9 mL de solución DPPH⁺, las muestras se agitaron durante 15 s y se dejaron reposar por 120 min. Como muestra control se empleó metanol al 80%. Después se midió la absorbancia de las muestras a 515 nm en un espectrofotómetro y se calculó el porcentaje de inhibición de DPPH⁺.

Diseño de superficie de respuesta del deshidratado de la semilla con microondas

Se optimizó el proceso de secado de semilla de mango pájaro utilizando el programa estadístico Desing Expert ver 7.0. Se evaluaron 18 corridas con límites mínimos de 7.92 y máximos de 22.07, variando la cantidad en gramos de muestra de 79.28 a 220.7 por triplicado cada uno, empleando 460 W para cada corrida. Se midió la humedad de cada muestra con la ecuación $H_f = (P_i - P_f) * 100 / P_i$, y color utilizando el sistema Hunter L^* , a^* , b^* y h° (hue).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Partes del mango

De acuerdo al análisis del fruto total del mango pájaro, se obtuvo que está conformado por cáscara, pulpa y semilla, con 10-25, 50 y 20%, respectivamente, Solís y Durán (2004) encuentran resultados similares en el mango Kernel, reportaron 10-25% de cáscara y la semilla con 45-85% total del fruto. De acuerdo a los resultados obtenidos se determina que el tamaño del mango depende de muchos factores, como de variedad, clima, zona de producción, etc. Las semillas de mango son bajas en contenido de proteínas, pero contienen la mayoría de los aminoácidos esenciales, destacándose altos valores de leucina, valina y lisina (Kittiphoom, 2012). En todo caso, es evidente que el 20% que representan las semillas de mango puedan ser usadas como fuente potencial de ingredientes alimentarios funcionales, debido a la alta calidad de las grasas y las proteínas (Chaparro-Acuña *et al.*, 2015).

Efecto de la deshidratación de la semilla de mango en el color

En la Figura 1, se muestra la superficie de respuesta del color de la semilla de mango como una función del tiempo de tratamiento por microondas y peso de la semilla. La combinación de menor tiempo (B) y mayor peso (A) del tratamiento con microondas (10 min y 200 g) no se ve afectado el color de la semilla. Resultados similares mostraron Ahmed *et al.* (2002), ellos realizaron un estudio sobre el cambio de color en el pimiento morrón amarillo después de la deshidratación, obteniendo así un color similar al inicial, esto se debe a que los carotenoides responsables del color son termorresistentes, además esta diferencia en el color podría explicarse por la estabilidad de los carotenoides. Gómez (2013), argumentan que el efecto del proceso de deshidratación en la superficie del mango se ve reflejado en el tiempo y peso, mostrando que a mayor tiempo y menor peso se producen cambios y pérdida de color por oxidación extensiva, provocando una pérdida en carotenoides dada por la prolongación de la deshidratación.

El modelo matemático mostró una ecuación de regresión de la respuesta actividad de la PFO la cual fue:

$$Color = 21.69 + 0.32 * A - 4.13 * B - 0.44 * A * B - 0.51 * A^2 - 1.96 * B^2$$

En otras investigaciones por Reis *et al.* (2006), encontraron que la pérdida de color en el mango (*Mangifera indica*) esta relacionada directamente con el aumento del oscurecimiento no enzimático. Algunas reacciones oxidativas también pueden contribuir para la reducción de la luminosidad. La polimerización de compuestos fenólicos también es un factor que promueve el oscurecimiento y por consecuencia, la disminución en el valor de la Factor coordinada

luminosidad. Utilizando el sistema Hunter L*, a*, b* y h° (hue) se obtuvo la ecuación de regresión antes mencionada, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.96$.

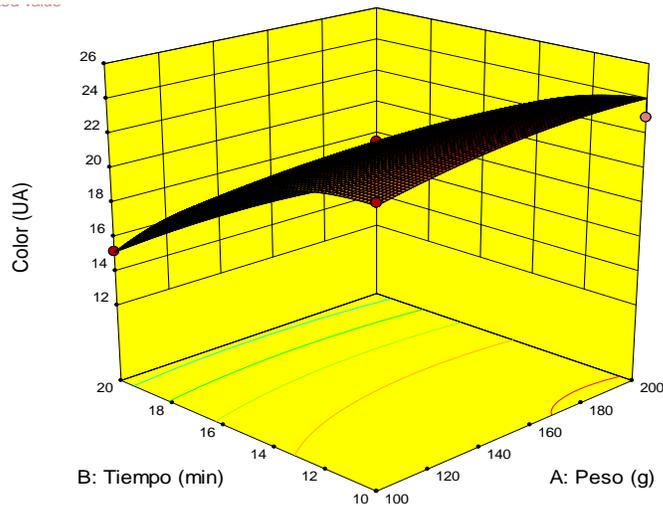


Figura 1. Medición de color.

Según Lee y Schwartz (2006), mencionan que cuanto más largo sea el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas en los pigmentos en los alimentos, no obstante, la deshidratación puede incrementar la concentración de carotenoides. Nimmanpipug y Therdthai (2013) afirman que las altas temperaturas causan un efecto contrario en el color del producto final. Tomando en cuenta que el objetivo es conservar los compuestos fitoquímicos de la semilla de mango (fenoles y carotenoides) es importante modular la temperatura durante cada tratamiento de secado para reducir la degradación de dichos fitoquímicos.

Efecto de la deshidratación de semilla de mango sobre la humedad

La determinación de humedad se realizó en cada una de las 18 corridas. En el análisis del modelo cuadrático, se obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2=0.79$. La ecuación de regresión de la respuesta de humedad en función de las variables independientes peso (A) y tiempo (B) fue:

$$Humedad = 3.33 + 2.22 * A - 6.74 * B - 10.39 * A * B + 0.45 * A^2 + 6.87 * B^2$$

De acuerdo al modelo utilizado, al aplicar mayor tiempo y peso (10 min y 200 g), se obtuvo mayor humedad. Esto se debe que a medida que se aplican potencias más elevadas y se aumenta el tiempo de secado, la humedad presente en el tratamiento disminuye, así mismo puede haber pérdida de compuestos fenólicos por su volatilidad (Gulum *et al.*, 2004).

Turkmen *et al.* (2005) obtuvieron que el tratamiento con microondas, aumenta significativamente la actividad antioxidante en pimienta, ejotes, brócoli y la espinaca. Los cuales están directamente relacionados con los carotenoides (Chuah *et al.*, 2008). El uso del microondas para la determinación del contenido de humedad es de gran utilidad en la industria de alimentos

por presentar menor consumo de energía, mayor comodidad y rapidez y, por consiguiente, mayor economía operacional.

Optimización del diseño estadístico

Para obtener un solo punto central del diseño, se establecieron criterios de selección para las variables de respuesta, estableciendo los límites inferior y superior. La optimización del proceso se realizó de forma gráfica con la superposición de las gráficas de contorno de las dos variables color y humedad como se muestra en la Figura 1.

De acuerdo con el análisis estadístico de los modelos de las variables de respuesta y de los puntos óptimos sugeridos por el programa (Desing Expert 7,0), se obtuvo la deshidratación de la semilla de mango usando un tratamiento con microondas a 460 W, durante 15 min y con un peso de 150g, en la gráfica de la Figura 1, se muestran los resultados óptimos para la deshidratación.

Determinación de fenoles

Los compuestos fenólicos son un gran grupo de antioxidantes naturales; consumo de fuentes importantes, particularmente de frutas y vegetales presentan efectos benéficos (Naczk y Shahidi, 2006). Se obtuvo un contenido de fenoles en la semilla fresca de $67.01 \text{ mg} \pm 11.31 \text{ EAG}/100 \text{ g}$ en base seca, Abdel *et al.*, (2012) estudiaron la semilla mango Zebda presentado un $21.9 \text{ EAG}/100 \text{ g}$ en base seca, así mismo, Ashoush *et al.*, (2011) analizaron la semilla de la variedad Zebda de Egipto reportando $23.9 \text{ EAG}/100 \text{ g}$ en base seca. Ribeiroa *et al.*, (2008) obtuvieron en la semilla de mango Ubá de Brasil un mayor contenido ($82.54 \text{ EAG}/100 \text{ g}$ en base seca) de compuestos fenólicos al obtenido en este trabajo, la diferencia de resultados se puede deber al tipo de solvente que influye en la cantidad de fenoles extraídos, debido a que los compuestos fenólicos mayoritarios son flavonoides más polares y sus estructuras glicosídicas más solubles en solventes polares y menos solubles en compuestos orgánicos no polares, como acetona y hexano (Kawaii *et al.*, 2000).

También se debe tener en cuenta que los errores en los contenidos fenólicos podrían ocurrir porque la metodología de Folin podría detectar todos los grupos fenólicos encontrados en el extracto, incluyendo aquellos en las proteínas extraíbles que serían medidos como “fenoles libres” (Barrett y Lloyd, 2012). El rendimiento cuantitativo y cualitativo de la extracción depende en gran medida de la polaridad del disolvente utilizado. Se ha reportado el uso de etanol, metanol, acetona y sus mezclas con agua en diferentes proporciones como solventes de extracción, pero no existe un método y solvente definido, pues ello dependerá de la composición química de los compuestos a extraer, de la cantidad y posición de sus grupos hidroxilo, del tamaño molecular, así como de factores como la concentración del solvente, temperatura, tiempo de contacto, tamaño de partícula y relación masa-solvente, entre otros (Aspé y Fernández, 2011; Gironi *et al.*, 2011; Amyrgialakiu *et al.*, 2014; Capriotti *et al.*, 2014). Se obtuvo una mayor extracción de fenoles en la semilla deshidratada en comparación con la semilla fresca.

De acuerdo a los resultados la semilla deshidratada obtuvo mayor extracción de fenoles en comparación con la semilla fresca, presentando una diferencia significativa ($p < 0.05$), cabe señalar que mediante el uso de microondas se conservan mejor los compuestos bioactivos (Altunkaya *et al.*, 2008) esto posiblemente se debe que al someterse al proceso de deshidratado se inactivaron las enzimas responsables de la degradación de algunos compuestos fenólicos, se

detiene el deterioro de la materia causada por los microorganismos. La tecnología de los microondas podría beneficiar a la industria alimenticia por el decremento del uso de agua, costos de limpieza, además por la obtención de productos con mayor retención de nutrientes (Correa-Cuevas y Hernández-Baltazar, 2011).

Determinación de capacidad antioxidante por los radicales ABTS y DPPH de la semilla de mango

La capacidad antioxidante en el mango ha sido atribuida principalmente a los compuestos fenólicos (Soong y Barlow, 2004). La determinación de la actividad antioxidante se realizó mediante la aplicación de dos radicales ABTS y DPPH como se muestra en la Cuadro 1. La semilla fresca contiene $58.02 \mu\text{M Trolox} \pm 12.14$ en base seca, por otro lado, Hernández-Varela *et al.*, (2013) analizaron la capacidad antioxidante en las láminas flexibles de Mango y encontraron que su capacidad antioxidante $0.34 \pm 0.00 \mu\text{M ET}/100 \text{ g}$.

