Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, 2019 ISSN: 2007-9559

Revista *Mexicana de Agroecosistemas*

Oaxaca, Volumen VI, Número 2, 2019

Foto: *Injerto Pinus oaxacana*

Revista Mexicana de Agroecosistemas

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*

REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol. 6, Núm. 2 Julio – Diciembre 2019, 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, http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/inicio.html, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 20 de diciembre de 2019.

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.

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*

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

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*

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 C. Leyva López (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)

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*

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 http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/normas-rmae.html 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 incluidos como extensos en el **"III Congreso Nacional de Recursos Naturales, Sistemas de Producción e Innovación Tecnológica"**, desarrollado del 22 al 24 de mayo de 2019 en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Además de temáticas referentes al injerto de fenotipos selectos de pinos comerciales en Oaxaca, para el establecimiento de huertos semilleros asexuales.

ATENTAMENTE

Comité editorial

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*

Contenido **Pág.**

Artículos de investigación

1 **EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD SOBRE PÉLETS DE ASERRÍN DE MADERA DE *Pinus* spp. / EFFECT OF THE MOISTURE CONTENT ON Pinus spp. WOOD SAWDUST PELLETS**

Víctor Daniel Núñez Retana[1], Miguel Ángel Escobedo Bretado[2], Miguel Quiñones Reveles[3], Ruiz Aquino Faustino[4], Artemio Carrillo Parra ……..... 136 – 144

2 **SISTEMA DINÁMICO DE CRECIMIENTO DIAMÉTRICO PARA CINCO ESPECIES DE PINOS EN DURANGO, MÉXICO / DYNAMIC DIAMETRIC GROWTH SYSTEM FOR FIVE PINE SPECIES IN DURANGO, MEXICO**

Marcos de Almeida Souza[1], Miguel Ricardo Hernández Velazco[1], João Marcelo Brazão Protázio[2], Jonathan Gabriel Escobar Flores[3], Carlos Antonio López Sanchez[4], José Ciro Hernández Diaz[5], Christian Wehenkel[5§] ……..... 145 – 156

3 **CONOS Y SEMILLAS DE FENOTIPOS SELECTOS DE *Pinus patula* var. *longipedunculata* DE PROCEDENCIAS DE OAXACA, MÉXICO / CONES AND SEEDS OF SELECTED PHENOTYPES OF *Pinus patula* var. *longipedunculata* FROM PROVENANCES OF OAXACA, MEXICO**

Adán Hernández-Hernández[1§], Marco Antonio Reyes-Reyes[3], Gerardo Rodríguez-Ortiz[4], José Raymundo Enríquez del Valle[4], Martín Gómez-Cárdenas[2], Vicente Arturo Velasco-Velasco[4] ……..... 157 – 167

4 **EFECTO DE DIVERSOS LOMBRIHUMUS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y DESARROLLO DE TRASPLANTES DE HORTALIZAS / EFFECT OF DIFFERENT VERMICOMPOST ON SEED GERMINATION AND TRANSPLANT DEVELOPMENT OF VEGETABLES**

Martina Hilda Gracia Valenzuela, Flor Guadalupe Melendrez Cárdenas, Julio César García Urías, Cinthia Vianey García Madero, Cinthia Yuriana García Cabanillas, Joe Luis Arias-Moscoso[§] ……. 168 - 177

5 **GERMINACIÓN Y ADAPTABILIDAD DE GRAMÍNEAS FORRAJERAS EN OAXACA / GERMINATION AND ADAPTABILITY OF FORAGE GRASSES IN OAXACA**

Lizbeth Hernández Sánchez[1], Yuri Villegas-Aparicio[2§], Armando Gomez-Vásquez[3], José Cruz Carrillo Rodríguez[2] …….. 178 – 189

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*

6 **SUSTITUCIÓN DE LA HARINA DE TRIGO POR HARINAS COMPUESTAS E INGREDIENTES FUNCIONALES PARA LA ELABORACIÓN DE PANES LIBRES DE GLUTEN / SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR BY COMPOUND FLOURS AND FUNCTIONAL INGREDIENTS FOR THE PREPARATION OF GLUTEN FREE BREADS**

Luisa Fernanda Castillo Hernández [1], María de la Luz Sánchez Mundo[1§], Víctor Rayo García[1], Selene García Nieves[1], María Esther González Miguel[2], Abril Ramírez Higuera[3] ……. **190 - 201**

Nota Técnica

7 **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE SECADO CON MICROONDAS EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL BAGAZO DE MARAÑÓN / EVALUATION OF THE DRYING EFFECT WITH MICROWAVE IN THE BIOACTIVE COMPOUNDS OF BAGAZO OF CASHEW**

Alfredo Morales Cruz[1§], Abril Higuera Ramírez[2], Víctor Rayo García[1], Yanet Chávez Reyes[1] ……. **202 - 211**

8 **SISTEMA WEB DE SOPORTE DE DECISIONES BASADO EN DATOS FÍSICO-QUÍMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE ORNAMENTALES / DECISION-MAKING WEB SYSTEM BASED ON RECORDS OF PHYSICAL AND CHEMICAL DATA FOR ORNAMENTAL PLANTS PRODUCTION**

Mónico Joel Sánchez Velasco[1], Nicandro Farías Mendoza[2], Patricia Elizabeth Figueroa Millán[2§], Juan García Virgen[2], J. Reyes Benavides Delgado[2] …….. **212 - 224**

9 **SISTEMA DE INFORMACIÓN, EVALUACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS / INFORMATION SYSTEM, EVALUATION AND ENVIRONMENTAL EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

Juan José Bedolla Solano[1§], Ramón Bedolla Solano[2], Carolina Astudillo Hernández[1], Rolando Palacios Ortega[1] …….. **225 - 236**

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*

DIRECTORIO

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

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

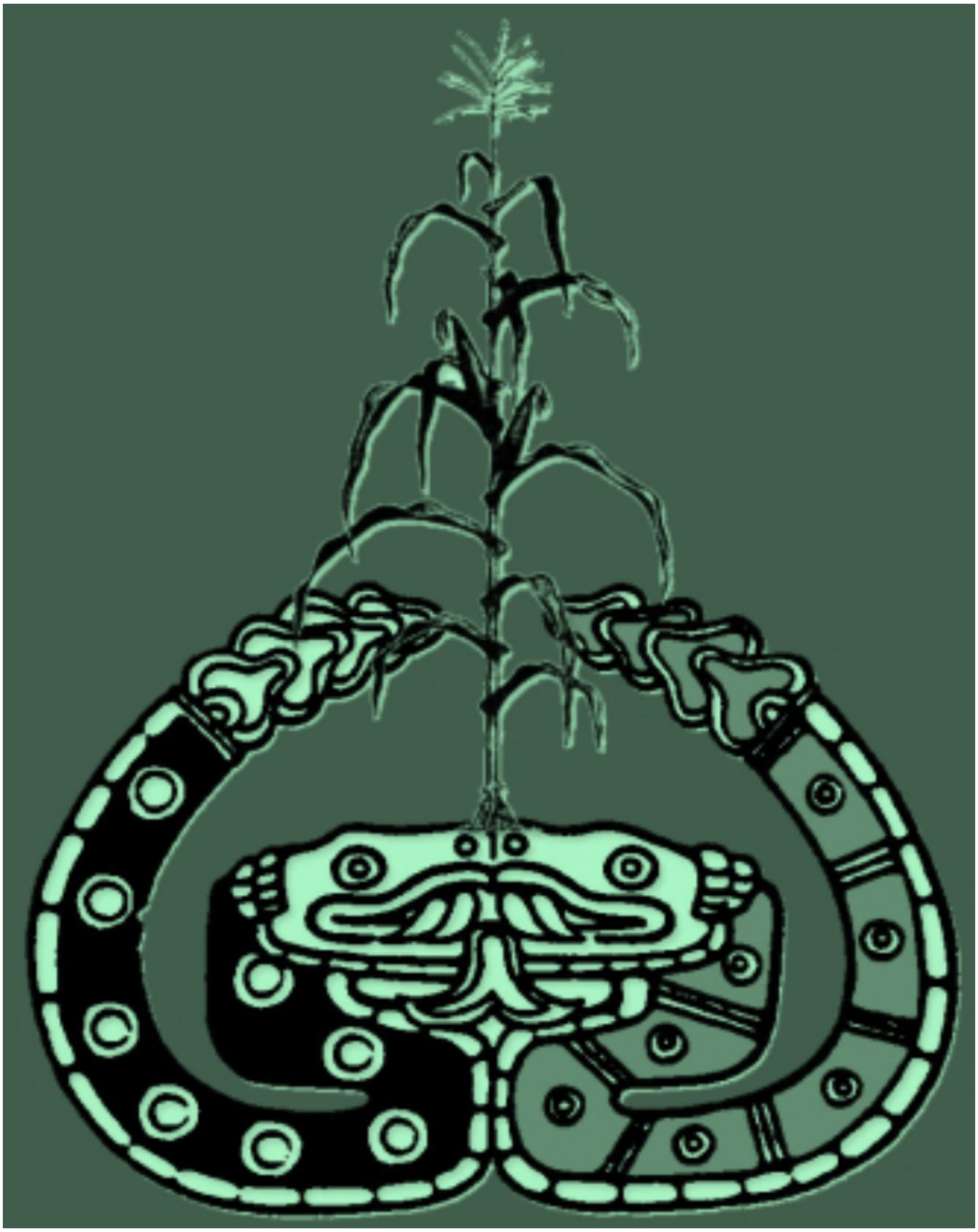
Ing. Sergio F. Garibay Armenta- Director (ITVO)

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
http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/inicio.html

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 6 Núm. 2 Julio – Diciembre, **2019** *ISSN: 2007-9559*



EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD SOBRE PÉLETS DE ASERRÍN DE MADERA DE *Pinus* spp[1]

[EFFECT OF THE MOISTURE CONTENT ON *Pinus* spp. WOOD SAWDUST PELLETS]

Víctor Daniel Núñez Retana[1], Miguel Ángel Escobedo Bretado[2], Miguel Quiñones Reveles[3], Ruiz Aquino Faustino[4], Artemio Carrillo Parra[5§]

[1]Estudiante de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Carretera Durango-Mezquital Km. 11.5, CP 34307, Durango, Dgo. México. [2]Profesor-investigador, Facultad de Ciencias Químicas (UJED) Av. Veterinaria s/n, Circuito Universitario, CP 34120, Durango, Dgo. México. [3]Estudiante de Maestría en Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), Mesa del Tecnológico s/n, ITES, El Salto, Dgo., México. [4]Profesor-Investigador de la Universidad de la Sierra Juárez (UNSIJ), Av. Universidad s/n, Ixtlán de Juárez 68725 Oaxaca, México. [5]Profesor-Investigador del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, (UJED), Carretera Durango-Mezquital Km. 11.5, CP 34307, Durango, Dgo. México. [§]Autor para correspondencia: (acarrilloparra@ujed.mx).

RESUMEN

La calidad de pélets de aserrín es resultado del proceso de densificación y de las características del aserrín, de las cuales, el contenido de humedad es uno de los parámetros más importantes que determinan la durabilidad durante el transporte y almacenamiento. Por lo anterior, el objetivo en este trabajo fue caracterizar y evaluar el efecto de algunas propiedades físicas y energéticas y absorción de humedad del aserrín de *Pinus* spp. sobre la durabilidad de los pélets. Los pélets se elaboraron con aserrín con contenidos de humedad de 7, 9 y 11%, y se sometieron a análisis proximales y de poder calorífico. Se determinó densidad básica y a granel, se estimó el índice de resistencia al impacto, pruebas de dureza y absorción de humedad a los pélets. Los pélets elaborados con aserrín al 7% presentaron mayor densidad básica y la densidad a granel en todos los tratamientos fue mayor a 600 kg m^{-3}. Por otro lado, los elaborados con aserrín al 9% mostraron mayor calidad en la prueba de durabilidad, mientras que en la prueba de resistencia al impacto fueron al 7%. La absorción de humedad no presentó diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$).

Palabras clave: análisis proximales, biocombustibles sólidos, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

The quality of sawdust pellets is the result of the pelleting process and sawdust characteristics, of which the moisture content is one of the most important parameters that determine the durability. Therefore, the objective in this work was to characterize and evaluate the effect of the physical and energetic properties and moisture uptake of *Pinus* spp. sawdust on the strength and durability of the pellets made from it. The pellets were made with sawdust with moisture contents of 7, 9 and 11%, and were subjected to proximal and calorific analysis. Basic density and bulk density tests were performed, the impact resistance index, hardness test and moisture absorption of the pellets were estimated. The pellets made with sawdust at 7% had higher basic density and the

[1] Recibido: 12-abril-2019
Aceptado: 14-agosto-2019

bulk density in all treatments was greater than 600 kg m^{-3}. On the other hand, those made with 9% sawdust showed higher quality in the durability test, while in the impact resistance test were at 7%. The absorption of moisture in the pellets did not present significant statistical differences ($p>0.05$).

Index words: Proximal analysis, solid biofuels, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de energías renovables ha adquirido mayor atención en los últimos años debido al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, y como alternativa en la reducción de estos se encuentran los pélets. Estos son biocombustibles hechos de biomasa de diferentes fuentes pulverizada con o sin aditivos, tienen forma cilíndrica, diámetros comprendidos entre 6-10 mm y longitudes de 5-40 mm (Nguyen *et al.*, 2015). La calidad está determinada por las características de la materia prima y las condiciones de producción (Sgarbossa *et al.*, 2014), tales como el contenido de humedad, material volátil, contenido de cenizas, poder calorífico, tamaño de partícula, presión y temperatura de los rodillos, etc., que a su vez son evaluadas por algunas normas como las UNE-EN, que determinan las especificaciones y requisitos del material para cumplir como biocombustible de calidad.