La actividad antioxidante es un compuesto que puede evaluarse in vitro, por medio de experimentos sencillos que evalúan directamente dicha actividad y que a su vez evalúa un efecto antioxidante sobre diferentes moléculas. Estos análisis deben ser rápidos, sencillos y que requieran pequeñas cantidades de muestra por analizar, además de no estar influenciados por las propiedades físicas de dichos compuestos. Estos ensayos también pueden alertar sobre los efectos dañinos de los compuestos químicos. La mayoría de los métodos para analizar la capacidad antioxidante consiste en acelerar la oxidación de un sistema lipídico, usualmente por calentamiento o monitoreando el consumo de oxígeno, la pérdida de sustrato y la formación de un producto (Dorta *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Capacidad antioxidante por radicales ABTS Y DPPH.

Muestra	ABTS	DPPH
Semilla en fresco	$12.72^a \pm 0.2$	$7.9^a \pm 0.06$
Semilla deshidratada	$30.85^b \pm 0.1$	$55.05^b \pm 0.01$

Letras idénticas indican que no hay diferencia significativa (Tukey, $p > 0.05$) \pm indica desviación estándar.

Los resultados de la capacidad antioxidante por método DPPH en semilla deshidratada y en semilla fresca se muestran en el Cuadro 1, reportando 7.90 ± 12.09 , Dorta *et al.* (2012), evaluaron la capacidad antioxidante por medio de DPPH en la semilla de mango de variedad Keitt obtuvieron como resultado 34 a 18 g 100 g equivalente a catequina, la capacidad antioxidante fue de 23693 a 30425 $\mu\text{M ET}/100 \text{ g}$ en base seca.

En la semilla de mango deshidratada se encontró mayor capacidad antioxidante (Cuadro 1), dando como resultado 55.053 ± 0.23 , en otro punto de vista Keenan *et al.* (2010) explican que la diferencia entre los valores de la actividad antioxidante antes y después del procesamiento térmico se puede atribuir a la hipótesis de extractabilidad de dichos compuestos. Se han encontrado que la actividad antioxidante de los residuos de mango es mayor a comparación con otros frutos enteros analizados en la piña encontraron 2285 $\mu\text{M ET}/100 \text{ g}$. La capacidad antioxidante en un alimento vegetal no viene dada sólo por la suma de las capacidades antioxidantes de cada componente, también depende del microambiente en el que se encuentre el compuesto, pudiendo interactuar entre sí, produciéndose efectos sinérgicos o inhibitorios.

CONCLUSIONES

Se optimizó las condiciones de deshidratación de la semilla de mango con microondas, los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, de los cuales se obtuvo una mayor extracción después de dicho tratamiento, por lo consiguiente el secado con microondas es un método alternativo ideal para la deshidratación al presentar ventajas en el calentamiento de los tratamientos, permite la optimización de acuerdo al color el cual es un factor importante para la conservación de los compuestos bioactivos (carotenoides y fenoles). Por consiguiente, se puede aplicar la semilla de mango en la elaboración de productos funcionales por su bioactividad.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, J., U. S. Shivhare and S. Debnath. 2002. Colour degradation and rheology of green chilli puree during thermal processing. *International Journal of Food Science and Technology* 37: 57-63.
- Akoy, E. O. and D. von Höresten. 2015. Microwave drying of mango slices at controlled temperatures. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 12(2): 374.
- Altunkaya, A., and V. Gökmen. 2008. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry* 107(3): 1173-1179.
- Amyrgialaki, E., D.P Makris, A. Mauromoustakos and P. Kefalas. 2014. Optimization of the extraction of pomegranate (*Punica granatum*) husk phenolics using water/ethanol solvent systems and response surface methodology. *Industrial Crops and Products* 59: 216-222.
- Aspé, E. and K. Fernández. 2011. Comparison of phenolic extracts obtained of *Pinus radiata* bark from pulp and paper industry and sawmill industry. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 13(3):243-252.
- Bambicha, R. M. Agnelli and R. Mascheroni. 2012. Optimización del proceso de deshidratación osmótica de calabacita en soluciones ternarias. Universidad Nacional de La Plata, Ciudad de la Plata. 16 p.
- Bangerth, F. and R. Carle. 2002. Physical, chemical and sensory properties of thai mango cultivars and evaluation of their technological and nutritional potential. *In: International Symposium Sustaining, Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia: Challenges for the 21st Century'*, Chiang Mai, Thailand. 01, pp.8-11.
- Barrett, D. M. and B. Lloyd. 2012. Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92(1): 7-22.
- Capriotti, A.L., C. Cavaliere, C. Crescenzi, P. Foglia, R. Nescatelli, R. Samperi and A. Lagana. 2014. Comparison of extraction methods for the identification and quantification of polyphenols in virgin olive oil by ultra-HPLC-QToF mass spectrometry. *Wood Chemistry* 158:392-400.
- Chaparro-Acuña, S.P., A. Sandoval-Amador, S.J. Sosa-Suarique, J.J. Martínez Zambrano y J.H. Gil González. 2015. Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.). *Ciencia en Desarrollo* 6(19): 67-75.
- Chuah, A. M., Y. C. Lee, T. Yamaguchi, H. Takamura, L. J. Yin and T. Matoba. 2008. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry* 111(1): 20-28.
- Correa-Cuevas L. P., and E. Hernández-Baltazar. 2011. Use of microwaves in the pharmaceutical industry. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 42(2): 1-20.
- Dorta, E. M. Lobo and M. González. 2012. Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: effect on antioxidant activity. *LWT e Food Science & Technology* 45: 261-268.

- Ferreres, F., C. Sousa, D. M. Pereira, P. Valentão, M. Taveira, A. Martins, J. Pereira, R. Seabra AND P. Andrade. 2009. Screening of Antioxidant Phenolic Compounds Produced by In Vitro Shoots of *Brassica oleracea* L. var. *costata* DC. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*. 12: 230-40.
- Gabino, G. y M. Valdés. 2012. Avances en las investigaciones farmacológicas y toxicológicas con el extracto acuoso de la corteza del árbol de mango (*Mangifera indica* L.). *Antofagasta, Chile: Panel de Editores*. 5(2): 6
- Gironi, F. and V. Piemonte. 2011. Temperature and solvent effects on polyphenol extraction process from chestnut tree wood. *Chemical Engineering Research and Design* 89:857-862.
- Gómez, R. 2013. Evaluación sensorial de láminas de mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) fortificadas con cloruro de calcio mediante deshidratación osmótica con pulsos de vacío. *Rev. Venez. Cienc. Tecnol. Aliment.* 40(2): 157-169.
- Gulum, S., T. Elif and O. Mecit. 2004. Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens. *LTW Food and Technology* 38: 549-553 doi:10.1016/j.lwt.2004.07.006
- Hernández-Varela, J y S. B. Fernández-Viluzca. 2013. Actividad antioxidante, análisis sensorial y microbiológico de láminas flexibles de mango (*Mangifera indica* L.). *Scientia Agroalimentaria* 1: 26-32
- Hojjati, M., L. Noguera-Artiaga, A.Wojdyło and A.A. Carbonell-Barrachina. 2015. Effects of microwave heating on physicochemical properties of pistachios (*Pistacia vera* L.). *Food Sci. Biotechnol.* 24(6): 1995–2001.
- Kawaii, S., Y.Tomono, E. Katase, K. Ogawa, M. Yano, M. Koizumi, C. Ito, andH. Furukawa. 2000. Quantitative study of flavonoids in leaves of citrus plants. *Journal Agriculture Food Chemistry* 48(9): 3865-3871.
- Keenan, D., N. Brunton, R. Gormley, F. Butler, B. Tiwari and A. Patras. 2010. Effect of thermal and high hydrostatic pressure processing on antioxidant activity and colour of fruit smoothies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11: 551-556.
- Kittiphoom, S. 2012. Utilization of mango seed. I. *Food Res. J.* 19(4): 1325-1335.
- Laborde, G. 2000. Una tecnología en la conservación de alimentos. *Rev. IBERCIENCIA*. 16(2): 2-7.
- Lee, J.H. and S.J. Schwartz. 2006. Pigments in plant foods, in *Handbook of science, technology and engineering* by Y.J. Hui. Taylor & Francis, Boca Raton, FL. pp 14.1-14.13
- Li, Z., G.S.V. Raghavan and N. Wang. 2010. Carrot volatiles monitoring and control in microwave drying. *LWT - Food Science and Technology* 43(2): 291-297.
- Maisuthisakula, P. and M. H. Gordon. 2009. Antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of mango seed kernel by product. *Food Chemistry* 117(2): 332-341.
- Mujumdar, A. S. 2015. Principles, classification, and selection of dryers. *Handbook of Industrial Drying, Fourth Edition*. A. S. Mujumdar. Boca Raton, FL, CRC Press, Chapter. 1: 3-29.
- Naczki, M. and F. Shahidi. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and análisis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 41: 1523 –1542.
- Nimmanpipug, N. and N. Therdthai. 2013. Effect of osmotic dehydration time on hot air drying and microwave vacuum drying of papaya. *Food and Applied Bioscience J.* 1(1): 1-10.
- Ozkan, I.A., B. Akbudak and N. Akbudak. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering* 78(2): 577-583.
- Phisut, N. M. Rattanawedee and K.Aekkasak, 2013. Effect of osmotic dehydration process on the physical, chemical and sensory properties of osmo-dried cantaloupe. *International Food Research J.* 20(1): 189-196.

- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolourization assay. *Free Rad Biol Med.* 26: 1231-1237.
- Reis, R., A. Ramos, A. Regazzi, V. Minim y P. Stringueta. 2006. Almacenamiento de mango secado: análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. *Cie. Tec. Alim.* 5(3): 214-225.
- Ribeiroa, S. M.; L. C. Barbosab, J. H. Queirozc, M. Knödlerd and A. Schieber. 2008. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Food Chemistry.* 110(3): 620-626.
- Ruiz-Rodríguez, A., F. Marín, A. Ocaña and C.Soler-Rivas. 2008. Effect of domestic processing on bioactive compounds. *Phytochemistry Reviews* 7(2): 345384.
- Schiffmann, R. F. 2015. Microwave and dielectric drying. *Handbook of Industrial Drying*, Fourth Edition. A. S. Mujumdar. Boca Raton, FL, CRC Press, Chapter. 13: 283-301.
- Solís, J. and M. Durán. 2004. Mango seed uses: termal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Bioresource Technology* 92(1): 71-78.
- Soong, Y. Y. and P. J. Barlow. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chemistry* 88(3): 411-417.
- Turkmen, N., F. Sari y Y. S. Velioglu. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry* 93(4): 713-718.

MODELOS ALOMÉTRICOS DE BIOMASA AÉREA PARA *Leucaena esculenta* EN UN SISTEMA AGROFORESTAL¹

[ALOMETRIC MODELS FOR *Leucaena esculenta* ABOVEGROUND BIOMASS IN AN AGROFORESTRY SYSTEM]

Yesenia José-Hernández^δ, Gerardo Rodríguez-Ortiz, José Raymundo Enríquez-del Valle, Gisela Virginia Campos-Angeles, Vicente Arturo Velasco-Velasco, Judith Ruiz-Luna

División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (ITVO). Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C. P. 71230. Tel. 01(951) 5170788.

^δAutor para correspondencia: (joseyesenia93@gmail.com).

RESUMEN

Leucaena esculenta Benth es una leguminosa arbórea de uso múltiple utilizada en sistemas agroforestales (SA), de la que no hay información de su crecimiento en condiciones de ladera. El objetivo fue estimar la biomasa arbórea aérea y área foliar de *L. esculenta* establecida en un SA de ladera en Oaxaca, México. Durante 2016 se realizó muestreo del sistema, tomando información de inventario y muestreo destructivo de 40 árboles para integrar la biomasa estructural aérea. Los datos se analizaron mediante pruebas de bondad de ajuste (χ^2 , 0.05) y ajuste de modelos de regresión en biomasa y área foliar. El SA se caracteriza por una estructura irregular, conteniendo entre 643 y 793 árboles ha⁻¹ de la especie de interés. La biomasa de los componentes aéreos se estimó con coeficientes de determinación de 0.91, 0.82, 0.80, 0.87 y 0.40, para total aéreo, tallo, ramas, hojas y flor, respectivamente. Los modelos alométricos utilizan variables de fácil obtención como diámetro normal (DN), diámetro de pie y altura de árbol (AT) en funciones no lineales. Utilizando los modelos generados se estima que el SA genera 7.27 t ha⁻¹ de biomasa total aérea, distribuida en 3.37, 1.46, 2.1 y 0.34 t ha⁻¹ en tallo, ramas, hojas y flores, respectivamente. El área foliar de los árboles se estima confiablemente ($R^2_{adj} = 0.83$) utilizando DN y AT de los árboles. Transcurridos 10 años de establecido el SA, tiene una tasa de incorporación de biomasa aérea de 727 kg ha⁻¹/año (tallo, hoja, rama, flor).

Palabras clave: Área foliar, compartimentos de biomasa, ladera, leguminosa forrajera, modelo de regresión.

ABSTRACT

Leucaena esculenta Benth is a multipurpose tree legume used in agroforestry systems (AS) of which there is no information on its growth in hillside conditions. The objective was to estimate the aboveground biomass and leaf area of *L. esculenta* established in a hillside AS in Oaxaca, Mexico. During 2016, the system was sampled, taking inventory information and destructive sampling of 40 trees in order to obtain aboveground structural biomass. Data were analyzed using test of goodness of fit (χ^2 , 0.05) and regression models to fit biomass and leaf area. The AS has

¹ Recibido: 21-diciembre-2019

Aceptado: 2-mayo-2020

an irregular structure, containing between 643 and 793 trees ha⁻¹ of species of interest. Aboveground biomass compartments were estimated with determination coefficients of 0.91, 0.82, 0.80, 0.87 and 0.40, for total aboveground, stem, branches, leaves and flowers, respectively. The allometric models use easily obtained variables such as diameter at breast height (DBH), diameter at the bottom (DB) and tree height (TH) in non-linear functions. Using the generated models, the AS contents 7.27 t ha⁻¹ of total aboveground biomass, distributed in 3.37, 1.46, 2.1 and 0.34 t ha⁻¹ in stem, branches, leaves and flowers, respectively. The leaf area of the trees is estimated with precision ($R^2_{adj} = 0.83$) using DBH and TH of the trees. After 10 years of establishing the AS, it has an incorporation rate of aboveground biomass of 727 kg ha⁻¹ year (stem, leaf, branch and flower).

Index words: Foliar area, biomass compartments, hillside, forage legume, regression model.

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas arbóreas son las especies con mayor potencialidad dentro de los diversos sistemas agroforestales (SA) en virtud de que mejoran y enriquecen las condiciones del suelo por su capacidad de fijación simbiótica del nitrógeno. La importancia de estas especies es en la restauración y mantenimiento de la fertilidad del suelo (Hernández, 2013).

Leucaena esculenta Benth (guaje) es una leguminosa arbórea que crece principalmente en suelos derivados de roca madre calcárea, regosoles, sin estratificar, superficial y suelos rocosos con buen drenaje (Orwa *et al.*, 2009). Es una especie de uso múltiple utilizada en restauración de suelos degradados, cerco vivo, franjas agroforestales, plantaciones para forraje, control de la erosión y mejoramiento del suelo; éste último por su asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno y porque su hojarasca aporta una excelente relación carbono-nitrógeno (Cervantes *et al.*, 1998).

Las ecuaciones alométricas de biomasa son herramientas matemático-estadísticas que permiten conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables de fácil obtención. Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión, donde se establecen las relaciones cuantitativas entre la masa de los árboles y sus datos dimensionales (Rügnitz *et al.*, 2009). Para integrar las ecuaciones se requiere de muestreo destructivo de n número de árboles para relacionar alguna de las variables, tales como diámetro normal (DN), altura comercial (AC) y total (AT), y la densidad específica de la madera (Fonseca *et al.*, 2009). Además, los valores promedios de biomasa son usados en la mayoría de los cálculos de flujos de carbono. La distribución de biomasa entre órganos del árbol permite la medición de estos cambios en intervalos de tiempo (Houghton, 2005). Al establecer un SA en terrenos con pendiente con marcada situación de erosión interesa evaluar y presentar datos sobre el establecimiento de la especie, su acumulación de biomasa y la evolución del sitio transcurridos algunos años de establecida la plantación. Según Kanani *et al.* (2006) la producción y distribución de biomasa y follaje de *Leucaena* es palatable para el ganado y de alto rendimiento en la producción de forrajes. Es factible que la especie constituya la materia prima de los alimentos, fibras combustibles, y es preponderante para el manejo de agua y suelo.

El establecimiento de árboles de uso múltiple (como el género *Leucaena*) puede lograr la captura de biomasa, especialmente si se hace en altas densidades (Hernández *et al.*, 2008;

Anguiano *et al.*, 2012). En este contexto, los SA constituyen una importante estrategia para la mitigación del calentamiento global mediante la conservación, el secuestro, el almacenamiento y el ciclo de carbono (IPCC, 2000; Ibrahim *et al.*, 2007) y para acceder a los programas para obtener un pago por servicios ambientales (Sepúlveda e Ibrahim, 2009).

La necesidad de la estimación racional e integral de toda la biomasa forestal aprovechable, así como la predicción de los incrementos potenciales de la misma, se ha convertido en un importante aspecto a tener en cuenta; es importante la enorme cantidad de alternativas de su uso, tanto dentro de la planificación productiva como de sus posibilidades de desarrollo científico técnico. Las estimaciones de la biomasa aérea son fundamentales para la estimación de la cantidad de bio-energía, como alternativa parcial a los combustibles fósiles en la producción limpia y sostenible de la energía (McKendry, 2002).

Los SA ofrecen múltiples servicios ecológicos y sociales, ya que representan una importante alternativa para obtener alta producción de biomasa, pero también la restauración del suelo y la conservación de la biodiversidad, son algunos importantes servicios ambientales que se han considerado en diversos programas (Alonso, 2011). Gómez-Castro *et al.* (2010) en el centro de Chiapas, México estimaron la biomasa (BA) y carbono almacenado en *Gliricidia sepium* (Lam.) y *Leucaena leucocephala* (Jacq.), utilizando como variable predictora el diámetro normal de los árboles en función exponencial y logarítmica, respectivamente. En los Valles Centrales de Oaxaca se tiene numerosos terrenos de lomerío desprovistos de vegetación arbórea, con condiciones notorias de erosión en los que se dejó de practicar la agricultura de temporal y cuya presencia de vegetación de gramíneas es aprovechada para pastoreo extensivo de ganado menor. En tales condiciones interesa evaluar la alternativa de SA, que ayuden a recuperar gradualmente la capacidad productiva de los terrenos.

Por lo antes descrito, el objetivo de esta investigación fue describir la estructura y estimar mediante ecuaciones de predicción la biomasa arbórea aérea y área foliar de *Leucaena esculenta* de 10 años, establecida en un sistema agroforestal de ladera en el centro de Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en un SA ubicado en terrenos del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), en Valles Centrales de Oaxaca, ubicado entre las coordenadas N 17° 01' 07.9" y L 096° 45' 56.9", altitud de 1566 m. El clima en la zona es templado con lluvias en verano con temperatura promedio de 20.4°C y 669 mm de precipitación anual. Durante el año 2006 se estableció la plantación en terreno de lomerío, con pendiente promedio de 20 % y exposición norte. Los árboles tenían 50±10 cm de altura y se establecieron en bordos siguiendo curvas a nivel. La distancia entre líneas fue entre 6 y 8 m y la distancia entre árboles dentro de líneas fue de 0.5 m en sistema "tresbolillo" sobre el bordo. Las especies que se establecieron fueron *Adenostoma fasciculatum* (chamiso), *Bursera glabrifolia* (copal), *Leucaena esculenta* Benth (guaje), *Pithecellobium dulce* Benth (huamuchil), *Melia azedarach* L. (paraíso) y *Schinus molle* L. (pirul).

Estructura vertical y horizontal

Durante el 2016 y transcurridos 10 años de la plantación se realizó el inventario del arbolado del SA, tomando información dendrométrica: diámetro al pie (Dpie, cm), diámetro a la altura del pecho (DAP, a 130 cm), diámetro de tocón (DT, cm) y altura a la primera bifurcación con cinta diamétrica; altura total (AT, m) medida con clinómetro Suunto (PM-5/360PC, REF SS011096010 Made in Finland) y diámetro de copa (DC, m) obtenido con cinta métrica. Utilizando el Dpie y AT se conformaron intervalos de clase para integrar la estructura horizontal y vertical, respectivamente.

Muestreo destructivo

Cuarenta árboles fueron seleccionados aleatoriamente, para derribarlos y cuantificar las dimensiones y biomasa de tallo y hojas. La muestra se distribuyó en forma proporcional a la frecuencia relativa de la estructura horizontal. En cada árbol se midió además, diámetro de copa (DC, m) en dos ejes (N-S, E-O) y se calculó área de copa (AC, m²), $AC = 0.7854(DC^2)$; el volumen total (VT, m³) se determinó utilizando la longitud y área de las trozas por cada árbol con la fórmula de Newton (Diéguez *et al.*, 2003). En los árboles derribados en ramas, hojas y flores, se tomaron submuestras que se pesaron en una báscula digital (Modelo H-2716, Alemania) para registrar su peso fresco (g), y posteriormente se metieron separadamente en bolsas de papel y se colocaron en estufa de secado Memmer (modelo 100-800, Alemania) a 72 °C hasta obtener peso constante; posteriormente se pesaron en balanza digital y obtuvo el peso seco (g). La relación peso seco/peso fresco generó un factor de conversión de biomasa (FCB) para cada compartimento, que sirvió para estimar la biomasa de todo el compartimento (FCB×peso fresco total) (Fonseca *et al.*, 2009).

De cada árbol se obtuvo una rodaja del tallo que se llevó a laboratorio, en donde se les cuantificó su diámetro (D, cm), grosor, peso fresco (PV, g) en campo y volumen fresco por desplazamiento de agua (VV, cm³); luego de ser secada en estufa a 80 °C hasta peso constante, se pesó en seco (PS, g) en balanza analítica SartoriusR con capacidad de 1620 g. Con estos datos se determinó la densidad relativa básica (DE = PS/VV) de cada rodaja. El producto DE×VT generó la biomasa del compartimento tallo de cada árbol. Aleatoriamente se seleccionaron 20 árboles a los cuales se tomó una muestra de tres ramas en la sección baja, media y alta de la copa; se tomaron los diámetros basal de cada rama de todo el árbol y muestra de las hojas para poder medir directamente el área foliar (AF, cm²) en integrador de AF (Leaf Area Meter, CI-202). Utilizando el diámetro basal de rama (DBR, cm) se estimó el AF por rama, mediante el modelo:

$$AF_{rama} = 1626.8e^{(-0.6878(1/ABR))}$$

Donde: AF = área foliar de rama (cm²), e = logaritmo Neperiano, ABR = $\pi/4 \times DBR$, DBR = diámetro basal de rama (cm). $R^2_{aju} = 0.67$, CME = 370.3. Dicho modelo se usó para estimar el AF de todas las ramas de cada árbol e integrar AF a nivel árbol.