De esta manera, el contenido de humedad es un parámetro que puede y debe ser optimizado (Lerma-Arce *et al.*, 2017; Whittaker y Shield, 2017), se considera que un alto contenido de humedad aumenta los costos y el tiempo de secado del material base (si se realiza al aire libre), además que el material se vuelve resbaladizo, no se puede compactar con facilidad y la dureza del producto final será baja (Lehtikangas, 2001). De manera contraria, si el contenido de humedad es demasiado bajo, la fricción entre el aserrín y la matriz será demasiado alta, lo que provocará un aumento del consumo de energía, incluso que el aserrín en la matriz se queme y probablemente los orificios de la matriz se tapen (Relova *et al.*, 2009). Por otra parte, la densidad y durabilidad mecánica son parámetros de calidad de gran importancia para los pélets, desde el rol que juega la humedad en el proceso de densificación hasta la influencia sobre los mecanismos de enlace en los mismos (Samuelsson *et al.*, 2012).

La densidad está relacionada con el espacio requerido para el almacenamiento y transporte del material (Liu *et al.*, 2013; Stasiak *et al.*, 2017). Por otro lado, la durabilidad es una de las propiedades mecánicas más importantes, baja durabilidad resulta de partículas de aserrín más finas (Filbakk *et al.*, 2011a), las cuales también pueden causar problemas durante el almacenamiento, transporte y combustión (Kaliyan y Morey, 2009). Por lo que el objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades físicas y energéticas del aserrín de *Pinus* spp. así como evaluar el efecto del contenido de humedad sobre la fuerza y durabilidad de los pélets elaborados a partir del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del material

El aserrín fue obtenido de un aserradero ubicado en la ciudad de Durango, se trasladó al Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera

perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango, donde fue extendido para su secado bajo condiciones ambientales.

Preparación y caracterización de la muestra

Un kilogramo de aserrín fue tamizado a un tamaño de partícula ≥ 250 mm para realizar análisis de contenido de humedad de acuerdo con la norma EN-18134-3 (2016), material volátil según la EN-18123 (2016) y cenizas según la norma EN-18122 (2016). El carbono fijo se obtuvo de restar la suma del material volátil, la humedad y el contenido de cenizas de 100% (Carrillo-Parra *et al.*, 2018). El poder calorífico se determinó en un calorímetro isoperibólico marca LECO modelo AC600 siguiendo la norma EN-14918 (2011). El resto del material fue tamizado a un tamaño de partícula ≤ 3 mm y acondicionado con un aspersor de agua hasta obtener contenidos de humedad de 7, 9 y 11% (la humedad se determinó con un medidor de grano TK100G). El material fue peletizado por medio de una máquina ZLSP-R300 (Figura 1).

Figura 1. Pélets elaborados con aserrín a contenido de humedad de 7, 9 y 11% (izquierda a derecha).

Los pélets se sometieron a pruebas de densidad básica y densidad a granel de acuerdo a la norma EN-17828 (2016); la estimación a la resistencia al impacto se realizó según lo propuesto por Richards (1990), en la que 20 pélets son soltados al suelo a una altura de 1.83 m y se calcula el índice de resistencia al impacto (IRI): IRI = (100 x *N*)/*n*, donde *N* es el número de caídas y *n* es el número de piezas después de *N* caídas; pequeñas piezas menores al 5% del peso original no fueron consideradas para dicho cálculo. También, por medio del método antes descrito se calculó la retención de masa (dureza) de los mismos.

La absorción de humedad de los pélets se determinó siguiendo el procedimiento propuesto por Liu *et al.* (2014) a una temperatura de 25ºC y una humedad relativa del 45%. El peso de tres pélets elaborados a partir de cada contenido de humedad del aserrín (7, 9 y 11%) se registró cada 15 minutos durante una hora y después cada hora durante ocho horas. Se midieron tres repeticiones para cada contenido de humedad (7, 9 y 11%).

Por último, se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a todos los tratamientos con un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis proximales

El aserrín de *Pinus* spp. presentó un contenido de humedad del 4.8%, el cual fue menor al rango de 5.5 a 6.6% reportado por Filbakk *et al.* (2011b). El contenido de humedad es una propiedad que debe ser considerada con cuidado debido a que el agua tiene un rol crucial en el proceso de

densificación (Samuelsson *et al.*, 2009), siendo esta una de las propiedades físicas más importantes de los pélets. El material volátil fue de 86.36% y fue superior al reportado por autores como Forero-Nuñez *et al.* (2015) con 76.82% y Demirbas (2003) con 66.60%. Así, bajos valores de material volátil son atribuidos a un debilitamiento de las fuerzas interfaciales, de adhesión y cohesión, puentes sólidos y fuerzas de enclavamiento (Graham *et al.*, 2016), lo que dificultará el encendido del biocombustible y se vuelva una desventaja. El contenido de cenizas del aserrín fue de 0.53% y está en conformidad con Serret-Guasch *et al.*, (2016) quienes mencionan que de 0.5 a 2.0% se encuentra el contenido de cenizas para residuos madereros. El contenido de cenizas es un parámetro que nos ayuda a determinar de manera rápida la calidad del biocombustible, por lo que altos contenidos de ceniza son asociados a una reducción en el contenido energético y pueden afectar negativamente la combustión (Lu *et al.*, 2014). El carbono fijo fue de 8.30% y fue menor al reportado por Serret-Guasch *et al.* (2016) en un rango de 16.70% a 18.62%. La importancia de este parámetro radica en que es el más importante en términos de energía potencial, ya que altos contenidos de carbono fijo son asociados a altos poderes caloricos (Forero-Nuñez *et al.*, 2015). Por último, el poder calorífico del aserrín fue de 20.41 MJ kg^{-1} y estuvo por encima del límite establecido por la norma EN 14961-2 (2012), por lo que puede ser usado como materia prima para su transformación en biocombustible sólido densificado para uso no industrial.

Caracterización y evaluación de pélets

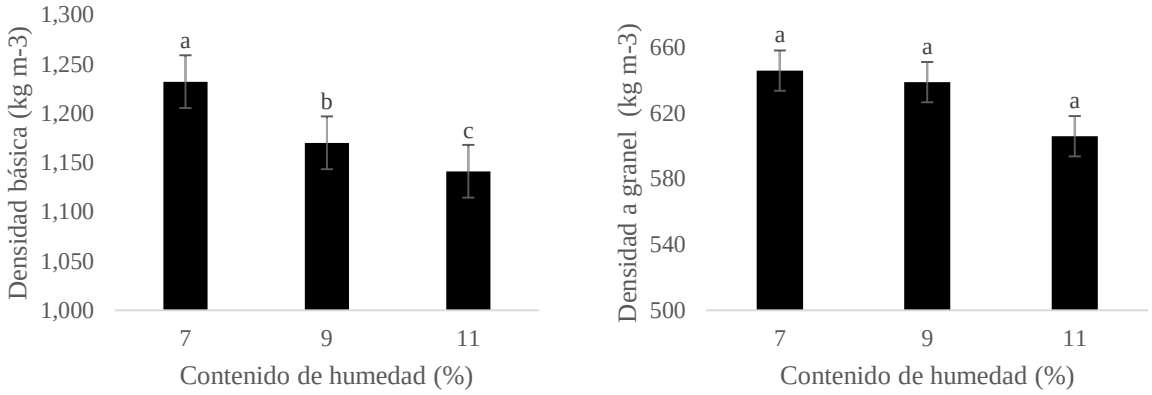
La densidad básica de los pélets presentó diferencias estadísticas significativas entre los valores de contenido de humedad del aserrín (Cuadro 1, Figura 2a). El mayor valor lo presentaron los pélets elaborados con aserrín al 7%. La menor humedad incrementa la fricción durante el peletizado, esto afecta el movimiento de las partículas, lo que aumenta la compresión y la densidad (Carone *et al.*, 2011). Los valores encontrados de la densidad básica de los pélets fueron menores a lo reportado por Bergström *et al.* (2008) quienes obtuvieron valores en un rango de 1,259 kg m^{-3} a 1,276 kg m^{-3}, y dentro del rango reportado por Gaitán-Alvarez *et al.* (2017). Ésto puede ser atribuido a los diferentes tamaños de partícula, ya que es generalmente aceptado que el tamaño de partícula ejerce influencia sobre la densidad y durabilidad de los pélets producidos (Harun y Afzal, 2016).

Cuadro 1. Valores promedio de las propiedades físicas y energéticas de pélets de *Pinus* spp.

Contenido de humedad (%)	Densidad básica (kg m^{-3})	Densidad a granel (kg m^{-3})	Dureza (%)	Índice de resistencia al impacto (IRI)	Poder calorífico (MJ kg^{-1})
7	1,232	646	28.25	125.00	19.15
9	1,170	639	39.82	96.67	19.10
11	1,141	606	35.12	106.67	19.18

Por otra parte, la densidad a granel (Figura 2b) no mostró diferencias estadísticas significativas entre contenidos de humedad (Cuadro 1), sin embargo, la densidad de los pélets de todos los tratamientos fue mayor a 600 kg m^{-3} establecido como mínimo aceptable por la norma EN-17828 (2016). En general, la densidad a granel es mucho más baja que la densidad básica, esto debido a los espacios vacíos intergranulares (Antwi-Boasiako y Acheampong, 2016; Şen *et al.*, 2016). Hay que tomar en cuenta que la densidad es una propiedad física que no puede ser modificada (Relova *et al.*, 2009) ya que resulta de la estructura física inherente de la materia prima (Lam *et al.*, 2008),

por lo que es una característica peculiar de cada material al ser procesado (Relova *et al.*, 2009). Järvinen y Agar (2014) reportaron valores de densidad a granel en un rango de 556 a 702 kg m^{-3} similares a los encontrados en este trabajo.

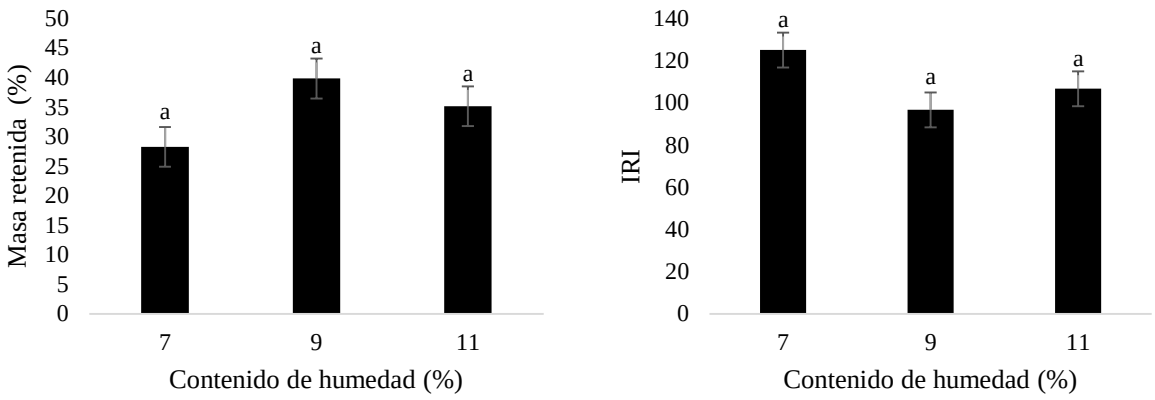


(a) **(b)**

Figura 2. a) Densidad básica y b) Densidad a granel en pélets de *Pinus* spp. (Barras con mismas letras son similares estadísticamente de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis, p>0.05).

Los resultados de durabilidad de los pélets determinados mediante las pruebas de "retención de masa" y "resistencia al impacto" por el método de caída fueron diferentes entre ambas pruebas, en la prueba de retención de masa los pélets de mayor calidad fueron los elaborados con aserrín al 9% (Figura 3a), mientras que en la prueba de resistencia al impacto fueron los pélets elaborados con aserrín al 7% (Figura 3b). Stasiak *et al.* (2017) encontraron porcentajes de durabilidad de un 20 a 60%, los cuales son consistentes a lo reportado en el presente trabajo para el método de caída. Contrario a lo reportado por González-Martínez (2013), quien menciona que bajo presiones bajas se obtienen resultados aceptables para la prueba de resistencia al impacto. De lo anterior se deduce que cuando el contenido de humedad es bajo (7%) la fricción entre el aserrín y la matriz será demasiado alta, por lo que la presión entre los rodillos y el disco durante la elaboración de los pélets será alta, y en este trabajo bajo esas condiciones se encontraron los mejores índices. Sin embargo, en ambas pruebas los resultados no mostraron diferencias estadísticas (p>0.05) entre tratamientos. Comportamiento similar a lo descrito por Dávalos-Sotelo *et al.* (2010) para probetas de madera de 10 especies de encino, el cual es atribuido a que la resistencia al impacto es una función directa de la densidad básica de la madera.

La absorción de humedad de los pélets contra el tiempo de exposición es presentado en la Figura 4. En general, la absorción de humedad fue aumentando conforme transcurría el tiempo de exposición hasta mantenerse constante a los 300 minutos. Sin embargo, es importante mencionar que una exposición prolongada de los pélets a ambientes de temperaturas y humedades altas producen hinchamiento, lo que resulta en grietas en los pélets (Graham *et al.*, 2016). Comportamiento similar fue descrito por Bergström *et al.* (2008) y Liu *et al.* (2014). Gaitán-Alvarez *et al.* (2017) reportaron porcentajes de absorción de humedad en un rango de 6 a 13% en un lapso de tiempo de 8 a 12 minutos de exposición.



(a) **(b)**

Figura 3. a) Retención de masa y b) Índice de Resistencia al Impacto en pélets de *Pinus* spp. (Barras con mismas letras son similares estadísticamente de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, p>0.05).

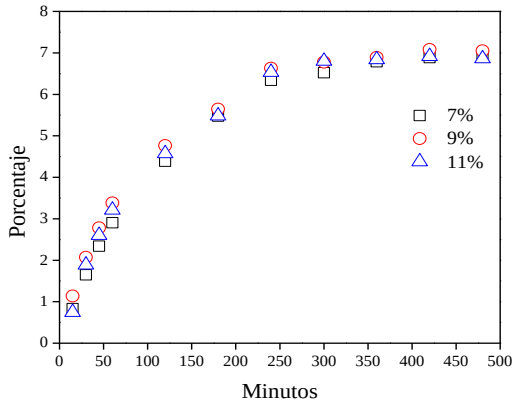


Figura 4. Absorción de humedad en pélets de *Pinus* spp.