Para evaluar la caída de follaje en el suelo del SA se establecieron 12 trampas circulares (0.38 m²), elaboradas con alambroón y malla mosquitera. Se colocaron tres por cada nivel de densidad arbórea y mensualmente se colectó el follaje durante 4 meses (febrero a mayo). El peso seco

generado en las trampas, después del secado proporcionó la biomasa incorporada al piso, misma que se infirió por unidad de superficie.

Análisis estadístico de datos

Los datos de biomasa en compartimentos aéreos, AF y volumen se ajustaron mediante modelos de regresión no lineales utilizando como variables de estimación diámetro al pie, diámetro normal y altura de los árboles (Velasco *et al.*, 2012). Pruebas de bondad de ajuste (χ^2 , 0.05) fueron realizadas para evaluar la estructura horizontal y vertical del sistema agroforestal. La incorporación del follaje se evaluó mediante diseño experimental DCA con arreglo factorial 3×4 (niveles de densidad arbórea, mes de colecta); se realizó análisis de varianza y prueba de separación de medias (Duncan $\alpha=0.05$). Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (Sistema de Análisis Estadístico) (SAS Institute Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura del sistema agroforestal

A 10 años de establecido el SA presenta una estructura horizontal tendiente a la regularidad, teniendo el 70 % de árboles con diámetros que variaron en el rango de 7.5 a 17.5 cm. La frecuencia de individuos fue significativamente diferente ($p \leq 0.0001$) entre las categorías evaluadas, conteniendo 643 árboles ha⁻¹ las categorías 10 y 15 cm. Para la estructura vertical, el 86 % de árboles tienen alturas que variaron en el rango de 9 a 12 m. con una frecuencia de 793 árboles ha⁻¹ dentro de las categorías 6 y 10 cm, siendo la especie de interés la de mayor frecuencia (675 árboles ha⁻¹); esta especie resulta relevante para la conservación de biomasa (Asner *et al.*, 2003; Clement *et al.*, 2010). Al inicio de la plantación la pendiente del terreno era de 20 % y transcurridos 10 años se habían formado terrazas cuya pendiente es de 5 %, lo cual es importante para reducir la velocidad de escurrimiento de agua y su fuerza erosiva, así como permitir su infiltración. También se crean condiciones para la formación de suelo y la productividad del sitio con acumulación de materia orgánica.

La riqueza de leguminosas utilizadas como especies de sombra encuentra razón en su función multipropósito (forraje, fijación de nitrógeno, madera, frutos) de muchas de estas especies, características que han sido utilizadas como una ventaja competitiva para sistemas agroforestales alrededor del mundo (Shelton, 2000; Salgado-Mora *et al.*, 2007; Nair, *et al.*, 2009). En el sistema evaluado la especie principal *L. esculenta* se localiza en dos estratos, esta especie se encuentra en un 100 % del estrato superior, 86 % en el estrato medio, Sin embargo, en el caso de SA prácticamente ha sido desconocido y poco documentado, en diferentes regiones (Beer *et al.*, 2003; Idol *et al.*, 2011). Contrario a lo que ha ocurrido con el agroecosistema de café bajo sombra (Villavicencio, 2009). Aún más notable que la abundancia es la dominancia de la especie de interés, lo que demuestra la eficiencia ecológica de estos sistemas de producción (Gliessman, 2007).

La prueba de χ^2 mostró diferencias significativamente diferentes ($p < 0.0001$) entre las frecuencias de especies arbóreas encontradas en el SA, que está constituido por: *L. esculenta* (Benth) 73.9 %, *Phitecellobium dulce* Benth 10.4 %, *Melia azedarach* L. 5.2 % y *Bursera glabrifolia* Benth 2.3 % (Figura 1). Los árboles de *L. esculenta* se caracterizan por tener un

diámetro al pie del árbol de 13.4 ± 4.2 cm, bifurcados con dos o tres tallos y una altura de 9.9 ± 1.9 m. El área de crecimiento es en promedio de 9.4 ± 5.7 m². Sin embargo, y tomando en cuenta los hallazgos de Arroyo-Rodríguez & Mandujano (2006), así como lo expresado por Ochoa-Gaona *et al.* (2007), los SA pueden actuar como reservas de especies propias.

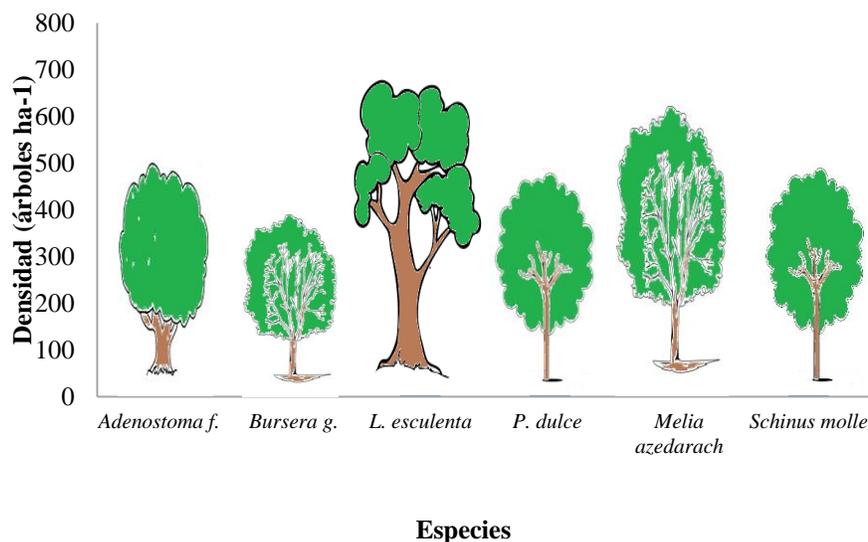


Figura 1. Densidad y distribución de especies del sistema agroforestal de ladera en Oaxaca, México. *Adenostoma fasciculatum*, *Bursera glabrifolia*, *Leucaena esculenta*, *Pithecellobium dulce*.

Biomasa aérea y área foliar

De los modelos alométricos probados para la estimación de biomasa en los compartimentos aéreos de *L. esculenta*, el de mejor ajuste ($R^2_{Adj} = 0.91$) es el que estima biomasa del árbol completo, con menor error estándar; se incluye diámetro al pie y altura de árbol en una función no lineal, obteniendo un total 7.27 t ha⁻¹ (Cuadro 1). Utilizando el modelo con un ajuste de $R^2_{Adj} = 0.87$, el SA genera 1.46 t ha⁻¹ de follaje, que representa una tasa de 146.6 kg ha⁻¹ año; del diámetro al pie es la mejor variable para estimar biomasa en follaje (Figura 2), sin embargo en el modelo se incluye además la altura de árbol que mejora la estimación.

El órgano que mayor captura biomasa es el tallo con 3.37 t ha⁻¹ utilizando las dos variables DN y AT ($R^2_{Adj} = 0.82$). Los diámetros son los mejores predictores de biomasa, lo que coincide con otros estudios (Fonseca *et al.*, 2009; Djomo *et al.*, 2010; Youkhana e Idol, 2011). Las ramas generan 2.104 t ha⁻¹, lo que representa una tasa de 210.4 kg ha⁻¹/año con $R^2_{Adj} = 0.80$ (Cuadro 1).

Este resultado es consistente con modelos de biomasa ajustados para especies como *Acacia harpophylla* F. Muell, los cuales mostraron $R^2 = 0.96$ (Eamus *et al.*, 2000). También concuerdan con los encontrados por Ávila *et al.* (2000) en sistemas agroforestales de café-*Eucalyptus deglupt* Blume, de acuerdo con el análisis de residuales, el modelo de biomasa en ramas (B_{ramas}) brinda una estimación apropiada y no presenta problemas de sesgo.

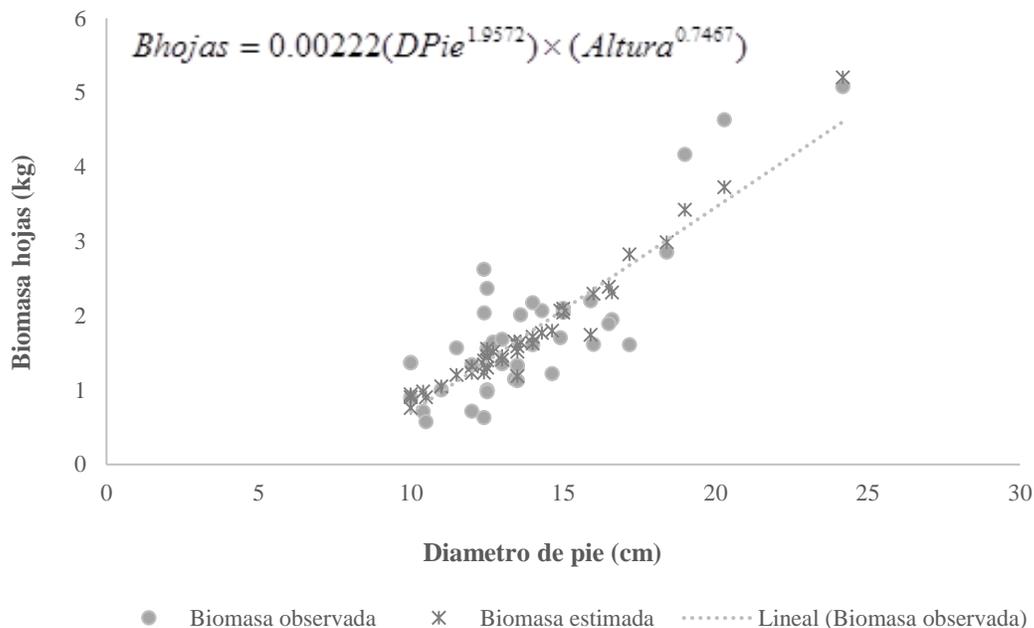


Figura 2. Estimación de biomasa de hojas (B_{hojas}), a partir del variables de inventario en *Leucaena esculenta*.

Cuadro 1. Parámetros, errores estándar y bondades de ajuste (R^2_{adj}) para la biomasa (B, kg) aérea, volumen (m^3) y área foliar (m^2) de *Leucaena esculenta*.

Variable	β_0	Error estándar	β_1	Error estándar	β_2	Error estándar	R^2_{Adj}
$B_{hoja}^{¶}$	0.002	0.002	1.95	0.18	0.74	0.50	0.87
$B_{rama}^{¶}$	0.0009	0.001	2.53	0.24	0.57	0.68	0.80
$B_{flor}^{¶}$	0.0029	0.006	1.45	0.48	0.60	1.18	0.40
$B_{tallo}^{¶¶}$	0.0227	0.029	1.79	0.17	0.71	0.68	0.82
$B_{árbol}^{¶}$	0.0039	0.003	2.21	0.15	1.01	0.45	0.91
Volumen ^{¶¶¶}	0.000002	0.000002	2.52	0.18			0.85
Área foliar ^{¶¶}	0.004	0.007	2.24	0.17	1.44	0.81	0.83

¶La ecuación ajustada fue de la forma $B_{hoja} = \beta_0 \times (DPIE^{\beta_1}) \times (ALTURA^{\beta_2})$. ¶¶Ecuación ajustada $B_{tallo} = \beta_0 \times (DN^{\beta_1}) \times (ALTURA^{\beta_2})$. ¶¶¶Ecuación ajustada $Volumen = \beta_0 \times (DPIE \times ALTURA)^{\beta_1}$. DPIE: diámetro al pie del árbol (cm), DN: diámetro normal (cm).

Este tipo de ecuaciones para estimar la biomasa ha proporcionado buenos ajustes en otras especies. Por ejemplo, Deans *et al.* (1996) obtuvieron $R^2 > 0.97$ en muestras de 14 árboles de cinco especies tropicales. Muchos estudios sobre modelos predictivos de estimación de biomasa por especie indican la superioridad de la función potencial (Ketterings *et al.* 2001; Acosta-Mireles *et al.* 2002; Sampaio & Silva 2005), la cual se mejora al incluir la altura total del árbol.

Entre estos se destaca el modelo de biomasa foliar obtenido, cuyo coeficiente de ajuste es superior a otras especies de selva baja caducifolia y que ha sido ajustado con éxito también para especies arbóreas latifoliadas como *Carpinus caroliniana* Thomas Walter, *Carya ovata* (Mill.) K.Koch, *Clethra pringleii* Wats. y *Quercus xalapensis* Bonpl. con coeficientes de determinación entre 0.97 y 0.99 (Rodríguez *et al.*, 2006). El área foliar se estima confiablemente ($R^2_{adj} = 0.83$) utilizando diámetro a la altura del pecho (DN) y AT, lo cual indica un buen nivel de precisión en la medición de los datos (Cuadro 1). Esta respuesta coincide con lo encontrado, en cerezas (Torri *et al.*, 2009), en guayaba (Singh, 2007) y manzano (Nautival *et al.*, 1990).

La incorporación de biomasa al suelo dentro del SA fue la misma ($p \leq 0.23$) durante los meses evaluados, incluyendo la interacción densidad \times mes (Figura 3). Densidades de plantación de 907 árboles ha^{-1} generan la mayor incorporación al suelo ($p \leq 0.0183$) con 76.38 ± 23.52 $kg\ ha^{-1}$; lo cual concuerda con lo aportado por Moran *et al.* (2000) y Herrera *et al.* (2001), que indican que altas densidades de plantación incorporan mayor cantidad de follaje al suelo, que en el caso de la presente durante el periodo de febrero a mayo, el promedio mensual de incorporación de follaje fue de 61.44 $kg\ ha^{-1}$.

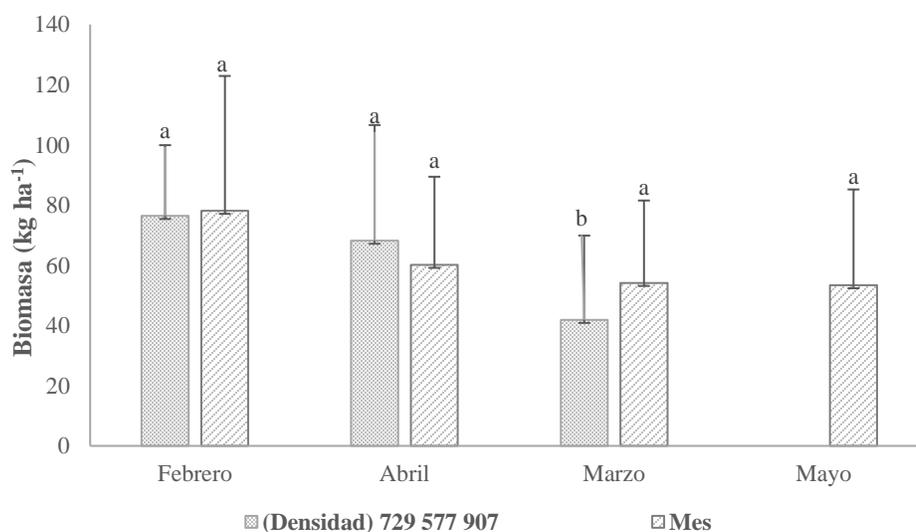


Figura 3. Incorporación de biomasa al piso del sistema agroforestal de manera mensual de acuerdo a la densidad de leñosas (árboles ha^{-1}). Letras distintas en cada variable indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05). Las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar.

CONCLUSIONES

A 10 años de establecido el sistema agroforestal (SA) de ladera de *Leucaena esculenta* Benth (guaje), en los Valles Centrales de Oaxaca, México, se tiene una tasa de incorporación de biomasa aérea total de 727 kg ha⁻¹/año (tallo, hoja, rama, flor), estimada con un coeficiente de determinación de 0.91 y utilizando variables de fácil medición (diámetro al pie y altura de árbol). El SA se caracteriza por tener una diversidad de seis especies: *Leucaena esculenta* Benth, *Adenostoma fasciculatum* Hook. & Arn., *Bursera glabrifolia* Engl, *Pithecellobium dulce* Benth, *Melia azedarach* L. y *Schinus molle* L. Su estructura vertical y horizontal tiende a la regularidad, cuya frecuencia de individuos es distinta entre las categorías evaluadas, conteniendo 643 árboles ha⁻¹ las categorías 10 y 15 cm de diámetro. Este estudio permite concluir que el diámetro (al pie y a la altura del pecho) y altura de los árboles influyen directamente en la cantidad de biomasa aérea aportada para cada árbol; y por su fácil medición en campo son las variables que deben utilizarse para estimar producción de biomasa, volumen maderable y área foliar en el SA de ladera. Estos modelos pueden contribuir notablemente en el monitoreo del carbono aéreo de la especie.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Mireles, M., A. Vargas-Hernández, A. Velásquez-Martínez y J. D. Echevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36:725–736.
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45:107–115.
- Anguiano, J. M., J. Aguirre y J. M. Palma. 2012. Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46:103–107.
- Arroyo-Rodríguez, V. and S. Mandujano. 2006. The importance of tropical rain forest fragments to the conservation of plant species diversity in los Tuxtlas, México. *Biodiversity and Conservation* 15:4159–4179. doi:10.1007/s10531-005-3374-8
- Asner, G. P., C. E. Borghi and R. Ojeda. 2003. Desertification in central Argentina: changes in ecosystem carbon and nitrogen from imaging spectroscopy. *Ecological Applications* 13:629–648.
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis. Magister. Scientiae. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza 99 p.
- Beer, J., C. Harvey, M. Ibrahim, J. M. Harmand, E. Somarriba y F. Jiménez. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10:80–87.
- Cervantes, V., V. Arriaga, J. Meave and J. Carabias. 1998. Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern México. *Forest Ecology and Management* 110:329–341.
- Clement, Ch. R., M. Cristo-Araujo, C. G. d'Eeckenbrugge, A. A. Pereira and D. Picanco-Rodríguez. 2010. Origin and domestication of native Amazonian crops. *Diversity* 2:72–106. doi:10.3390/d2010072
- Deans, J. D., J. Mora and J. Grace. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forest in Cameeroon. *For. Ecol. Manag.* 88: 215–225.
- Diéguez, U., M. Barrio and F. Castedo. 2003. *Dendrometría*. Editorial Mundi Prensa. (Unidad didáctica de Dendrometría). Madrid. 327 p.

- Djomo, A. N., A. Ibrahima, J. Saborowski, and G. Gravenhorst. 2010. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *For. Ecol. Manag.* 260:1873–1885. doi: 10.1016/j.foreco.2010.08.034
- Eamus, D., K. McGuinness and W. Burrows. 2000. Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and Western Australia. Queensland, Australia, Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System. Technical Report N° 5A. <http://www.fullcam.com/FullCAMServer/Help/refs/TR5A.pdf> (Enero 2019).
- Fonseca, G. W., F. G. Alice y J. M. B. Rey. 2009. Modelos para estimar biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30:36–47.
- Gliessman, S. R. 2007. *Agroecology the ecology of sustainable food systems*. Second Edition. CRC Press. United States of America. 384 p.
- Gómez-Castro, H., R. Pinto-Ruiz, F. Guevara-Hernández y A. Gonzalez-Reyna. 2010. Estimaciones de biomasa aérea y carbono almacenado en *Gliricidia sepium* (lam). y *Leucaena leucocephala* (jacq.) y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)* 4:256–270.
- Hernández, A., F. L. Marentes, D. Vargas, H. Ríos y F. Padrón. 2008. Características de los suelos y sus reservas de carbono en la finca la colmena de la Universidad de Cienfuegos, Cuba. *Cultivos Tropicales*. 29:27–34.
- Hernández, C. E. 2013. Evaluación de los sistemas agroforestales con leguminosas nativas en la restauración del suelo en la montaña de Guerrero, México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 2–4.
- Herrera, A., M. A. I. J. Del valle, and O. S. Alonso. 2001. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. *In*. Memorias del simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. pp. 18.
- Houghton, R. A. 2005. Aboveground biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* 11: 945-958. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x
- Ibrahim, M., M. Chacón, C. Cuarta, J. Naranjo, G. Ponce, P. Vega, F. Casasola y J. Rojas. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27–36.
- Idol, T., J. Hagggar and L. Cox. 2011. Ecosystem services from smallholder forestry and agroforestry in the tropics. W. B. Campbell y S. López-Ortíz (Eds.). *Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field, Issues in Agroecology – Present Status and Future Prospectus* 1. pp. 209–270.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. IPCC Special Report: Land use, land use change and forestry. *S. N. T.* <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-en.pdf> (Febrero 2019).
- Kanani, J., S. D. Lukefahr and R. L. Stanko. 2006. Evaluation of tropical forage legumes (*Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Leucaena leucocephala* and *Desmanthus bicornutus*) for growing goats. *Small Ruminant Research* 65(1-2): 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.028>
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. Noordwijk, V. Y. Ambagau and C. A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting aboveground tree biomass in mixed secondary forest. *Forest Ecology and Management* 146:199–209.
- McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37–46. doi: 10.1016/S0960-8524(01)00118-3