La absorción de humedad de los pélets no presentó diferencias estadísticas significativas (p>0.05). Sin embargo, fue ligeramente mayor en los pélets al 9%, esto puede ser atribuido a la menor densidad de los mismos, probablemente valores bajos de densidad permiten que las moléculas de agua puedan penetrar más facilmente la cubierta formada durante el proceso de densificación, lo anterior se corroborra al observar los pélets elaborados con aserrín al 7% (más densos), los cuales presentaban una cubierta más brillosa y de un color más obscuro. Lo anterior está en contra con lo reportado por Rhén *et al.* (2007), quienes encontraron mayor absorción de humedad en muestras con el menor contenido de humedad.

CONCLUSIONES

Los pélets elaborados con aserrín al 7% de contenido de humedad presentan mayor densidad básica resultado de la reducción de espacios vacíos entre partículas. La densidad a granel en los

tres tratamientos fue mayor a 600 kg m^{-3} y no se modifican al cambiar el contenido de humedad de partículas. Los pélets elaborados con aserrín al 9% presentaron mayor resistencia mecánica (mayor porcentaje de masa retenida), atribuido a que el aserrín se encontraba en las condiciones óptimas para la densificación. Para la prueba de resistencia al impacto, los pélets fabricados bajo un contenido de humedad al 7% presentaron los valores más altos, atribuidos a la alta presión causada por el bajo contenido de humedad. La absorción de humedad en los pélets no presentó diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$). La densificación es un proceso en el que ocurren gran variedad de procesos físicos y químicos, por lo que sería importante realizar pruebas químicas a las diferentes fuentes de biomasa antes de aplicar los tratamientos y posteriormente a los pélets para y poder explicar de manera más adecuada los procesos mecánicos que acurren durante el peletizado.

LITERATURA CITADA

Antwi-Boasiako, C. and B. B. Acheampong. 2016. Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities. Biomass and Bioenergy 85: 144–152.

Bergström, D., R. Israelsson, M. Öhman, S. A. Dahlqvist, R. Gref, C. Boman and I. Wästerlund. 2008. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. Fuel Processing Technology 89: 1324-1329.

Carone, M. T., A. Pantaleo and A. Pellerano. 2011. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. Biomass and Bioenergy 35: 402-410.

Carrillo-Parra, A., H. M. Ngangyo, S. Colín-Urieta, P. R. Foroughbakhch, J. G. Rutiaga-Quiñones and F. Correa-Méndez. 2018. Physical, mechanical and energy characterization of wood pellets obtained from three common tropical species. PeerJ 6: 16.

Dávalos-Sotelo, R., C. P. Pérez-Olvera y G. M. Bárcenas-Pazos. 2010. Resistencia al impacto de la madera de diez encinos (*Quercus*) mexicanos. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16: 215-226.

Demirbas, A. 2003. Relationships between lignin contents and fixed carbon contents of biomass samples. Enery Conversion and Management 44: 1481-1486.

EN 14918. 2011. Determinación del poder calorífico. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 60 p.

EN 14961-2. 2012. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Pélets de madera para uso no industrial. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 14 p.

EN 17828. 2016. Determinación de la densidad a granel. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 14 p.

EN 18122. 2016. Determinación del contenido de ceniza. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 12 p.

EN 18123 (2016). Determinación del contenido en materia volátil. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 15 p.

EN 18134-3. 2016. Determinación del contenido de humedad, Método de secado en estufa-Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 11 p.

Filbakk, T., G. Skjevrak, O. Høibø, J. Dibdiakova, and R. Jirjis. 2011a. The influence of storage and drying methods for Scots pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. Fuel Processing Technology 92: 871-878.

Filbakk, T., R. Jirjis, J. Nurmi and O. Høibø. 2011b. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. Biomass and Bioenergy 35: 3342-3349.

Forero-Nuñez, C. A., J. Jochum and F. E. Sierra. 2015. Effect of particle size and addition of cocoa pod husk on the properties of sawdust and coal pellets. Ingeniería e Investigación 35: 17-23.

Gaitán-Alvarez, J., R. Moya, A. Puente-Urbina and A. Rodriguez-Zuñiga. 2017. Physical and Compression Properties of Pellets Manufactured with the Biomass of Five Woody Tropical Species of Costa Rica Torrefied at Different Temperatures and Times. Energies 10: 1205.

González-Martínez, I. D. 2013. Potencial del aserrín generado en la transformación primaria de *Pinus patula* para la fabricación de pélets. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 116 p.

Graham, S., I. Ogunfayo, M. R. Hall, C. Snape, W. Quick, S. Weatherstone and C. Eastwick. 2016. Changes in mechanical properties of wood pellets during artificial degradation in a laboratory environment. Fuel Processing Technology 148: 395-402.

Harun, N. Y. and M. T. Afzal. 2016. Effect of particle size on mechanical properties of pellets made from biomass blends. Procedia Engineering 148: 93–99.

Järvinen, T. and D. Agar. 2014. Experimentally determined storage and handling properties of fuel pellets made from torrefied whole-tree pine chips, logging residues and beech stem wood. Fuel 129: 330-339.

Kaliyan, N. and R. V. Morey. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. Biomass and Bioenergy 33: 337–359.

Lam P. S., S. Sokhansanj, X. Bi, C. J. Lim, L. J. Naimi, M. Hoque, S. Mani, A. R. Womac, X. P. Ye and S. Narayan. 2008. Bulk density of wet and dry wheat straw and switchgrass particles. Applied Engineering in Agriculture 24: 351–358.

Lehtikangas, P. 2001. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy 20: 351–360.

Lerma-Arce, V., J. V. Oliver-Villanueva and G. Segura-Orenga. 2017. Influence of raw material composition of Mediterranean pinewood on pellet quality. Biomass and Bioenerg 99: 90–96

Liu, Z., A. Quek and R. Balasubramanian. 2014. Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars. Applied Energy 113: 1315-1322.

Liu, Z., B. Fei, Z. Jiang, Z. Cai and Y. Yu. 2013. The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw. Renewable Energy 55: 1–5.

Lu, D., L. G. Tabil, D. Wang, G. Wang and S. Emami. 2014. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. Biomass and Bioenergy 69: 287–296.

Nguyen, Q.N., A. Cloutier, A. Achim and T. Stevanovic. 2015. Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. Biomass and Bioenergy 80: 338–349.

Relova, I., S. Vignote, M. A. León and Y. Ambrosio. 2009. Optimisation of the manufacturing variables of sawdust pellets from the bark of *Pinus caribea* Morelet: Particle size, moisture and pressure. Biomass and Bioenergy 33: 1351-1357

Rhén, C., R. Gref, M. Sjöström and I. Wästerlund. 2007. Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets. Fuel Processing Technology 87: 11-16.

Richards, S. R. 1990. Physical testing of fuel briquettes, Fuel Processing Technology 25: 89–100.

Samuelsson, R., M. Thyrel, M. Sjöström and T. A. Lestander. 2009. Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet quality. Fuel Processing Technology 90: 1129-1134.

Samuelsson, R., S. H. Larsson, M. Thyrel and T. A. Lestander. 2012. Moisture content and storage time influence the bindings mechanisms in biofuel wood pellets. Applied Energy 99: 109-115.

Şen, A., C. Leite, L. Lima, P. Lopes and H. Pereira. 2016. Industrial valorization of *Quercus cerris* bark : Pilot scale fractionation. Industrial Crops Products 92: 42–49.

Serret-Guasch, N., G. Giralt-Ortega y M. Quintero-Ríos. 2016. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. Tecnología química 36: 468-479.

Sgarbossa, A., C. Costa, P. Menesatti, F. Antonucci, F. Pallotino, M. Zanetti, S. Grigolato and R. Cavalli. 2014. Colorimetric patterns of wood pellets and their relations with quality and energy parameters. Fuel 137: 70–76.

Stasiak, M., M. Molenda, M. Ba, J. Wi, P. Para and E. Gondek. 2017. Mechanical and combustion properties of sawdust-Straw pellets blended in different proportions. Fuel Processing Technology 156: 366–375.

Whittaker, C. and I. Shield. 2017. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability - A review. Renewable Sustainable Energy Reviews 71: 1–11.

SISTEMA DINÁMICO DE CRECIMIENTO DIAMÉTRICO PARA CINCO ESPECIES DE PINOS EN DURANGO, MÉXICO[1]

[DYNAMIC DIAMETRIC GROWTH SYSTEM FOR FIVE PINE SPECIES IN DURANGO, MEXICO]

Marcos de Almeida Souza[1], Miguel Ricardo Hernández Velazco[1], João Marcelo Brazão Protázio[2], Jonathan Gabriel Escobar Flores[3], Carlos Antonio López Sanchez[4], José Ciro Hernández Diaz[5], Christian Wehenkel[5§]

[1]Alumno de la Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez de Estado de Durango (UJED), Durango, México. [2]Profesor-investigador, Universidade Federal do Pará, Faculdade de Estatística, Belém, Pará, Brasil. [3]Profesor-investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango, Durango, México. [4]GIS- Forest Group, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, Mieres, España. [5]Profesor-investigador, (UJED), Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Durango, México. [§]Autor para correspondencia: (wehenkel@ujed.mx).

RESUMEN

Los modelos de crecimiento son herramientas que permiten representar la producción de madera en un período de tiempo dado, para obtener pronósticos precisos y determinar la productividad, en función de tratamientos silvícolas, variables climáticas, características del suelo, etc. Durango cuenta con una de las principales reservas forestales arboladas de México, principalmente de especies de pinos. Sin embargo, en las zonas de aprovechamiento el crecimiento es variable entre rodales, por lo cual es importante implementar modelos dinámicos, como por ejemplo a través de la metodología de diferencias algebraicas generalizadas (GADA), para obtener estimaciones precisas del crecimiento. El objetivo en este estudio fue desarrollar la aplicación, no reportada en la literatura, de un caso particular del método GADA con dos parámetros a partir del modelo de Weibull, útil para estimar el crecimiento diamétrico en función del tiempo. El estudio se realizó en seis parcelas de 0.25 ha en los bosques mixtos e irregulares de Durango, con un total de 198 individuos distribuidos entre cinco especies de *Pinus*. El modelo desarrollado se adaptó y estimó con precisión a los datos en estudio, con parámetros significativos al 1%, además de mostrar un RMSE y R^2 aceptables, con estimaciones cercanas de 3.3 cm y 83% en promedio, respectivamente; y produjo curvas polimórficas con buen ajuste a los datos, estimando índices de sitio confiables. De esta manera, se concluyó que el modelo desarrollado es válido, apto y que muestra resultados satisfactorios para este tipo de estimación.

Palabras clave: Desarrollo de ecuaciones, modelos flexibles, manejo forestal, sostenible.

ABSTRACT

Growth models are tools that allow, for example, represent wood production in a certain period of time, to obtain precise forecasts to determine productivity, depending on the silvicultural treatments, climatic variables, soil characteristics, etc. Durango has one of the main forest

[1] Recibido: 26-abril-2019
Aceptado: 30-noviembre-2019

reserves in Mexico, mainly of pine species. However, in logging areas, growth is variable among stands, so it is important to implement dynamic models, such as through the Generalized Algebraic Difference Approach (GADA) methodology, to obtain accurate growth estimates. The objective of this study was to develop one application, not found in the literature, of a particular case of the GADA method with two parameters, from the Weibull model, useful to estimate the growth of the diameter as a function of time. The study was carried out in six plots of 0.25 ha in the mixed and irregular forests of Durango, with a total of 198 individuals distributed in five species of *Pinus*. The model developed was adapted and it estimated with precision the data under study, with parameters significant at 1%, in addition to acceptable RMSE and R^2, whose estimates were close to 3.3 cm and 83% on average, respectively; and yielded polymorphic curves well-adjusted to the data, obtaining reliable site indexes. Thus, it was concluded that the model developed is valid, adequate and that it shows satisfactory results for this type of estimation.

Index words: Equation development, flexible models, forest management, sustainable.

INTRODUCCIÓN

Los modelos de crecimiento son abstracciones matemáticas de la dinámica natural de las estructuras forestales, que permiten estimar, entre otros parámetros, el crecimiento y la mortalidad, tanto en composición como en estructura (Vanclay, 1994). Así, en términos numéricos, se puede estimar cuánto puede crecer y producir un rodal en un período de tiempo determinado (Santiago-García *et al.*, 2017). Por lo tanto, estas predicciones precisas de los niveles de crecimiento de diámetro, altura y otras características dendrómetricas de los árboles, son necesarias para el manejo forestal sustentable (Hall y Bailey, 2001, siendo utilizadas para la evaluación de tratamientos silvícolas y la planificación general del manejo (García, 1994).

Las proyecciones de crecimiento se realizan a través del método estadístico de regresión no lineal, donde se aplican modelos formados por parámetros que representan las características de la población estudiada, e.g. el crecimiento máximo y la tasa de crecimiento, donde cada parámetro se estima a partir de una muestra de la población en estudio. Las condiciones ambientales, como la calidad del sitio y la competencia debida a la densidad de los árboles, tienen un efecto sobre el crecimiento en diámetro y volumen y, sobre el tiempo requerido para alcanzar una determinada producción (Del Río *et al.*, 2016). Por lo tanto, es importante implementar modelos dinámicos flexibles que permitan modelar dichas variables para obtener respuestas relevantes con tasas de error reducidas, a fin de obtener mejores y más realistas estimaciones de las relaciones paramétricas de interés.

En este sentido, Bailey y Clutter (1974) desarrollaron la aplicación de las Diferencias Algebraicas (ADA), donde uno de los parámetros del modelo se caracteriza como variable dependiente. Cieszewski y Bailey (2000) desarrollaron una generalización (GADA), a partir de un modelo base también permite generar curvas de sitio más flexibles y dinámicas, en donde dos o más parámetros se consideran dependientes.