- Moran, J. A., M. G. Barker, A. J. Moran, P. Barker and S. M. Ross. 2000. A comparison of the soil water, nutrient status, and litterfall characteristics of tropical heath and mixed-dipterocarp forest sites in Brunei. *Biotropica* 32:2–13.
- Nair, P. K. R., K. B. Mohan and V. D. Nair. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10–23. doi: 10.1002/jpln.200800030
- Nautival, B. M., P. K. Singh, R. N. Sukla, S. Prakash and A. Kumar. 1990. Correcting leaf area measurement by conventional methods: a new approach for apple (*Malus domestica* Borkh). *Journal of Horticultural Science* 65:15–18.
- Ochoa-Gaona, S., F. Hernández—Vázquez, B. H. J. De Jong y F. D. Gurri-García. 2007. Pérdida de diversidad florística ante un gradiente de intensificación del sistema agrícola de roza—tumba—quema: un estudio de caso en la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81:65–80.
- Orwa, C., A. Mutua, R. Kindt, R. Jamnadas and A. simons. 2009. Agroforestry Database: A tree referent and selection guide versión 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya. <https://www.worldagroforestry.org/publication> (Consultado: Agosto 2019).
- Rodríguez, R., J. Jiménez, O. Aguirre and E. Treviño. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. México, Universidad autónoma de Nuevo León. *Ciencia* 9:179–187. <http://www.redalyc.org/pdf/402/40290212.pdf>.
- Rosales, A. J. J., V. Cruz y E. Cevallos. 2009. Manejo del agroecosistema de piña cultivada bajo sombra en Villa Purificación, Jalisco, México. *Revista Brasileña de Agroecología* 4:3931–3935.
- Rügnitz, M., M. Chacón y R. Porro. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas granjas: Agroforestal Mundial (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Lima, Perú 79 p.
- Salgado-Mora, M. G., J. E. Ibarra-Núñez, G. Macías-Sámamo and O. López-Báez. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32:763–768.
- Sampaio, E. V. S. B. and G. C. Silva. 2005. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. *Acta Botanica Brasilica* 19:935–943. doi.org/10.1590/S0102-33062005000400028
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.4 User’s Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1024 p.
- Sepúlveda, L. C. y M. Ibrahim. 2009. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Serie técnica. Informe técnico No. 377. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 270 p.
- Shelton, H. M. 2000. Leguminosas forrajeras tropicales en los sistemas agroforestales. *Unasylva* 51:25–32.
- Singh, A. 2007. Approximation of leaf area by using leaf dimensions in guava. I International Guava Symposium. *Acta Horticulturae* 735:321–324.
- Spurgeon, D. 1981. Agroforestry: a promising system of improved land management for Latin America. *Interciencia* 5:176:178.
- Torri, S. I., C. Descalzi and E. Frusso. 2009. Estimation of leaf area in pecan cultivars (*Carya illinoensis*). *Ciencia e Investigación Agraria* 36:53–58. doi.org/10.4067/S0718-16202009000100004
- Velasco, B. E., E. R. Sánchez, A. G. Hernández, F. M. Sánchez y R. P. Miranda. 2012. Funciones de biomasa y carbono aéreo aplicables a árboles de *Pinus pseudostrabus* lindl. En México. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 34:315–319.
- Villavicencio, A. A. 2009. Propuesta metodológica para un sistema de pago por servicios ambientales en el Estado de México. *Cuadernos Geográficos* 44:29–49.

Youkhana, A. and T. Idol. 2011. Allometric models for predicting above- and belowground biomass of *Leucaena* -KX2 in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. *Agrofor. Syst.* 83:331–345.

SISTEMA DE NOTIFICACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN GRANJAS DE CAMARÓN¹

[REAL-TIME WATER QUALITY NOTIFICATION SYSTEM FOR SHRIMP FARMS]

Juan de Dios Barajas Corona^{1§}, Jesús Alberto Verduzco Ramírez², Elena Elsa Bricio Barrios², Santiago Arceo Díaz², Ramona Evelia Chávez Valdez², Patricia Elizabeth Figueroa Millán²

¹Estudiante de Maestría en Sistemas Computacionales. Tecnológico Nacional de México/I.T. Colima. ²Profesor Investigador de la División de Estudios de Posgrado e Investigación-I.T. Colima. Villa de Álvarez, Colima. C.P. 28976. [§]Autor para correspondencia: (g1846003@itcolima.edu.mx).

RESUMEN

La industria camaronera es uno de los sectores productivos con mayor auge en México en los últimos treinta años. Para abastecer la creciente demanda de productos de camarón, se han incorporado granjas acuícolas seminaturales para su siembra, crecimiento y cosecha; donde los acuicultores desean garantizar la mayor tasa de sobrevivencia del producto. Para reducir posibles pérdidas en la producción, diversos sistemas se han propuesto para el monitoreo de los parámetros de calidad del agua de mayor importancia, mostrando un alto desempeño. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos sistemas requieren de la presencia física de un operador para identificar anomalías en los valores de los parámetros de calidad del agua y para realizar acciones correctivas. Por lo tanto, este trabajo presenta un sistema de notificación conformado por un módulo de transmisión, acoplado a un módulo de notificación basado en tecnologías web, capaz de enviar mensajes de alerta en tiempo real, utilizando el servicio de mensajes SMS, a cualquier destinatario registrado.

Palabras clave: Acuicultura, GPRS, mensajes de alerta, NEXMO, SMS.

ABSTRACT

Shrimp farming is one of the most successful industries within the Mexican productive sector in the last 30 years. To supply the growing demand for shrimp products, seminatural aquacultural farms have been employed for their planting, breeding and harvest; where farmers can guarantee a larger survival rate. For cutting down production losses, diverse systems have been proposed for monitoring the most important water quality parameters, showing high performance. However, in most cases, these systems require the physical presence of a human operator to identify anomalies in the values in the water quality parameters and to take corrective actions. Thus, this work presents a notification system, conformed by the coupling between a transmission module and a web-based notification module based in web technology, capable sending real-time alerts to any registered user by using the short message system (SMS) service.

Index words: Aquaculture, GPRS, text alert messages, NEXMO, SMS.

¹ Recibido: 14-mayo-2019
Aceptado: 20-mayo-2020

INTRODUCCIÓN

México es considerado una potencia mundial en la siembra, crianza y distribución de camarón al poseer una superficie de 12,555 km² para su siembra (Malagrino *et al.*, 2008), su clima tropical permite la crianza de diversas especies en todos los estados (a excepción de Michoacán y Chiapas) que colindan con el océano Pacífico y golfo de México, (CONAPESCA, 2018a) y su facilidad de distribución y venta a Estados Unidos de América, el mayor consumidor mundial de camarón (CONAPESCA, 2018b).

Como una estrategia para satisfacer la alta demanda de camarón tanto a nivel internacional y nacional se han propuesto e incorporado plantas semi-naturales para la siembra, crecimiento y cosecha. Para asegurar la calidad en su producción muchas de estas plantas toman en consideración las recomendaciones de algunos organismos no gubernamentales que han caracterizado los criterios climatológicos, tipos de suelo, características de recubrimiento en los tanques de crianza, condiciones fisicoquímicas de agua idóneos (FAO, 2010). En México, el INAPESCA (2013) publicó los rangos aceptables de los parámetros fisicoquímicos (calidad) en el interior de los estanques de crianza como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, compuestos nitrogenados (nitratos, nitritos, amonio), turbidez y alcalinidad. Por lo tanto, los productores de camarón podrían obtener el mayor porcentaje de sobrevivencia del producto, a la par de garantizar el peso y talla de la cosecha, si tuvieran a disposición herramientas adecuadas para el monitoreo y notificación en tiempo real de los parámetros de calidad.

De acuerdo con la FAO (2010) la concentración de oxígeno disuelto en el medio de crianza es el parámetro de calidad del agua de mayor preocupación, pues niveles fuera del rango recomendado provocan que los organismos sean susceptibles a enfermedades, estrés, falta de apetito e incluso una muerte prematura. Así mismo variaciones en pH, temperatura y salinidad pueden provocar una mayor incidencia de enfermedades y agentes patógenos que pueden afectar la producción (Instituto Nacional de Pesca, 2013).

Tradicionalmente, la medición de la concentración de oxígeno disuelto se realiza a través de una inspección visual y olfativa del agua, donde de observarse agua turbia o aroma a putrefacción eran indicativos de baja concentración (FAO, 2010). Por otro lado, se diseñaron dispositivos portátiles, oxímetros, para su medición y, para garantizar que el instrumento sea capaz de desplegar la concentración real, es necesario calibrarlo a través del intercambio periódico de la membrana del sensor (YSI, 2002), incrementando significativamente los costos indirectos por mantenimiento de estos equipos.

Para minimizar el costo de los dispositivos de medición de los parámetros de calidad del agua se ha propuesto el uso de sensores comerciales (Salim *et al.*, 2016; Defe y Antonio 2018; Flores-Mollo y Aracena, 2018; Olivo-Gutiérrez *et al.*, 2018) que son calibrados con soluciones estandarizadas y que se pueden adquirir a través de proveedores locales de reactivos químicos, reduciendo considerablemente el costo respecto al sistema de membranas (YSI, 2002; Skoog *et al.*, 2013). Recientemente, Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018) reportaron una propuesta basada en sistemas de información para la migración, almacenamiento y visualización de los parámetros de oxígeno disuelto, pH, temperatura y salinidad; no obstante, este dispositivo no es capaz de notificar en tiempo real en caso de que algún parámetro se encuentre fuera del valor nominal.

Fundamentado en la propuesta de Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018), este trabajo muestra el desarrollo de un sistema que monitorea los parámetros de calidad del agua en tiempo real y que automáticamente envía notificaciones de alertas, vía servicios de mensajes cortos (SMS), si se presentan: valores de los parámetros fuera del rango de calidad, fallas en la recepción de datos del módulo de monitoreo y valores anómalos en la medición que realiza el sensor. El desarrollo de esta propuesta está basado en tecnologías web que permiten el envío y recepción de los datos obtenidos utilizando una red de telefonía móvil y el envío de notificaciones de alerta por medio de un servicio SaaS (Software as a Service, por sus siglas en inglés). Aunado a esto, se incorporó un sistema de almacenamiento digital para el registro histórico de los datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño y desarrollo tecnológico se realizó en el Laboratorio de cómputo de alto rendimiento y visualización del Instituto Tecnológico de Colima, México, utilizando la metodología de desarrollo ágil de Proceso Unificado Ágil (PUA), permitiendo la creación de prototipos escalables mediante iteraciones (Ambler *et al.*, 2005; Pressman 2010).

El desarrollo tecnológico propuesto transmite los datos en dos etapas: del nodo de monitoreo al servidor web, y del servidor web a los dispositivos móviles.

Transmisión

A diferencia de Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018), que realizó la medición y transmisión local de los parámetros de calidad del agua antes mencionados vía Zigbee a un equipo de cómputo, se planteó modificar la transmisión de datos a un servidor web a través de GPRS debido a que permite la conectividad del dispositivo de medición con servidores en línea, una vez establecida la conexión con el servicio de telefonía móvil, comunicándose de forma permanente pero utilizando los recursos de transmisión únicamente cuando es requerido enviar o recibir datos (Bates, 2001); además, se ha demostrado su efectividad en proyectos de monitoreo de transformadores de corriente eléctrica y envío de datos de unidades terminales remotas, respectivamente (Cavaco *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2009).

Para realizar la transmisión de los datos obtenidos, se adaptó al dispositivo de monitoreo desarrollado por Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018) un módulo llamado SIM900 (SIMCom, 2013); algunas características son: el bajo consumo energético (1.0 mA en modo de reposo) y la conectividad utilizando el protocolo TCP/IP con comandos tipo AT, permitiendo el envío de los datos a servidores remotos por medio de protocolos de la capa de aplicación. Además, el módulo cuenta con una velocidad de transferencia de máximo 42.8 kbps, lo que proporciona un ancho de banda adecuado para la transmisión de los valores en formato de cadena de caracteres a través del protocolo de transferencia de hipertexto (por sus siglas en inglés, HTTP), que permite la transferencia de información e hipermedia entre sistemas de información, siendo uno de los protocolos más utilizados en la red global de Internet (Fielding *et al.*, 1999; de Saxcé *et al.*, 2015).

Módulo de notificación

Recibidos los datos, estos se transmiten al módulo de notificación (ver Figura 1). Dentro del módulo se conceptualizó, diseñó e implementó un algoritmo de detección que determina si los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido para cada parámetro de calidad del agua. Si se cumple esta condición, los valores son almacenados en una base de datos, agregando una estampa de tiempo. En caso contrario, el algoritmo identifica la ocurrencia de tres situaciones: valores de los parámetros fuera del rango de calidad, fallas en la recepción de datos del módulo de monitoreo o valores anómalos en la medición que realiza el sensor. Posteriormente, se genera una alerta en la que se especifica la situación ocurrida, el valor registrado, además de la estampa de tiempo, la cual es simultáneamente almacenada en la base de datos y enviada al servicio tipo SaaS NEXMO (2019), que envía la información vía SMS a los destinatarios registrados en el sistema.

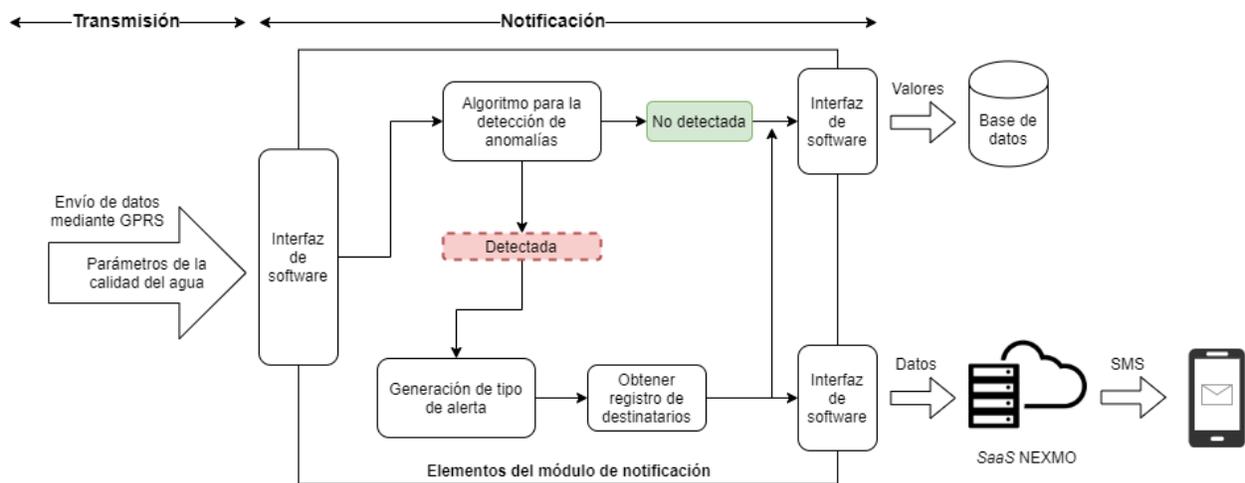


Figura 1. Modelo conceptual del sistema de notificación en tiempo real.

Algoritmo para la detección de anomalías

Este algoritmo está basado en la comparación de los valores obtenidos respecto a rangos que pueden ser definidos por el usuario del sistema, o tomando como referencia los valores reportados en la literatura. El algoritmo puede diferenciar cada tipo de anomalía, como se puede observar en la Figura 2.

El algoritmo inicia con la recepción de los datos, que son comparados con los rangos establecidos. Adicionalmente, a estos datos se les añade una estampa de tiempo. En caso de no identificar anomalías, los valores son almacenados directamente en la base de datos. En caso contrario, se procede a una función que clasifica el tipo de anomalía. Esta función se encarga de asignar a una variable de tipo texto, que será el cuerpo de la alerta, el valor correspondiente a cada tipo de anomalía. Posteriormente, la función obtiene los parámetros que presentan la anomalía, y los integra a la variable. Finalmente, los valores de los parámetros de calidad son registrados como una anomalía en la base de datos, a su vez que se consultan los destinatarios registrados y los mensajes son enviados al servicio SaaS de NEXMO.

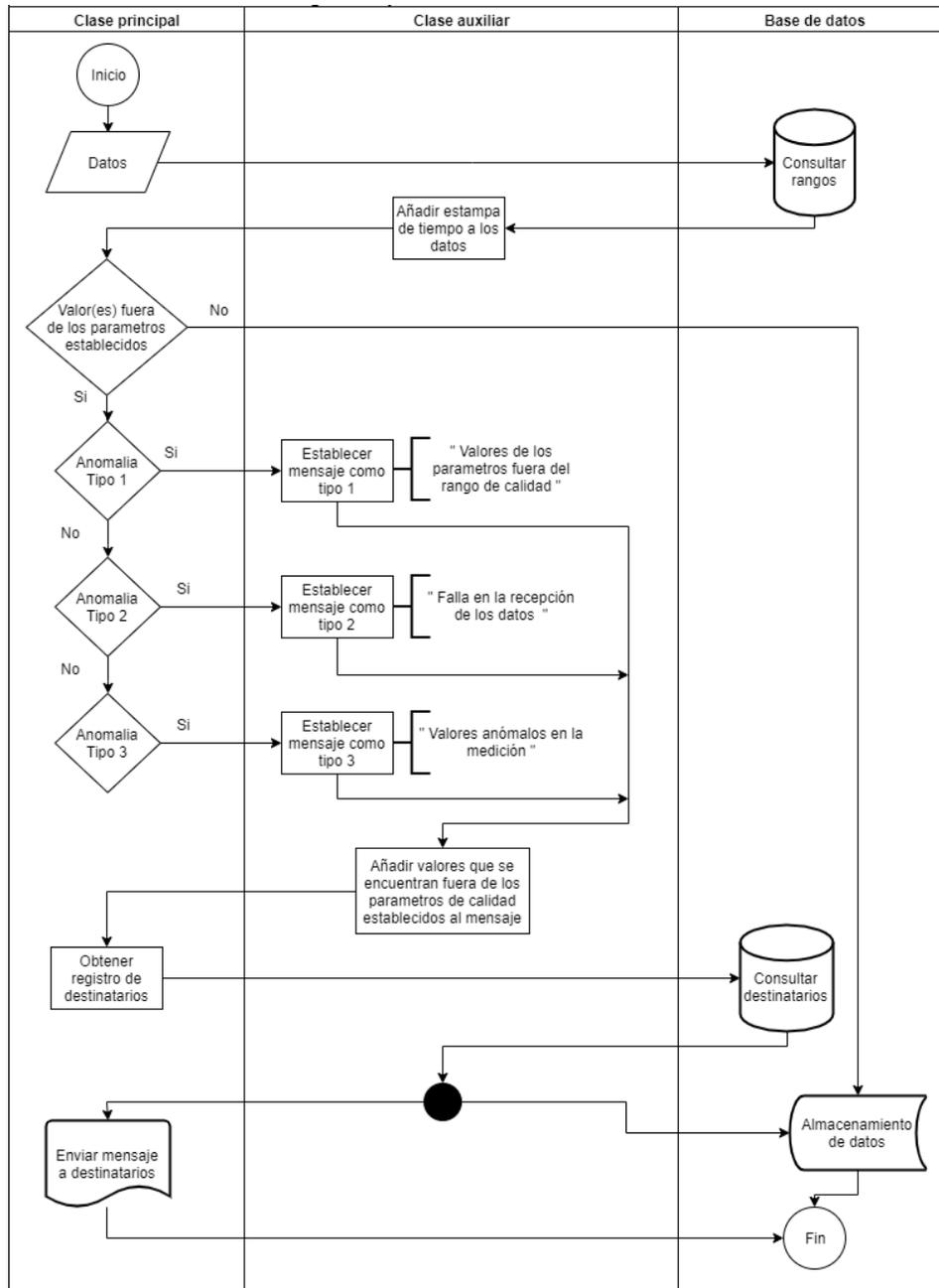


Figura 2. Diagrama del algoritmo de identificación de anomalías

El diagrama del formato de envío de los mensajes está conformado por los campos requeridos por el servicio para establecer la comunicación, mostrados en la Figura 3, y descritos en el Cuadro 1.



Figura 3. Diagrama del formato de envío.

Cuadro 1. Descripción del diagrama de formato.

Campo	Descripción	Opciones
Método	Método del protocolo HTTP que será utilizado para el envío de datos	POST
Formato	El formato en que el SaaS emitirá su respuesta luego del envío de la petición. Por defecto se utiliza la opción “JSON”.	JSON, XML
Llave de API	Clave única para utilizar el servicio.	-
Clave de API	Contraseña ligada a la clave única utilizada como mecanismo de seguridad.	-
Remitente	El nombre de la empresa o el número que envía el mensaje. En el caso de México, esta opción es seleccionada por el proveedor de servicio de telefonía.	Varía por país
Destinatario	El número de celular que recibirá el mensaje. El número debe estar antecedido por el código telefónico de cada país (52, en México).	-
Cuerpo	El contenido del mensaje. Por defecto, se utiliza la opción de “texto”.	Texto, binario, wappush, unicode, vcal, vcard
Opciones adicionales	Conjunto de opciones que pueden utilizarse de acuerdo con los requerimientos del sistema. No es riguroso añadir alguna de estas opciones para el envío.	Tipo, message-class, callback, vcal, body, protocol-id, title, url

RESULTADOS

La Figura 4 muestra los componentes físicos del módulo de transmisión, constituido por: un microcontrolador (A) que solicita, mediante una instrucción, la medición de los parámetros de la calidad del agua proveniente de los sensores (B), en un intervalo de muestreo de cinco minutos. El microcontrolador se acopló a través de dos pines que se comunican con el módulo SIM900 (C)

para enviar los datos utilizando TCP/IP, por medio de una antena (D) que está conectada al servicio de telefonía móvil.

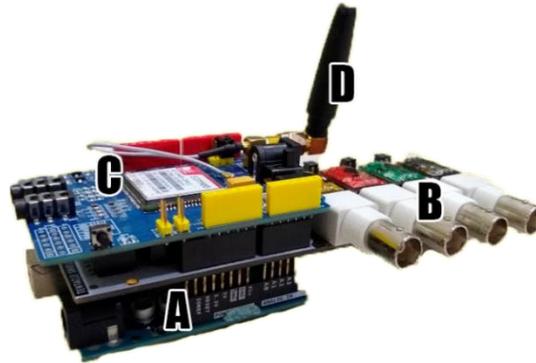


Figura 4. Componentes físicos del sistema de transmisión. A=Microcontrolador ATMEGA328. B=Terminales BNC para los sensores. C=Modulo SIM900. D=Antena GPRS.

La evaluación del desarrollo propuesto se realizó en la granja acuícola HUESO S.P.R, ubicada en la localidad “El Colomo” en el estado de Colima, bajo dos experimentos: i) el sensado de los parámetros de calidad del agua considerados como aceptables, donde se esperó no recibir alertas. ii) Se simuló la incidencia individual de los tres tipos de anomalía: se alteró el pH de una muestra de agua de 250 ml del estanque de cultivo, al agregar cinco gotas de ácido clorhídrico concentrado (anomalía tipo 1), se desconectó uno de los sensores para simular una falla en la transmisión (anomalía tipo 2) y, finalmente, se utilizó un sensor no funcional (anomalía tipo 3). En la Figura 5 se muestra un sensor de temperatura dañado (A) por la prolongada exposición en el medio acuático y el mensaje de alerta (B) emitido por el desarrollo propuesto, respectivamente.