Estas metodologías se aplican en estudios forestales en varios países. Nunes *et al.* (2011) utilizaron la metodología GADA para modelar el crecimiento de la altura dominante de pino marítimo (*Pinus pinaster* Ait.), con parámetros que dependen de las variables de suelo y clima,

mientras que Duan *et al.* (2018) trabajaron con los modelos Chapman-Richards y Weibull, entre otros, para estimar la productividad local en rodales naturales irregulares en el noreste de China. Para un sistema dinámico de crecimiento y producción de madera, Santiago-García *et al.* (2015) aplicaron a *Pinus patula* Schl. et Cham. el modelo GADA con un enfoque a nivel de plantación, en bosques de la misma edad en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

En México, las mayores reservas forestales de asociaciones de pino y pino-encino se encuentran en el estado de Durango (CONAFOR, 2012). Las aplicaciones de los modelos de crecimiento de estas asociaciones forestales usan principalmente ecuaciones GADA con tres o más parámetros, la mayoría de los cuales se basan en el modelo Chapman-Richards de tres parámetros. En este sentido, se necesitan alternativas para esta metodología, sobre todo de otros modelos que contengan en su versión final dos parámetros, y tengan aplicabilidad más directa, menos costosa y produzcan resultados satisfactorios, sobre el comportamiento y potencial productivo de las especies de pino.

En el presente estudio se buscó responder a la pregunta: ¿Es posible desarrollar otro modelo GADA a partir del modelo Weibull, que contenga menos parámetros y que tenga buen ajuste para estimar el crecimiento diamétrico? En ese sentido, el objetivo en este estudio fue evaluar y comparar el ajuste del modelo de crecimiento de Chapman-Richards con el de Weibull, cuya forma de la ecuación se describe en Panik (2014). También se buscó evaluar si este segundo modelo tiene un ajuste similar al primero (que es el más utilizado en este tipo de aplicaciones), y posteriormente desarrollar un nuevo modelo GADA, con dos parámetros, a partir de la ecuación de Weibull, y demostrar que es adecuado para hacer predicciones de interés. Los resultados de este trabajo tienen una amplia aplicabilidad, ya que no existen modelos GADA que permitan proyectar la evolución de los parámetros de interés en el tiempo, con buenos ajustes, utilizando sólo dos parámetros en modelos de crecimiento para especies de pinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó entre septiembre y noviembre de 2017, en un gradiente longitudinal entre los 2,021 y los 2,704 m, en un transecto con dirección suroeste-noreste, en los bosques mixtos e irregulares de la Sierra Madre Occidental de Durango. Se establecieron seis parcelas de 50 x 50 m (0.25 ha), equidistantes cada 17,000 m en el transecto, ubicados en las coordenadas siguientes: punto 1, 23°55’50,55’’N 104°55’50,51’’W; punto 2, 23°53’21,27’’N 105°05’30,01’’W; punto 3, 23°51’03,14’’N 105°15’11,70’’W; punto 4, 23°46’21,43’’N 105°23’49,05’’W; punto 5, 23°42’26,06’’N 105°32’46,19’’W; y punto 6, 23°37’07,21’’N 105°40’55,33’’W (Figura 1).

A los árboles de cada parcela se les identificó por especie y se le midió el diámetro a la altura del pecho (DAP). Con un taladro de Pressler se extrajo una viruta a la altura de 1.30 m desde el nivel del suelo, donde se contaron los anillos de crecimiento para estimar la edad y el incremento en diámetro (Figura 1). Aquellas especies cuyo número total de individuos entre todas las parcelas fue menor que 10, no fueron considerados en el modelado.

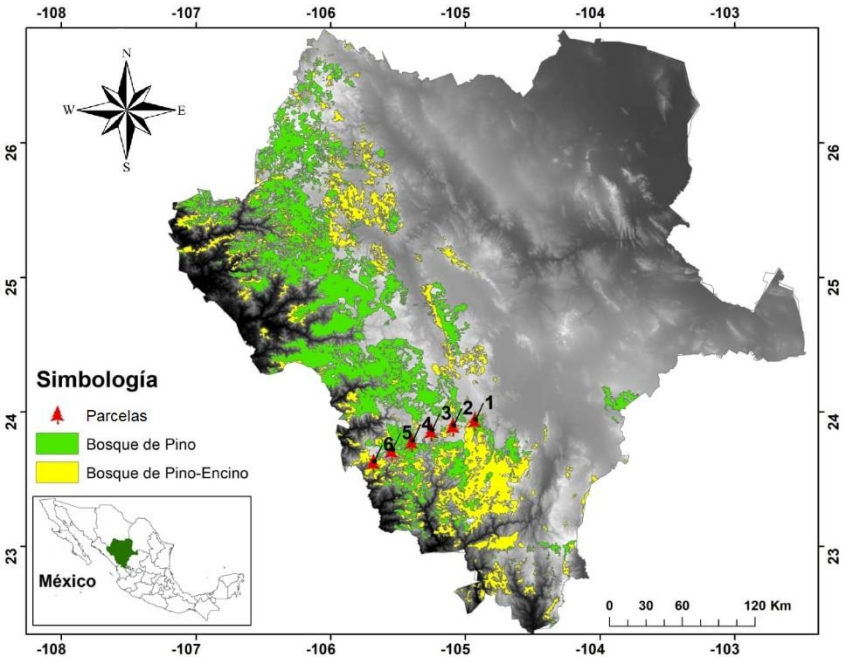


Figura 1. Localización de las seis parcelas en la Sierra Madre Occidental de Durango, México.

Modelos de crecimiento

Se adoptaron los modelos de Chapman-Richards (ecuación 1) y Weibull (ecuación 2) para verificar y comparar sus ajustes, para posteriormente desarrollar la nueva ecuación dinámica, basado en este último modelo.

$$d(t) = \theta_1(1-e^{-\theta_2 t})^{\theta_3} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$d(t) = \theta_1 - \theta_2 e^{-\theta_3 t} \quad \text{Ec. (2)}$$

donde $\boldsymbol{\theta_1}$, $\boldsymbol{\theta_2}$ y $\boldsymbol{\theta_3}$ son los respectivos parámetros de los modelos; ***d*** representa el DAP y ***t*** denota la edad de los pinos (años).

Aplicación de las diferencias algebraicas generalizadas (GADA)

El concepto conocido como ADA, trabaja con un parámetro del modelo base escogido a priori como variable dependiente. Por otro lado, el método GADA aparece cuando se asume que dos o más parámetros del modelo base son simultáneamente específicos del sitio de estudio. Los modelos derivados de GADA son invariables en términos de edad y trayectoria, es decir, en este caso el diámetro en cualquier edad se puede inferir a partir del diámetro de cualquier otra edad; por lo tanto, dan como resultado familias de curvas polimórficas con asíntotas múltiples, y son ampliamente utilizados para desarrollar modelos dominantes de altura, diámetro y área basal en poblaciones de bosques (Cieszewski, 2001; Bravo-Oviedo *et al.*, 2011).

Los modelos dinámicos GADA requieren una definición explícita de cómo las características específicas de la población varían entre diferentes sitios y pueden reemplazarse con funciones explícitas de una sola variable independiente no observable (χ), que describe la productividad

del sitio como un resumen de los regímenes de manejo y factores ecológicos de cada sitio (Cieszewski y Bailey, 2000).

Así, a partir de la selección del modelo base bidimensional, $d = f(t)$, se expande a una ecuación tridimensional explícita del sitio, $d = f(t, \chi)$. Dado que χ es una variable no observable, se puede por ejemplo definir t_0, d_0 como las condiciones iniciales y a partir de ellos estimar nuevos parámetros a través del tiempo; de esta manera el modelo dinámico se define implícitamente como $d = f(t, t_0, d_0, \theta_1 ... \theta_n, a_1 ... a_n)$, en que t, t_0, d_0 son respectivamente el tiempo, tiempo base y diámetro base, $\theta_1 ... \theta_n$ son los parámetros iniciales del modelo, y $a_1 ... a_n$ son los nuevos parámetros del modelo dinámico.

De esta manera, a partir del modelo de Weibull (ecuación 2), y considerando los parámetros θ_1 y θ_2 como específicos ($\theta_1 = a_1\chi$ y $\theta_2 = \chi$) sujetos a las condiciones iniciales t_0, d_0, se tiene la ecuación base:

$$d_0 = a_1\chi - \chi e^{-\theta_3 t_0}$$

y aislando χ en esta ecuación, se tiene:

$$\chi = \frac{d_0 e^{\theta_3 t_0}}{a_1 e^{\theta_3 t_0} - 1} \ ,$$

y reemplazando este resultado en la ecuación base y haciendo su desarrollo, resulta:

$$d(t) = \frac{a_1 d_0 e^{\theta_3 t_0}}{a_1 e^{\theta_3 t_0} - 1} - \frac{d_0 e^{\theta_3 t_0 - \theta_3 t}}{a_1 e^{\theta_3 t_0} - 1} \qquad \text{Ec. (3)}$$

donde, para este caso de la aplicación GADA se tiene que: θ_3 = el parámetro inicial del modelo; d = el diámetro a estimar; d_0 y t_0 = diámetro base y tiempo base asumidos para modelos dinámicos; y a_1 = el nuevo parámetro estimado a partir del desarrollo de la ecuación dinámica.

Evaluación de los modelos

Para analizar el ajuste del modelo desarrollado, se utilizó el MAPE (ecuación 4), que tiene una interpretación intuitiva y se usa en la aplicación de predicciones, por ejemplo Myttenaere *et al.* (2016) estudiaron las consecuencias de utilizar la MAPE como medida de calidad para los modelos de regresión, donde cuantifican el error asociado a cada uno de los modelos implementados en el presente experimento; el criterio de información Akaike (AIC) (ecuación 5) desarrollado por Akaike (1974), que estima la discrepancia calculada en las proyecciones de datos (Cavanaugh, 1997); el coeficiente de determinación ajustado (R^2adj) (ecuación 6), que estima en qué medida el modelo puede explicar los valores observados; y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) (ecuación 7), que calcula la diferencia entre el valor real del punto de datos (valores observados) y el valor del punto de datos en la curva de mejor ajuste (valores estimados).

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i}\right| \quad \text{Ec. (4)}$$

$$AIC = 2P - 2\ln(L) \quad \text{Ec. (5)}$$

$$R^2adj = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\, x\, \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2}\right) \quad \text{Ec. (6)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde: *MAPE*, *AIC*, *R² adj* y *RMSE* corresponden al Error porcentual medio absoluto, Criterio de Información de Akaike, Coeficiente de Determinación Ajustado y a la Raíz de Error Cuadrada Media, respectivamente; n es el número de observaciones; p es el número de parámetros del modelo; y_i son valores observados de las variables; $\bar{y}_i$ son los promedios de los valores observados de las variables, respectivamente; y $\hat{y}_i$ los valores estimados. Cuando más bajos sean los valores de $MAPE$, $RMSE$ y AIC, y cuanto más alto sea el valor de R²adj, mejor será el modelo.

El modelado de las ecuaciones dinámicas, así como la evaluación de los modelos se hicieron a través del software R (versión 3.5.3) (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), con los paquetes *stats*, *minpack.lm* y *Metrics*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron seis especies: *Pinus arizonica* Engelmann, *P. engelmannii* Carrier, *P. leiophylla* Schiede ex Schl. *et* Cham., *P. strobiformis* Engelmann, *P. teocote* Schl. y *P. lumholtzii* Rob. *et* Fern. Se observó que las especies más abundantes también son aquellas con mayor edad, e.g. *P. engelmannii* (N = 106; Edad = 86) y *P. strobiformis* (N = 50; Edad = 69). Los individuos que presentaron mayores DAP fueron *P. engelmannii* (DAP = 44.84) y *P. leiophylla* (DAP = 37.82). La edad media aproximada de las parcelas es de 37 años, variando entre 9 y 86 años, con un diámetro promedio aproximado de 20 cm, oscilando entre 2.79 y 44.34 cm. Otro factor importante a observar es la discrepancia entre los diámetros de las especies *P. engelmannii* y *P. leiophylla*, que tienen una desviación estándar muy alta en relación con las otras (9.03 y 11.81, respectivamente) (Cuadro 1).

Cada parcela posee distinta composición y frecuencia de especies. La parcela 3 presentó menor frecuencia de especies y número de individuos, pero la parcela 5 presentó mayor composición y frecuencia (Figura 2). Se observa que la especie *P. engelmannii* ocurre en todas las parcelas, pero *P. teocote* y *P. lumholtzii* aparecieron solo en las parcelas 1 y 6, respectivamente.

Cuadro 1. Valores básicos observados de los pinos medidos en el periodo de septiembre a noviembre de 2017.

Est	*Pa*		*Pe*		*Pl*		*Ps*		*Pt*	
	Ed	DAP	Ed	DAP	Ed	DAP	Ed	DAP	Ed	DAP
Min	26	12.89	9	2.79	26	8.39	15	5.58	20	10.79
Med	43.75	22.20	38.33	16.77	35.00	21.41	32.56	13.72	39.73	22.79
Max	52	37.38	86	44.34	48	37.82	69	30.09	59	35.25
SD	7.43	6.61	16.21	9.03	7.11	11.81	10.82	5.14	11.79	6.80
N	16		106		11		50		15	

Est = Estadísticas; Min = Mínimo; Med = Media; Max = Máximo; SD = Desviación estándar (SD); N = número de individuos; Ed = edad (años); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); *Pa = Pinus arizonica, Pe = Pinus engelmannii, Pl = Pinus leiophylla, Ps = Pinus strobiformis, Pt = Pinus teocote.*

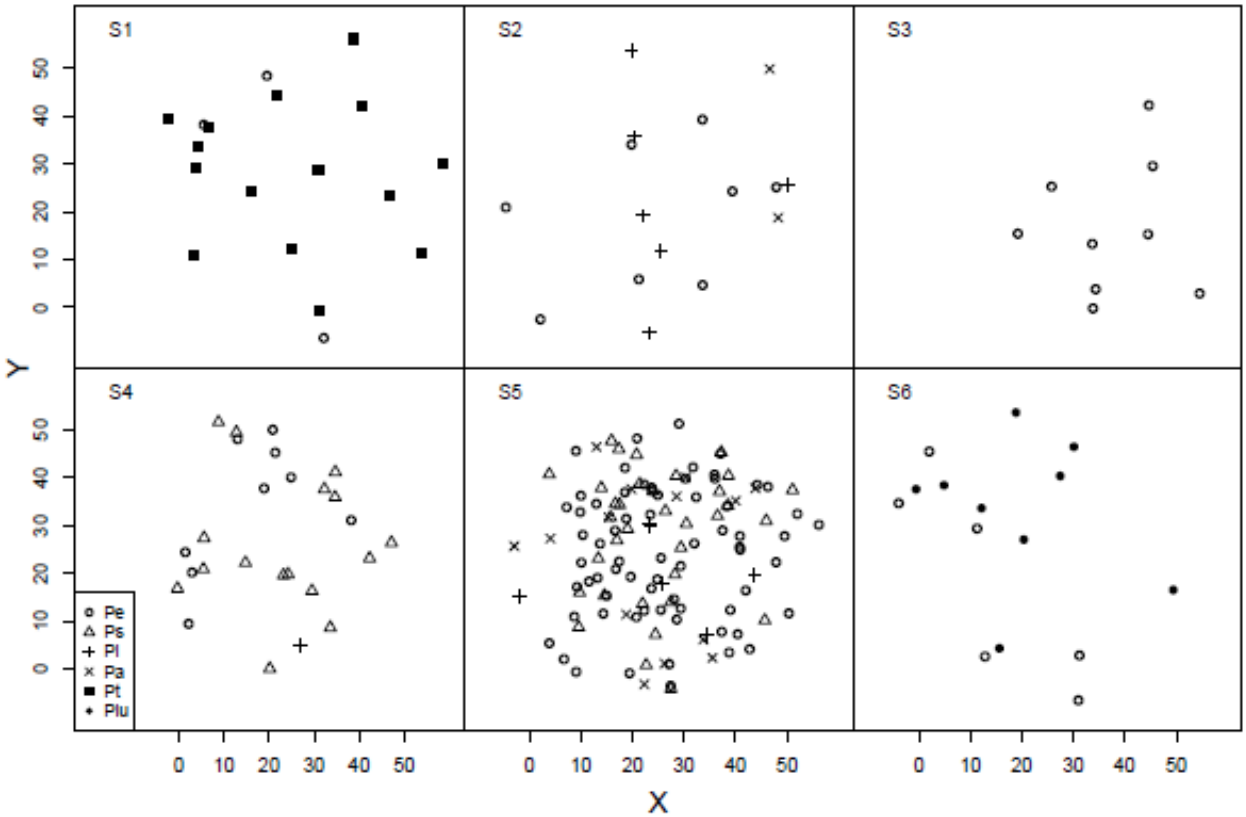


Figura 2. Distribución de los pinos en las parcelas de estudio. X = Límite oeste-este (m); Y = Límite sur-norte (m); S1, S2, S3, S4, S5, S6 = Parcelas 1 a 6, respectivamente; *Pe = Pinus engelmannii, Ps = Pinus strobiformis, Pl = Pinus leiophylla, Pa = Pinus arizonica, Pt = Pinus teocote, Plu = Pinus lumholtzii.*

Se observó que las estimaciones del DAP de las ecuaciones básicas 1 y 2 son similares en las estadísticas de ajuste MAPE, AIC, R^2 adj y RMSE (Cuadro 2), Por lo anterior, se utilizó el modelo Weibull para desarrollar un nuevo modelo GADA con 2 parámetros. El modelado de la ecuación dinámica de GADA desarrollada a través de la ecuación 2 (Cuadro2, ecuación 3) tiene ligera ventaja en las estadísticas de ajuste sobre los modelos base, con más énfasis en los ajustes

del RMSE y R^2 adj, con promedios cercanos a 3.3 cm y 83%, respectivamente. Además de desarrollar y probar una nueva ecuación, este modelo también contiene menos parámetros en relación con los modelos base, lo cual es una ventaja por su aplicación más directa y simplificada, pues cada parámetro es una característica de la población en estudio y al requerir menos parámetros para la estimación, se necesita medir menos características lo cual significa menores costos de muestreo.

Cuadro 2. Ajustes de los modelos de Chapman-Richards (Ecuación 1), Weibull (Ecuación 2) y modelo dinámico GADA (Ecuación 3) desarrollado a través del modelo de Weibull.

Ec.	Est.	Especies de *Pinus*				
		Pa	*Pe*	*Pl*	*Ps*	*Pt*
1	θ_1	29.41***	21.87***	33.63***	32.80***	41.89***
	θ_2	0.03***	0.04***	0.04**	0.02***	0.02***
	θ_3	1.06***	1.40***	1.58***	1.21***	1.11***
	MAPE	0.24	0.38	0.40	0.26	0.21
	AIC	3878	24778	2434	7272	3044
	R^2_{adj}	0.82	0.76	0.77	0.82	0.86
	RMSE	3.84	5.10	5.66	2.25	3.09
2	θ_1	29.30***	23.98***	17.83***	42.98***	44.61***
	θ_2	29.89***	25.16***	25.17***	43.57***	45.34***
	θ_3	0.03***	0.03***	0.10***	0.01***	0.02***
	MAPE	0.24	0.40	0.53	0.27	0.21
	AIC	3877	24789	2526	7275	3043
	R^2_{adj}	0.81	0.76	0.76	0.83	0.89
	RMSE	3.84	5.11	6.37	2.26	3.09
3	θ_3	0.01***	0.01***	0.02***	-0.01***	0.03***
	a_1	1.01***	0.97***	0.95***	1.01***	0.95***
	MAPE	0.24	0.36	0.39	0.24	0.19
	AIC	3798	24166	2429	7202	3020
	R^2_{adj}	0.84	0.80	0.77	0.85	0.88
	RMSE	3.63	5.03	5.57	2.35	3.19

Ec. = Número de la ecuación; Est. = Estadísticas; *Pa = Pinus arizonica, Pe = Pinus engelmannii, Pl = Pinus leiophylla, Ps = Pinus strobiformis, Pt = Pinus teocote;* *** = $Pr|t|<0.01$, sin *Pinus lumholtzii*..

Santiago-García *et al.* (2015), aclaran que el crecimiento de diámetro está relacionado con la competencia entre árboles, y por lo tanto, los modelos dinámicos que predicen el crecimiento diamétrico pueden proporcionar información sobre la dinámica a partir de la edad y las condiciones iniciales del sitio, para respaldar estrategias de manejo forestal, y es aquí donde el modelo desarrollado en este trabajo encaja perfectamente.

Desde la creación del método GADA, se han realizado numerosas aplicaciones de este método en todo el mundo, con estudios de diámetro, altura, volumen, etc. de las más diversas especies forestales. Por ejemplo, Quiñónez-Barraza *et al.* (2015), evaluaron el crecimiento del diámetro normal para *Pinus* en Durango, encontrando que el modelo GADA de la función Chapman-Richards fue el mejor estimado para el crecimiento de *Pinus lumholtzii*, y el modelo basado en

Verhulst-Logistics estimó mejor el crecimiento de *Pinus ayacahuite*, donde se evaluaron modelos con R^2 superiores a 90%, pero los parámetros no fueron todos significativos (p-valor > 0.01). En el presente estudio se encontró un R^2 de 83% en promedio, donde todos los parámetros estimados del modelo desarrollado resultaron ser significativos a 1% ($Pr|t|<0.01$). Otros estudios también obtuvieron evaluaciones no significativas, a 1%, de los parámetros del modelo, como Vargas-Larreta *et al.* (2013) que trabajaron con altura dominante e índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* en el noroeste de México, y Sghaier *et al.* (2015) cuando desarrollaron modelos para la población de *Thuya (Tetraclinis articulata (Vahl) Mast)* en Tunez.

Por otro lado, Sharma *et al.* (2017) realizaron un modelado a nivel individual del crecimiento de los árboles en la República Checa con el mismo método, donde el modelo desarrollado a partir de la ecuación basada en Chapman-Richards fue el que mejor se adaptó a los datos. Ercanli *et al.* (2014) trabajaron con GADA para la altura dominante en parcelas mixtas de *Pinus sylvestris L.* utilizando como base las funciones de Bertalanffy-Richards, Hossfeld y Lundqvist-Korf, en las que el modelo más apropiado para esta especie fue el de Hossfeld. González-García *et al.* (2015), trabajaron con este mismo método para la altura dominante y el área basal, incluyendo factores ambientales, con eucaliptos en el noroeste de España usando los modelos Korf, Hossfeld y Bertalanfy-Richards, donde dichos modelos resultaron útiles. Otra aplicación GADA fue desarrollada por Kahriman *et al.* (2018), quienes trabajaron con modelos de índices de sitio para la altura con pino de Calabria en la región del Mediterráneo central de Turquía, donde los datos se obtuvieron de parcelas naturales, de edades iguales, encontrando que el modelo a partir de la ecuación base de Hossfeld proporcionó el mejor resultado.

Se puede observar que en la mayoría de las aplicaciones GADA, los mejores modelos evaluados son los de la función base de Chapman-Richards y Hossfeld, donde ambos contienen tres parámetros en el modelo final; en cambio, el modelo propuesto en el presente desarrollo tiene solo dos parámetros, lo cual se convierte en una ventaja, ya que la aplicación de modelos con menos parámetros es más simple y es también una ventaja respecto a una mejor estimación del AIC, cuya fórmula tiene en cuenta el número de parámetros del modelo utilizado en la aplicación.

Para todas las especies, las líneas que modelan el crecimiento son muy similares a los puntos de crecimientos observados, es decir, tienen asíntotas realistas de acuerdo con los patrones de crecimiento (Figura 3). Por ejemplo, el comportamiento de crecimiento de *Pinus teocote* (Figura 3A) con índices de 14, 21, 28 y 35 cm, a la edad de referencia de 50 años, funciona de la misma forma para las otras especies, pero con diferentes índices del sitio. Se observa un resultado similar en el trabajo de Pyo (2017), donde se ajustó una ecuación dinámica del modelo de Chapman-Richards a *Pinus densiflora* (altura-Edad) en la región central de Corea, con índices de sitio de 8, 10, 12 m, con una edad de referencia de 30 años. Estos índices de sitio se refieren a familias de curvas que son simultáneamente polimórficas con múltiples asintotas (Cieszewski, 2002; Castedo-Dorado *et al*., 2007), es decir, representan los niveles de capacidad productiva de las parcelas de estudio, que en este trabajo están bien ajustadas, pues presentan asíntotas horizontales y comportamiento lógico, es decir, son consistentes con la realidad de que en un dado período de tiempo el crecimiento del diámetro del árbol se estabiliza, en la edad cero el diámetro proyectado de ambos índices es cero y en la edad de referencia, en este caso 50 años, los diámetros son iguales a los índices respectivos. Además, sus proyecciones presentan curvas polimórficas con diferentes asíntotas, es decir, tasas de crecimiento y crecimientos finales variables (Figura 3).

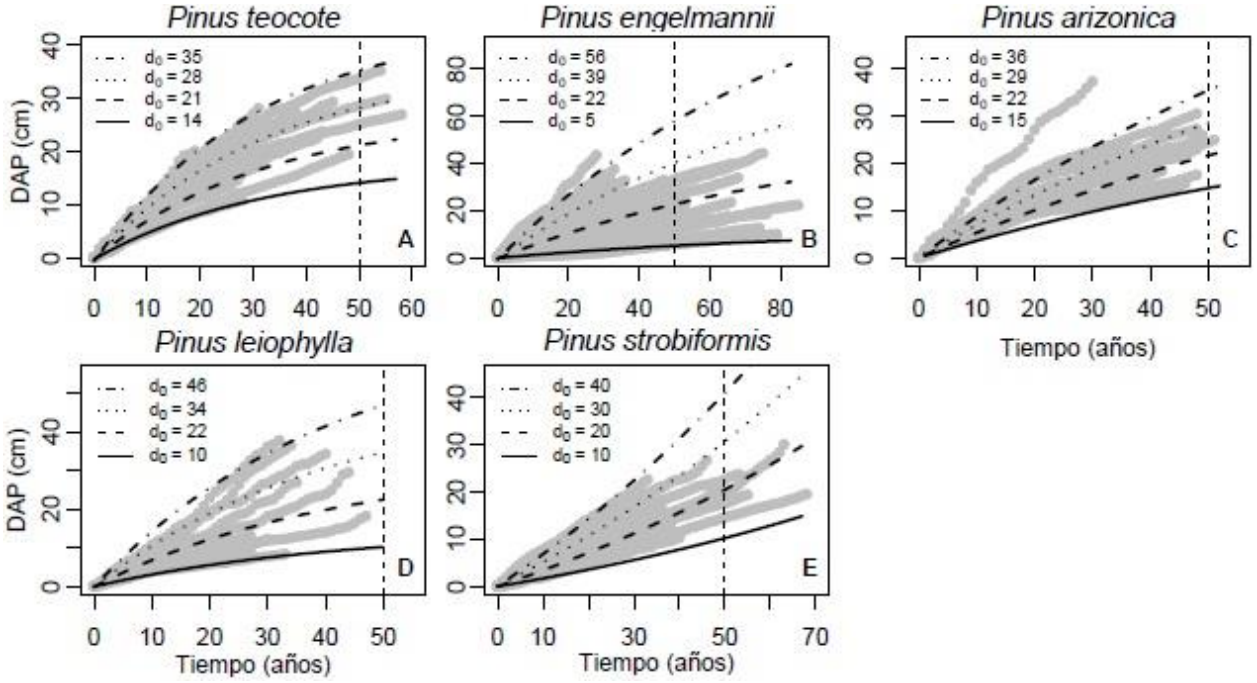


Figura 3. Gráficas del modelo dinámico GADA (Ecuación 3) con los respectivos índices de sitio (d_0) para 50 años a partir del modelado del diámetro en relación al tiempo para cada especie de pino.