Figura 5. A=Sensor de temperatura (daño en conector), B=Captura de pantalla de un mensaje de alerta de anomalía tipo 3.

DISCUSIÓN

Este prototipo tiene la capacidad de emitir un mensaje de alerta a través de la red GPRS, mediante SMS, cuando la magnitud de los parámetros de calidad del agua de la granja acuícola que se está monitoreando muestra algún tipo de anomalía. Se eligió el envío automatizado de

mensajes SMS sobre otras tecnologías como correos electrónicos ya que no requiere la conexión a Internet.

El módulo web SIM900 ha demostrado eficacia en la transmisión de datos de tipo texto, como en la ubicación en tiempo real de un transporte público (Nataraj y Sidramappa, 2016), sistemas acuáticos (Wang *et al.*, 2012) y medición de pH en cuerpos de agua (Pelayo-Jimeno, 2018). Aunado a esto, se ha reportado que el uso del módulo SIM900 tiene menor consumo energético (SIMCom, 2013) respecto a módulos 3G como el SIM5215 (SIMcom, 2011) y 4G como el LE910 (Telit, 2017).

Debido a la ubicación geográfica de la mayoría de las granjas acuícolas en el estado de Colima, ubicadas en zonas rurales donde la red 4G no tiene cobertura (IFT, 2019) se optó por utilizar la red GPRS (2G) para la transmisión de datos, considerando también que cumple con los requerimientos de ancho de banda necesarios para el envío de los valores obtenidos de los parámetros de calidad del agua y los mensajes de alerta. Rocabado-Moreno *et al.* (2013) reportaron que las redes MANET (Mobile Ad-hoc Networks, por sus siglas en inglés) no requieren de infraestructura preestablecida como las redes de telefonía. Además, estas redes han sido aplicadas con éxito en el ambiente educativo, comercial y militar (Chan-May *et al.*, 2016), y su uso se tiene en consideración para un trabajo futuro.

La conceptualización, diseño, desarrollo e implementación del módulo de notificación se realizó a través de un algoritmo codificado en PHP, lenguaje de programación ampliamente utilizado en sistemas de: monitoreo remoto y trazabilidad de procesos acuícolas (Flores-Mollo y Aracena, 2018; Olivo-Gutiérrez *et al.*, 2018) y control y monitoreo de especies botánicas (Araceros-González y Garrido-González, 2018). Mientras que, el servicio SaaS de NEXMO ha sido utilizado por compañías de transporte, comunicaciones, redes sociales, entre otras, para la validación de identidad y envío de mensajes SMS y se eligió respecto a otras propuestas que utilizan el mismo servicio (Twilio, 2019) debido a su simplicidad de implementación y su alta tasa de éxito en el envío masivo de mensajes (NEXMO, 2019). Si bien, se pudieron haber empleado tecnologías similares que utilicen servicios PaaS (Platform as a Service, por sus siglas en inglés), en muchos casos, esto incrementaría el costo indirecto de mantenimiento al hacer necesario adquirir un número de teléfono para el envío de mensajes.

CONCLUSIONES

Este trabajo reporta la conceptualización, diseño y construcción de un sistema de notificación en tiempo real para el monitoreo de los parámetros de calidad del agua en granjas acuícolas. Este sistema recibe los valores concernientes del sistema de monitoreo con la finalidad de analizarlos mediante un algoritmo de detección de anomalías, el cual dispara una notificación SMS utilizando un SaaS cuando los valores recibidos no se encuentran dentro del rango de calidad, cuando hay fallas en la recepción de datos del módulo de monitoreo o existen valores anómalos en la medición. Con el desarrollo de este sistema se logró aportar un mecanismo que permite al productor acuícola disponer de información en tiempo real de los parámetros de calidad, con la finalidad de tomar decisiones y aplicar acciones correctivas para contribuir a reducir pérdidas en la producción.

Algunas ventajas que demostró este sistema incluyen, por una parte, la recepción automatizada de alertas que registran posibles anomalías en los parámetros de calidad del agua, con cobertura tanto dentro como fuera de las instalaciones de la granja y el uso de una plataforma que permite la emisión de mensajes mediante el sistema de telefonía celular (SMS) a los destinatarios registrados en el sistema de la granja acuícola. Si bien, el sistema propuesto en este trabajo logró un funcionamiento satisfactorio para la notificación oportuna de alertas, a futuro, se pretende desarrollar un sistema de notificaciones preventivas basadas en estrategias analíticas y/o estocásticas, permitiendo realizar predicciones del comportamiento de los valores de parámetros de la calidad del agua.

AGRADECIMIENTOS

En especial al CONACYT por mantener el Programa Nacional de Posgrado de Calidad e incentivar la formación en maestrías y doctorados, mediante el programa de Becas; al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Colima por ocuparse de la formación de capital humano que brinde soluciones informáticas al sector productivo, gubernamental y de servicios en la región. Así también a la granja acuícola HUESO, por brindar la confianza y las facilidades para el desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Ambler, S. 2005. A manager's introduction to the Rational Unified Process (RUP). Ambyssoft. (Consultado: 02/03/2019). Disponible en: <http://www.ambyssoft.com/downloads/managersIntroToRUP.pdf>
- Araceres-González, A. A. y J. Garrido-González. 2018. Herramientas para el control y monitoreo de especies y clima en el jardín botánico de SO-ROA (Cattleya). XVII Convencion y Feria Internacional Informática 2018. La Habana, Cuba. pp. 1-9.
- Bates, R. J. 2001. GPRS: general packet radio service. McGraw-Hill Professional. 46 p.
- Cavaco, M. A., M. E. Benedet, C. A. Nogueira and R. H. Coelho. 2009. Remote monitoring of incipient faults using gprs in power transformers. XIX Imeko World Congress. Lisboa, Portugal. pp. 1370-1374.
- Chan-May, O. A., J. J. Peña-Koo y E. E. Ceh-Varela. 2016. Avances y perspectivas de la innovación, investigación y vinculación. *In*: N. Reyes-Mendoza, N. Rodríguez-Valencia y R. Olivares-Contreras. (Compiladores). Congreso Virtual Internacional de Innovación, Vinculación y Educación Superior (COVIIVES). Mérida, Mexico: Universidad Tecnológica Metropolitana. pp. 73-97.
- Chen, Q., T. Ding, C. Li and P. Wang. 2009. Low-power wireless remote terminal design based on GPRS/GSM. *Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University* 49: 225-231.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). 2018a. Produce acuicultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos. Ciudad de México 2018. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <https://www.gob.mx/conapescaprensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). 2018b. Buenas perspectivas para la exportación de pescados y mariscos mexicanos, al concluir la Seafood Expo Norteamérica: CONAPESCA. Ciudad de México 2018. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en:

- <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/buenas-perspectivas-para-la-exportacion-de-pescados-y-mariscos-mexicanos-al-concluir-la-seafood-expo-norteamerica-conapesca>.
- de Saxcé, H., I. Oprescu and Y. Chen. 2015. Is HTTP/2 really faster than HTTP/1.1?. IEEE Conference on Computer Communications Workshops. Honolulu, HI, USA. pp. 293-299.
- Defe, G. A. and A. Z. C. Antonio. 2018. Multi-parameter Water Quality Monitoring Device for Grouper Aquaculture. IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management. Baltimore, USA. pp. 1-5.
- Fielding, R., J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach and T. Berners-Lee. 1999. RFC2616: Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1. USA 1999. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2616>
- Flores-Mollo, S. y D. Aracena-Pizarro. 2018. Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 26: 55-64.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2010. *In: Gillet, R. Documento Técnico de Pesca*, 475. USA 2010. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/i0300s/i0300s00.htm>.
- Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT). 2019. Mapas de cobertura móvil. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <http://cobeturamovil.ift.org.mx/>
- Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). 2013. Carta Nacional Acuicola. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/117710/09092013_CARTA_NACIONAL_ACUICOLA.pdf
- Malagrino, G., M. Lagunas and A. O. Rubio. 2008. Environmental impact reduction through ecological planning at Bahía Magdalena, Mexico. *Journal of environmental biology* 29(2): 179-185.
- Nataraj, M. C. and M. Sidramappa. 2016. Bus Safety System for School Children using RFID and SIM900 GSM MODEM. *International Journal of Engineering Research & Technology* 5: 221-229.
- NEXMO. 2019. Discover how we deliver quality. The Vonage API Platform, Vonage Corporation. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: <https://www.nexmo.com/>
- Olivo-Gutiérrez, M., N. García-Díaz, A. Olivo-Gutiérrez, J. A. Verduzco-Ramírez y J. Villabulos-Gómez. 2018. Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica* 22: 87-95.
- Pelayo-Jimeno, S. 2018. Medidor geolocalizado de pH para control de emergencias medioambientales. Tesis de Maestría: Universitat Oberta de Catalunya. Cayaluya, España. p. 82.
- Pressman, R. S. 2010. *Ingeniería del software. Un enfoque práctico*. 7ª ed. Ed. McGraw Hill. Connecticut, Estados Unidos de América. 777 p.
- Rocabado-Moreno, S. H., S. I. Herrera, M. I. Morales y C. R. Estellés. 2013. M-learning en zonas de recursos limitados. *In: VIII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*. Argentina 2013. pp. 1-9.
- Salim, T. I., T. Haiyunnisa and H. S. Alam. 2016. Design and implementation of water quality monitoring for eel fish aquaculture. *In: International Symposium on Electronics and Smart Devices*. Bandung, Indonesia. pp. 208-213.

- SIMcom. 2011. SIM5215 Hardware Design. Shanghai: SIMCom Wireless Solutions. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: http://www.connectec.com.tw/SPEC/SIM5215&SIM5216_HD_V2.00.pdf
- SIMcom. 2013. SIM900 Hardware Design. Shanghai: SIMCom Wireless Solutions. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900_Hardware%20Design_V2.05.pdf
- Skoog, D. A., D. M. West, F. J. Holler and S. R. Crouch. 2013. Fundamentals of analytical chemistry. Nelson Education. USA.
- Telit. 2017. LE910 V2 Series Datasheet. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: https://www.telit.com/wp-content/uploads/2017/11/Telit_LE910-V2_Datasheet.pdf
- Twilio. 2019. The programmable contact center platform. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: <https://www.twilio.com/>
- Villalobos-Gómez, J. A., N. García-Díaz, M. Olivo-Gutierrez y J. A. Verduzco-Ramírez. 2018. Modelo conceptual de gestión para la trazabilidad en la Industria Acuícola de Pequeña Escala. *Revista de Tecnologías en Procesos Industriales* 2: 16-23.
- Wang, T., Z. Feng and S. Zhou. 2012. Wireless remote marine monitoring terminal design based on SIM900. *Electronic Measurement Technology* 35: 108-111
- YSI. 2002. YSI Modelo 55 Sistema Portable de Medición de Oxígeno Disuelto y Temperatura, Manual de operación. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: <https://www.yei.com/File%20Library/Documents/Manuals/055207-YSI-Model-55-Spanish-Operations-Manual-RevA.pdf>.