Las estimaciones precisas de los índices de sitio (Figura 3) son una gran ventaja de los modelos dinámicos GADA ajustados en este trabajo, pues son básicamente predicciones, con buen ajuste, de los niveles de crecimiento que pueden esperarse que logre una especie determinada hasta la edad-base (que en este estudio se adoptó como 50 años). Sin embargo, el valor estimado del parámetro θ_3 del modelo GADA (Cuadro 2) para *P. strobiformis* fue negativo y por lo tanto su curva de crecimiento modelada se presenta en forma exponencial (Figura 3E), pues una parte de los árboles observados de esta especie, tiene todavía una alta tasa de crecimiento en diámetro y el modelo es sensible a este fenómeno.

Es importante señalar que la metodología GADA también puede aplicarse a evaluaciones de otras especies arbóreas, como por ejemplo en los trabajos desarrollados por Gea-Izquierdo *et al.* (2008) y Díaz-Maroto *et al.* (2010) quienes evaluaron modelos iniciales con tres parámetros para *Quercus*, y González-García *et al.* (2016) para *Eucalyptus*, todos ellos con resultados satisfactorios. Por lo anterior, se afirma que la metodología aquí desarrollada, con un menor número de parámetros en comparación con los trabajos citados, es de más fácil aplicación y también puede ampliarse a otras especies y obtener resultados satisfactorios.

CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología GADA al modelo de Weibull presentó un ajuste satisfactorio; las estadísticas de comparación (MAPE, AIC, R^2 adj, RMSE) fueron mejores en relación con los modelos base y fue posible obtener diferentes índices de sitios bien ajustados para todas las especies, incluso para las especies con crecimiento muy variable (desviación estándar grande). Es decir, el sistema dinámico de crecimiento obtenido con el modelo propuesto, es una herramienta confiable y más económica que las hasta ahora existentes para el modelado del potencial

productivo de las especies de *Pinus*, pues se requieren menos parámetros y por lo tanto se reducen los tiempos y costos del muestreo en campo. De esta manera, esta nueva aplicación permite aumentar la eficiencia y facilitar el estudio del desarrollo dimensional de las especies, teniendo aplicaciones de planificación y gestión, lo cual es valioso para los procesos de toma de decisiones.

LITERATURA CITADA

Akaike, H. 1974. Stochastic theory of minimal realization. IEEE Transactions on Automatic Control 19(6): 667-674.

Bailey, R. L. & J. L. Clutter. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. Forest Science 20(2): 155-159.

Bravo-Oviedo, A., S. Roig, F. Bravo, G. Montero & M. del-Río. 2011. Environmental variability and its relationship to site index in Mediterranean Maritime Pine. Forest Systems 20(1): 50-64.

Castedo-Dorado, F., U. Diéguez-Aranda, M. Barrio-Anta & J. G. Álvarez-Gonzàlez. 2007. Modelling stand basal area growth for radiata pine plantations in Northwestern Spain using the GADA. Annals of Forest Science, 64(6): 609–619.

Cavanaugh, J. E. 1997. Unifying the derivations for the Akaike and corrected Akaike information criteria. Statistics & Probability Letters 33(2): 201-208.

Cieszewski, C. J. & R. L. Bailey. 2000. Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. Forest Science 46(1): 116-126.

Cieszewski, C. J. 2001. Three methods of deriving advanced dynamic site equations demonstrated on inland Douglas-fir site curves. Canadian Journal of Forest Research 31(1): 165-173.

Cieszewski, C. J. 2002. Comparing fixed- and variable-base-age site equations having single versus multiple asymptotes. Forest Science, 48(1): 7–23.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012. Programa nacional de dendroenergía forestal 2007-2012; consultado en: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/1585Programa%20Nacional%20Dendroenergia.pdf. México DF. 12 p.

Del Río, M., H. Pretzsch, I. Alberdi, K. Bielak, F. Bravo, A. Brunner & A. Bravo-Oviedo. 2016. Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed-species stands: review and perspectives. European Journal of Forest Research 135(1): 23-49.

Development Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available online: http://www.R-project.org/ (accessed on 25 March 2019).

Díaz-Maroto, I. J., J. Fernández-Parajes, P. Vila-Lameiro, E. Barcala-Pérez. 2010. Site index model for natural stands of rebollo oak *(Quercus pyrenaica Willd.)* in Galicia, nw Iberian Peninsula. Ciência Florestal, 20(1): 57–68.

Duan, G., Z. Gao, Q. Wang & L. Fu. 2018. Comparison of different height–diameter modelling techniques for prediction of site productivity in natural uneven-aged pure stands. Forests 9(2): 63-87.

Ercanli, İ., A. Kahriman, & H. Yavuz. 2014. Dynamic base-age invariant site index models based on generalized algebraic difference approach for mixed Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) and Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stands. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38(1): 134–147.

García, O. 1994. The state-space approach in growth modelling. Canadian Journal of Forest Research 24(9): 1894-1903.

Gea-Izquierdo, G., I. Cañellas & G. Montero 2008. Site index in agroforestry systems: Age-dependent and age-independent dynamic diameter growth models for *Quercus ilex* in Iberian open oak woodlands. Canadian Journal of Forest Research, 38(1): 101–113.

González-García, M., A. C. Almeida, A. Hevia, J. Majada & C. Beadle. 2016. Application of a process-based model for predicting the productivity of *Eucalyptus nitens* bioenergy plantations in Spain. GCB Bioenergy, 8(1): 194–210.

González-García, M., A. Hevia, J. Majada, R. Calvo de Anta & M. Barrio-Anta. 2015. Dynamic growth and yield model including environmental factors for *Eucalyptus nitens* (Deane & maiden) Maiden short rotation woody crops in Northwest Spain. New Forests 46(3): 387-407.

Hall, D. B. & R. L. Bailey. 2001. Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. Forest Science 47(3): 311-321.

Kahriman, A., T. Sönmez & K. Gadow. 2018. Site index models for Calabrian pine in the central Mediterranean region of Turkey. Journal of Sustainable Forestry 37(5): 459-474.

Myttenaere, A., B. Golden, B. Le Grand & F. Rossi. 2016. Mean absolute percentage error for regression models. Neurocomputing 192: 38-48.

Nunes, L., M. Patrício, J. Tomé & M. Tomé. 2011. Modeling dominant height growth of maritime pine in Portugal using GADA methodology with parameters depending on soil and climate variables. Annals of Forest Science, 68(2): 311–323.

Panik, M. J. 2014. Growth curve modeling: theory and applications. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc: 437.

Pyo, J. 2017. Developing the site index equation using a generalized algebraic difference approach for *Pinus densiflora* in central region, Korea. Forest Science and Technology 13(2): 87-91.

Quiñonez-Barraza, G., H. M. De los Santos Posadas & J. G. Álvarez González. 2015. Crecimiento en diámetro normal para *Pinus* en Durango. Revista mexicana de ciencias forestales, 6(29), 108–125.

Santiago-García, W., E. Pérez-López, G. Quiñonez-Barraza, G. Rodríguez-Ortiz, E. Santiago-García, F. Ruiz-Aquino & J. C. Tamarit-Urias. 2017. A dynamic system of growth and yield equations for *Pinus patula*. Forests 8(12): 465-489.

Santiago-García, W., H. M. De los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, J. R. Valdez-Lazalde, J. J. Corral-Rivas, G. Rodríguez-Ortiz & E. Santiago-García. 2015. Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para *Pinus patula*. Madera y bosques, 21(3): 95-110.

Sghaier, T., M. Sánchez-González, S. Garchi, Y. Ammari, I. Cañellas, & R. Calama. 2015. Developing a stand-based growth and yield model for Thuya (*Tetraclinis articulata (vahl) mast*) in Tunisia. IForest - Biogeosciences and Forestry, 9(1): 79.

Sharma, R. P., Z. Vacek, S. Vacek, V. Jansa & M. Kučera. 2017. Modelling individual tree diameter growth for Norway spruce in the Czech Republic using a generalized algebraic difference approach. Journal of Forest Science, 63(5): 227–238.

Vanclay, Jerome K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. School of Environment, Science and Engineering Papers: 537.

Vargas-Larreta, B., O. A. Aguirre-Calderón, J. J. Corral-Rivas, F. Crecente-Campo & U. Diéguez-Aranda. 2013. Modelo de crecimiento en altura dominante e índice de sitio para *Pinus pseudostrobus Lindl*. en el noreste de México. Agrociencia, 47(1): 91-106.

CONOS Y SEMILLAS DE FENOTIPOS SELECTOS DE *Pinus patula* var. *longipedunculata* DE PROCEDENCIAS DE OAXACA, MÉXICO[1]

[CONES AND SEEDS OF SELECTED PHENOTYPES OF *Pinus patula* var. *longipedunculata* FROM PROVENANCES OF OAXACA, MEXICO]

Adán Hernández-Hernández[1§], Marco Antonio Reyes-Reyes[3], Gerardo Rodríguez-Ortiz[4], José Raymundo Enríquez del Valle[4], Martín Gómez-Cárdenas[2], Vicente Arturo Velasco-Velasco[4]

[1,2]INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Melchor Ocampo No. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca, México CP. 68200, Tel. 01-800-088-2222; y Campo Experimental Uruapan. Av. Latinoamericana No. 1101, Col. Revolución, Uruapan, Michoacán, México CP. 60500, Tel. 01-800-088-2222 ext. 84216. [3,4]Ingeniería Forestal y División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, 71233, Tel. 5170788. [§]Autor para correspondencia (adanhernandez4582@gmail.com).

RESUMEN

Conocer el potencial de producción de semillas en especies forestales permite estimar la cantidad y calidad de cosecha de años posteriores. El objetivo fue analizar características de conos y semillas de árboles selectos de *Pinus patula* var. *longipedunculata* y de sus procedencias de diferentes regiones del estado de Oaxaca. El germoplasma sexual fue colectado durante el invierno de 2018 en 46 fenotipos superiores de siete procedencias. En conos y semillas se midieron, en 2019, variables morfológicas y morfométricas, transformándolas a raíz cuadrada para diferenciar árboles y procedencias mediante análisis de varianza y prueba de medias (Duncan, α =0.05). Todos los fenotipos de las dos regiones de Oaxaca mostraron alta variabilidad en todas sus variables evaluadas ($p \leq 0.0001$). Los árboles selectos 57 y 10 tuvieron la mayor cantidad de escamas fértiles por cono y correspondieron a las procedencias de la Sierra Norte de Oaxaca (San Juan Luvina y Santa María Jaltianguis. El origen de los fenotipos seleccionados y los factores del sitio generan diferencias morfológicas y morfométricas de conos y semillas de *P. patula* var. *longipedunculata*, por lo que se recomienda el germoplasma de la parte norte del estado.

Palabras clave: escamas fértiles e infértiles, morfología de conos y semillas, Sierra Norte y Sur.

ABSTRACT

The knowledge of the potential of seed production in forest species allows to estimate the quantity and quality of harvest from later years. The objective was to analyze cones and seeds characteristics of select *Pinus patula* var. *longipedunculata* trees and their provenances from different regions of Oaxaca State. The sexual germplasm was collected during the Winter of 2018 in 46 selected phenotypes of seven provenances. In cones and seeds, morphological and morphometric variables were measured in 2019, transforming them to root square to differentiate trees and provenances through analysis of variance and test of means (Duncan, α =0.05). All phenotypes of the two regions of Oaxaca showed high variability in all of their evaluated variables ($p \leq 0.0001$). Select trees 57 and 10 had the most fertile scales per cone and corresponded to the provenances from the Sierra Norte of Oaxaca (San Juan Luvina and Santa María Jaltianguis). The origin of the selected

[1] Recibido: 11-mayo-2019
Aceptado: 02-diciembre-2019

phenotypes and site factors generate morphological and morphometric differences of cones and seeds of *P. patula* var. *longipedunculata*, so germplasm from the northern part of the state is recommended.

Index words: Fertile and infertile scales, cones and seeds morphology, Sierra Norte and Sur.

INTRODUCCIÓN

Pinus patula Schiede ex Schltdl. *et* Cham. es un pino endémico de México, el interés en la especie aumenta por su crecimiento rápido, calidad de madera y facilidad de manejo (Wormald, 1975). La distribución natural altitudinal de *P. patula* oscila entre 1600 y 3100 m (Nyoka, 2002).

La mayoría de las especies forestales se reproducen por medio de semillas (sexual), lo que implica diversos procesos biológicos, que inician en la floración y terminan en el establecimiento de las plántulas (Besnier, 1989). Las semillas forestales son muy importantes y valiosas, cuando proceden de fenotipos deseables o individuos genéticamente mejorados se puede obtener semilla de buena calidad genética, así como también con capacidad para germinar (calidad biológica), para poder establecer plantaciones o mejorar la calidad de los bosques, además se contribuye al mejoramiento genético de la especie (Niembro, 1986).

Un factor importante de éxito es la selección de semilla de alta calidad física y genética (Martínez *et al*., 1994). En México, las tasas de supervivencia al año de plantado, durante el periodo 2006-2009 fueron, en promedio, del 55.6% (Prieto y López-Upton, 2006). Debido a la creciente demanda de semilla forestal de buena calidad, destinada a programas de reforestación y a la escasez de conocimientos sobre técnicas óptimas de manejo del germoplasma, se considera necesario sistematizar la evaluación de la producción de conos y semillas, y la calidad de semilla obtenida. Para obtener semilla de buena calidad es necesario tomar medidas de prevención, control de insectos y labores silvícolas adecuadas en las unidades productoras de semilla, con base en el ciclo biológico de la semilla y en las fechas en las que se desarrollan los insectos (Domínguez-Calleros *et al*., 2016).

Los análisis de conos y semillas son una herramienta útil para determinar la cantidad y calidad de semilla producida en unidades productoras de germoplasma forestal (rodal semillero, área semillera, huerto semillero o árboles superiores). Para ello, la realización de los análisis de conos y semillas permiten asignarle un valor a un lote mediante la definición de las características morfológicas, anatómicas, físicas y biológicas (Alba-Landa *et al*., 2001). La producción de semillas en un sitio determinado depende de los procesos que afectan la producción de los estróbilos, de las condiciones biológicas y ecológicas de la población y de las pérdidas potenciales durante el proceso de maduración de los conos hasta la producción de semilla (Contreras-Zayas, 2009).

La variación de conos y semillas de *Pinus oaxacana* Mirov. en tres sitios de la zona de Perote, Veracruz, ha mostrado diferencias significativas en las variables longitud y diámetro del cono, así como el número de semillas, largo y ancho de las mismas, se presentaron diferencias entre sitios y entre árboles dentro de los sitios. El sitio Los Molinos mostró en promedio valores más altos para la mayoría de las variables morfológicas evaluadas, inclusive el número de semillas (Menchaca, 2000). Vázquez y Zulueta (1994) estudiaron la variación de conos y potencial de producción de semillas de *P. oaxacana* en Tlaxcala, México, encontrando que la población estudiada presenta una variación tal que invita a promover un programa de mejoramiento genético y un programa de

conservación. Se ha estudiado la variación en semillas de siete familias y tres cosechas (1999, 2001 y 2003) de *P. patula* de un huerto de tercera generación de selección, encontrando diferencias significativas para largo, ancho y peso de semillas, tanto entre familias como entre cosechas. La presencia de variación entre familias en el huerto semillero es un indicativo de que se puede presionar más la selección con fines de mejoramiento (Márquez-Ramírez *et al.*, 2007).

Debido a que la producción de semilla en calidad y cantidad varía entre árboles individuales, entre especies y en cada ciclo de producción, y a que la colecta de semilla debe realizarse en un período de tiempo corto de dos a tres meses, la colecta requiere de una planeación adecuada que considera aspectos como: cálculo de las necesidades de la semilla, obtención de índices de producción de semilla, estimación de la cosecha, características de las áreas de colecta, localización de poblaciones, necesidades de recursos humanos, equipo y herramienta a utilizar, transporte de la cosecha, selección y almacenamiento (Prieto y López-Upton, 2006). Las razones anteriores le dan relevancia al tema planteado donde se requiere conocer con precisión la cantidad y calidad de semilla que puede obtenerse de una unidad productora de germoplasma forestal.

El presente estudio está enfocado a una variante de *P. patula*, denominado *P. patula* var. *longipedunculata* Loock ex Martínez, que se distribuye desde el noreste de Oaxaca hasta el centro de Guerrero (Dvorak *et al.*, 2001). El presente trabajo se enfoca en obtener material mejorado fenotípicamente, con orígenes y procedencias conocidas para obtener plantas con mejor calidad, en la cual se colectaron conos de los árboles seleccionados para la extracción de semilla para su análisis y comparar la producción de conos y semillas de los árboles superiores. El objetivo fue evaluar las características morfológicas y morfométricas de semillas y conos de fenotipos selectos de *Pinus patula* var. *longipedunculata* y sus procedencias del estado de Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los fenotipos selectos se encuentran en las Sierras Sur y Norte del estado de Oaxaca, entre los 2400 y 2900 msnm, de acuerdo a los datos recolectados en campo (Figura 1). La selección de fenotipos sobresalientes se efectuó en rodales naturales por el método de selección por comparación en el año 2018, utilizando la metodología de Bramlett *et al*. (1977); la colecta de conos y semillas fue realizada en los árboles seleccionados.

Manejo de conos y semillas

La colecta de conos se realizó en los meses enero-febrero 2019, con ayuda de una bicicleta forestal® se llegó a la copa de los árboles y con un prunner marca Truper® se cortaron los conos maduros, evitando cortar los estróbilos de los ciclos de producción subsecuentes. Los conos se colocaron en bolsas de cartón posteriormente en costales identificados (número de árbol, procedencia, fecha y escalador) para su transporte a las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Santo Domingo Barrio Bajo Etla, Oaxaca.

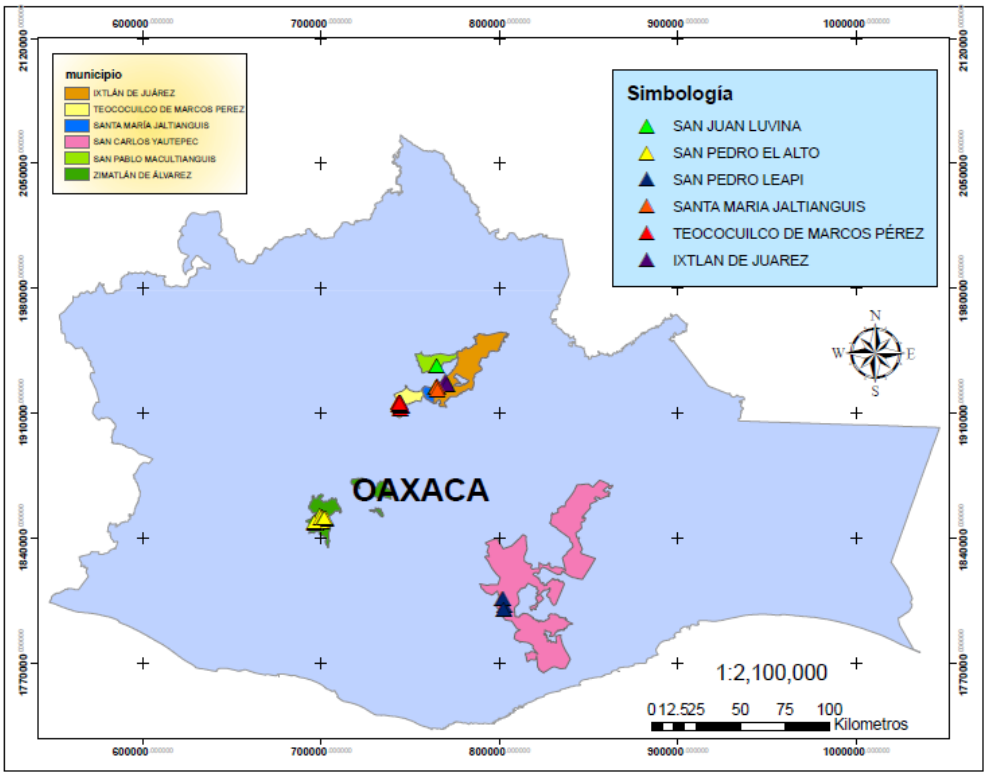


Figura 1. Localización de las procedencias fenotipos selectos de *Pinus patula* var. *longipedunculata* del estado de Oaxaca (sin incluir a San Pedro Yolox).

Todos los conos colectados fueron colocados dentro de su bolsa de cartón y puestos sobre una superficie de madera dentro de un invernadero durante dos semanas para su secado para evitar la pérdida de semillas por factores climáticos o de roedores; en este paso los conos abren sus escamas dando paso a la liberación de semillas. La medición de conos y semillas se realizó con vernier digital marca Steren®, obteniendo diámetro polar y ecuatorial (mm), posteriormente se pesó en fresco y seco (g) el cono en una balanza analítica (Shimadzu®, modelo ATY224 ±0.1 g)

En el proceso de conteo de escamas totales, fértiles e infértiles con la ayuda de unas pinzas se partieron los conos empezando por la base y separándolas en pequeños grupos y con plumones se marcaron las escamas para su clasificación.

La mayoría de las semillas se liberan en el proceso de secado del cono, también se le realiza pequeños golpes para liberarlas, y el total de semillas se extrae en el proceso de disección del cono; estas semillas son desaladas y colocadas en sobres de papel sellados con cinta Masking Tape® para evitar su pérdida; el sobre contiene el número de árbol, número de cono y procedencia. Se midieron las mismas variables en semillas, utilizando el mismo equipo.

Manejo y análisis de datos

Los datos se ordenaron en una base identificando fenotipo selecto, procedencia de cada cono y semilla. Los datos se transformaron a $\sqrt{x}$ para cumplir los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad, mediante la prueba de Bartlett y Shapiro-Wilks (α = 0.05), respectivamente.

Utilizando el procedimiento GLM se diferenciaron fenotipos y procedencias en todas las variables medidas en conos y semillas y realizando pruebas de medias (Duncan, 0.05); los análisis se realizaron en el programa r-Statistics®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfometría de conos y semillas por fenotipo superior

Los fenotipos selectos mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables evaluadas; el coeficiente de variación más alto lo tiene el peso de las semillas en gramos con 51.6% y número de semillas por cono 51.3%, lo que demuestra la alta variabilidad. Por otra parte, las variables de menor variabilidad fueron las morfológicas del cono y conteo de escamas totales por cono (CV < 12%) (Cuadro 1).

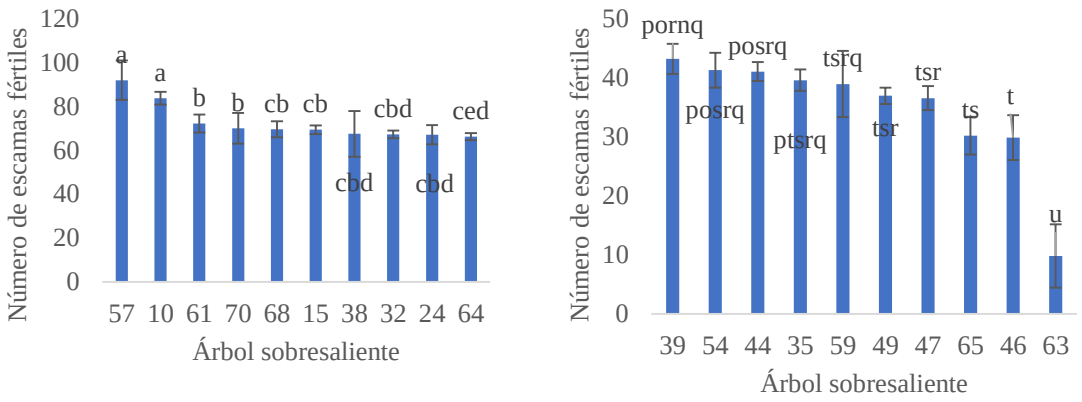
Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza de características de conos de fenotipos selectos de *Pinus patula* var. *longipedunculata*.

Variable	Cuadrados medios¶				
	Árbol superior	Error	Total	CV (%)	CME
Grados de libertad	55	886	941		
Diámetro polar del cono	1731.12**	45.5		10.40	6.74
Diámetro ecuatorial del cono	158.58**	3.90		7.73	1.97
Coeficiente de forma del cono	0.0260**	0.0014		9.37	0.037
Peso verde del cono (g)	973.76**	23.30		21.25	4.82
Peso seco del cono (g)	664.60**	11.64		21.95	3.41
Número de escamas totales	4169.92**	169.32		11.68	13.01
Número de escamas fértiles	2443.78**	153.19		22.95	12.37
Número de escamas infértiles	3532.72**	204.94		24.93	14.31
Contenido de humedad seco	1340.54**	50.46		21.83	7.10
Grados de libertad	48	748	796		
Número de semillas/cono	3398.87**	220.18		51.29	14.83
Peso de semillas/cono (g)	0.1814**	0.0119		51.55	0.109

¶Valores transformados a raíz cuadrada; ** = altamente significativo ($p \leq 0.01$); CV = coeficiente de variación, CME = cuadrado medio del error.

En datos no mostrados en este estudio, el diámetro polar mayor del cono lo obtuvieron los árboles selectos 1 y 53 con una media de 88.5 mm y 87.5 mm respectivamente, el menor valor de esta característica la obtuvo el árbol 46 (40.1 mm) y la mayor variabilidad se presentó en los árboles 55 y 38. Los árboles de mayor diámetro ecuatorial en el cono fueron: 55 (32.8 mm), 1 (32.05 mm), 15 (32.03 mm) y 3 (31.86 mm), encontrándose la mayor variabilidad en el árbol 38. El mayor y menor coeficiente de forma del cono se encontró en los árboles 39 (0.50) y 68 (0.32), siendo más heterogéneo el árbol 62; los conos con el mayor peso fresco se registraron para los árboles 9 (41.1 g) y 3 (40.6 g).

El fenotipo selecto 70 presentó mayor cantidad de escamas totales en el cono (152), teniendo más escamas fértiles los fenotipos 57 (92) y 10 (84) (Figura 2a), y la menor cantidad presentada en el árbol 63 (10.0) (Figura 2b); el fenotipo 38 mostró la mayor variabilidad en esta variable.



a b

Figura 2. Fenotipos sobresalientes de *Pinus patula* var. *longipedunculata*, a) con la mayor y b) menor cantidad de escamas fértiles en conos. Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

Todas las características medidas en semillas mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.01$) entre fenotipos selectos. El peso de la muestra de 100 semillas mostró la mayor heterogeneidad (CV = 36.5%), y el diámetro polar de las semillas la mayor homogeneidad (CV = 9.7%) (Cuadro 2). En datos no presentados en este escrito, pero que fueron evaluados, se encontraron valores mayores y menores para el fenotipo 57 y 63, con una media de 68 y 6 semillas/cono, respectivamente.

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza de características de semillas de *Pinus patula* var. *longipedunculata*.

Fuentes de variación	Cuadrados medios¶				
	Árbol superior	Error	Total	CV %	CME
Grados de libertad	46	22415	22461		
Diámetro polar (mm)	102.8**	0.217	22461	9.71	0.466
Diámetro ecuatorial (mm)	31.94**	0.102	22461	19.14	0.32
Coeficiente de forma (mm)	92.64**	0.33	22461	19.20	0.57
Peso de la muestra de 100 semillas (g)	5.90**	0.0127	22461	36.50	0.113
Peso de una semilla (mg)	1134.2**	3.22	22461	24.21	1.79
Grados de libertad	46	22417	22463		
Número de semillas kg^{-1}	361870272743**	1134874996.6	22463	23.12	33687.9

¶Valores transformados a raíz cuadrada; ** = altamente significativo ($p \leq 0.01$); CV = coeficiente de variación, CME = cuadrado medio del error.

Morfometría de conos y semillas por procedencia

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas ($p \leq 0.01$) en las siete procedencias. El coeficiente de variación más alto (68.1%) se

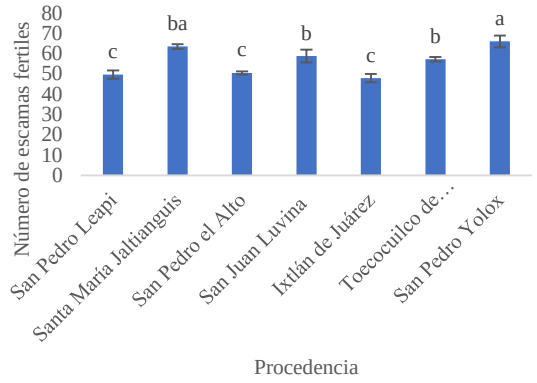
reporta en el peso de semillas (g/cono). El diámetro polar de cono fue mayor en las procedencias de San Pedro Yolox (75.6 mm), mostrando la mayor variabilidad las procedencias de San Juan Luvina; por otro lado, el coeficiente de forma del cono fue mayor para la procedencia de San Pedro Leapi (0.41).

Cuadro 3. Comportamiento de conos en procedencias de fenotipos selectos de *Pinus patula*.

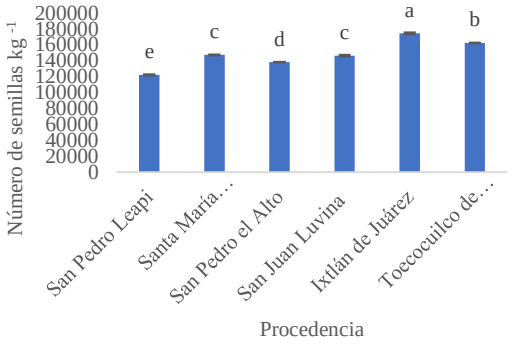
Procedencia	Número de escamas infértiles	Número de escamas totales	Contenido de humedad seco (%)	Número de semillas (g/cono)	Peso de semillas (g/cono)	Peso por semilla (mg)
San Pedro Leapi	55.7±2.5dc	105.4±1.6 ed	33.7±1.6 a	17.9±1.4 d	0.158±0.01 c	0.0087±0.0002 a
Jaltianguis	68.6±1.5 ba	132.0±1.2 b	26.5±1.0c	36.0±1.7 b	0.252±0.01 ba	0.0068±0.0001 ecd
San Pedro el Alto	51.3±0.9 d	101.8±0.7 e	37.0±0.3 a	26.8±0.8 c	0.207±0.00 c	0.0077±0.0001 bc
San Juan Luvina	64.5±3.0 b	123.2±3.0 c	33.0±2.2 b	25.6±5.5 dc	0.184±0.04 c	0.0074±0.0004 bcd
Ixtlán	61.2±2.0 bc	109.1±2.9 d	31.3±1.2 b	28.2±3.9 c	0.167±0.02 c	0.0062±0.0002 e
Teococuilco	62.0±1.1 bc	119.2±1.1 c	25.3±0.9 c	44.2±2.0 a	0.284±0.01 a	0.0066±0.0128 ed
San Pedro Yolox	72.2±2.8 a	138.2±3.1 a	26.4±2.0 c	18.5±2.7 d	0.150±0.02 c	0.0081±0.0004 ba

Los valores corresponden a las medias ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

La procedencia con mayor número de escamas totales por cono, así como la mayor cantidad de escamas infértiles se obtuvo en San Pedro Yolox 138.2 y 72.2, respectivamente; esto genera una proporción 52.2% de escamas infértiles (Cuadro 3), valor también representativo de todas las procedencias, excepto Ixtlán, donde la proporción de escamas fértiles baja a 44%; sin embargo, la procedencia de San Pedro Yolox mostró la mayor cantidad de escamas fértiles (Figura 3a). La procedencia con mayor número de semillas por kilogramo fue Ixtlán de Juárez con una media de 172,365 (Figura 3b).



a



b

Figura 3. Comparación de acuerdo a su procedencia para conos de *Pinus patula* var. *longipedunculata* en a) número de escamas fértiles y b) cantidad de semillas por kilogramo. Las líneas verticales indican las desviaciones estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

DISCUSIÓN

Los fenotipos sobresalientes proceden de rodales naturales de las regiones Sierra Norte y Sierra Sur del estado de Oaxaca, caracterizadas por su excelente manejo forestal, y muchos de ellos certificados ante diferentes organismos; esta condición permite seleccionar fenotipos sobresalientes en características morfológicas estrictas (Márquez-Ramírez, 2007; INIFAP, 2008).

En este sentido, en cuanto a las variables analizadas para los conos por fenotipo selecto de *Pinus patula* var. *longipedunculata* se obtuvo un diámetro polar mayor de 8.86 cm y menor de 4.01 cm; resultados similares reporta Cruz-Jiménez (2007) para la misma especie, con diámetros polares máximos y mínimos de 8.7 y 3.8 cm, respectivamente. Además, los resultados coinciden en el número de escamas totales y número de semillas por cono reportados para un bosque natural de *Pinus echinata* Mill. (Cain y Shelton, 2000).

En el análisis de la semilla el diámetro polar más grande por fenotipo sobresaliente fue de 5.875 mm, mientras que el diámetro más pequeño de 4.124 mm; estos valores se encuentran incluidos en los intervalos encontrados por Márquez-Ramírez *et al.* (2007) en un huerto semillero ubicado en el Ejido El Berro, Veracruz, para tres cosechas 1999 [3.43-7.05 mm], 2001 [4.3-6.5 mm] y 2003 [3.65-6.21 mm]. Para el diámetro polar de la semilla en el presente estudio se obtuvo un intervalo de variación de 1.258 a 2.314 mm, lo cual se encuentra por debajo de lo reportado para esta variable en el huerto semillero de tres cosechas 1999, 2001 y 2003 [1.6-3.3] (Villegas-Jiménez *et al*,. 2016).

Existe alta variación en la producción de semilla tanto en árboles sobresalientes como en procedencias de los rodales naturales de *P. patula* var. *longipedunculata* evaluados, y ha sido reportada para *P. greggi* Engelm. ex Parl. (López y Donahue, 1995), *P. jaliscana* Pérez de la Rosa (Méndez-Guzmán *et al.*, 2001; Rebolledo-Camacho *et al.*, 2002), *P. oaxacana (*Aparicio-Rentería *et al.*, 2002), *P. hartwegii* (Sánchez *et al.*, 2002), *P. pseudostrobus (*Ramos-Suárez *et al.*, 2003*;* Hernández-Carmona *et al.*, 2003), *P. hartwegii* Lindl. (Alba-Landa *et al.*, 2003), *P. greggii* (Morante *et al*., 2005), *P. cembroides* Zucc. (González-Ávalos *et al.*, 2006), *P. oaxacana* (Márquez-Ramírez, 2007) y *P. engelmannii* Carriére (Bustamante-García *et al.*, 2012).

Los fenotipos procedentes de Ixtlán de Juárez y Teococuilco sobresalen por la cantidad de semilla que generan (> 150 000 semillas kg^{-1}), sin embargo las procedencias de San Pedro Yolox contienen la mayor cantidad de escamas totales (138.2/cono) y de escamas infértiles (72.2/cono). Por otro lado, valorando la proporción de escamas fértiles con relación al total, los fenotipos procedentes de San Pedro el Alto mostraron la mayor cantidad (49.6%) y los valores más bajos se encontraron para las procedencias de Ixtlán de Juárez (43.9%). En este sentido, es recomendable utilizar en futuros programas de mejoramiento genético de la especie, germoplasma sexual de San Pedro el Alto, por su mayor eficiencia de escamas fértiles/cono, gracias a las bondades de su buen manejo forestal (Espinoza *et al*., 2009; Vallejos *et al*., 2010).

CONCLUSIONES

Los caracteres morfológicos y morfométricos analizados en conos y semillas de árboles seleccionados de *Pinus patula* var. *longipedunculata* del estado de Oaxaca mostraron diferencias notables entre fenotipos sobresalientes y sus procedencias. Se distinguen notablemente los fenotipos 61 y 68 (procedentes de San Pedro el Alto) por la mayor cantidad de escamas fértiles/cono, además de presentar características sobresalientes en altura, diámetro normal, edad

reproductiva, rectitud de fuste y forma de copa regular. El excelente manejo realizado por la comunidad de San Pedro el Alto a sus rodales naturales de esta especie, genera fenotipos deseables para futuros programas de mejoramiento genético.

LITERATURA CITADA

Alba-Landa, J., A. Aparicio-Rentería y J. Ramírez-Márquez. 2003. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de dos poblaciones de México. Foresta Veracruzana 5(1): 25-28.

Alba-Landa, J., L.C. Mendizábal-Hernández y J. Márquez-Ramírez. 2001. Comparación del potencial de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de dos cosechas en Los Molinos, Veracruz. Foresta Veracruzana 3(1): 35-38.

Aparicio-Rentería, A., L. del C. Mendizábal-Hernández y J. Alba-Landa. 2002. Variación en semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de dos cosechas procedentes de una población natural del estado de Veracruz, México. Foresta Veracruzana 4(2): 11-16.

Besnier, R. 1989. Semillas, biología y tecnología. Mundi-Prensa. Madrid, España. 24-28.

Bramlett, D.L., E.W. Belcher, G. L. Debarr, G. D. Hertel, R. P. Karrfalt., C. W. Lantz, T. Miller, K.D. Ware, y H.O. Yates. 1977. Manual de análisis de conos. Traducido por Flores, E. J. L. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. 3-21.

Bustamante-García, V., J. A. Prieto-Ruíz, E. Merlín-Bermudes, R. Álvarez-Zagoya, A. Carrillo-Parra y J. C. Hernández-Díaz. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. Madera y Bosques 18(3): 7-21.

Cain, M. D. and M. G. Shelton. 2000. Revisiting the relationship between common weather variables and loblolly-shortleaf pine seed crops in natural stands. New For. 19: 187-204.

Contreras-Zayas, J. L. 2009. Análisis de conos de *Pinus oaxacana* Mirov, de una población natural ubicada en Los Molinos, Perote, Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Genética. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 74 p.

Cruz-Jiménez, H. 2007. Análisis de conos de tres fuentes productoras de semilla de *Pinus patula* Schl. *et* Cham. Tesis de Maestría. Instituto de Genética Forestal. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 102 p.

Domínguez-Calleros, P. A., J. J. Navar-Chaidez, M. Pompa-Carcía y E. J. Treviño-Garza. 2016. Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León, México. Foresta Veracruzana 18(2): 29-36.

Dvorak, W. D., A. P. Jordan, J. L. Romero, G. R. Hodge y B. J. Furman. 2001. Cuantificación del rango geográfico de *Pinus patula* var. *longipedunculata* en el sur de México utilizando datos de marcadores morfológicos y RAPD. Southern African Forestry Journal 192 (1): 19-30.

Espinoza, H. M., J. Márquez-Ramírez, J. Alejandre-Rosas y H. Cruz-Jímenez. 2009. Estudio de conos de *Pinus pseudostrobus* lindl. en un relicto de la localidad el paso, municipio de la Perla, Veracruz, México. Foresta Veracruzana 11(1):33-38.

González-Ávalos, J., E. García-Moya, J. J. Vargas-Hernández, A. Trinidad-Santos, A. Romero-Manzanares y V. M. Cetina-Alcalá. 2006. Evaluación de la producción y análisis de conos y semillas de *Pinus cembroides* Zucc. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 12(2):133-138.

Hernández-Carmona, O., E. O. Ramírez-García, y L. Mendizábal-Hernández. 2003. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Foresta Veracruzana 5(2): 23-28.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2008. Metodologías para el establecimiento y manejo de unidades productoras de germoplasma forestal. INIFAP. México, D. F. 38 p.

López, U. J. and J. K. Donahue.1995. Seed production of *Pinus greggii* Engelm. in natural stands in México. Tree Planters' Notes 46(3): 87-98.

Márquez-Ramírez, J. 2007. Potencial y eficiencia de producción de semillas como indicadores del manejo de *Pinus oaxacana* Mirov. Tesis de Doctorado. Instituto de Genética Forestal. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 99 p.

Márquez-Ramírez, J., J. Alba-Landa y M. Hernández-López. 2007. Variación en semillas de siete familias y tres cosechas de *Pinus patula* Schl. *et* Cham. de un huerto de tercera generación de selección. Foresta Veracruzana 9 (1):35-43.

Martínez, A. E., A. B. Villa, P. C. Nieto de Pascual y E. C. González. 1994. Semillas forestales. Publicación especial No. 2. Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. Coyoacán, México. pp.14-15.

Menchaca, G. R. 2000. Variación de conos y semillas de *Pinus oaxacana* Mirov en tres sitios de la zona del Cofre de Perote. Tesis de Maestría. Instituto de Genética Forestal. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 61 p.

Méndez-Guzmán, M.P., L. del C. Mendizábal-Hernández y J. Alba-Landa. 2001. Variación de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de diferentes poblaciones. Foresta Veracruzana 3(2): 10-27.

Morante, C. J., J. Alba-Landa y L. del C. Mendizábal-Hernández. 2005. Estudio de conos, semillas y plantulas de *Pinus greggii* Engelm de una población del estado de Veracruz, México. Foresta Veracruzana 7(2): 23-31.

Niembro, R. A. 1986. Mecanismos de reproducción sexual en pinos. Ed. Limusa. México, D. F. 61 p.

Nyoka, B. I. 2002. *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. *In*: CAB International (comp). Pines of Silvicultural Importance. CABI Publishing. London, UK. 303 p.

Prieto, R. J. A. y J. López-Upton. 2006. Colecta de semilla forestal en el género *Pinus*. Folleto técnico No. 28. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México. pp. 13-17.

Ramos-Suárez, Y., L. Mendizábal-Hernández y V. Rebolledo-Camacho. 2003. Variación en semillas de cinco poblaciones de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa. Foresta Veracruzana 5(2): 35-40.

Rebolledo-Camacho, V., A. Aparicio-Rentería., R. J. Márquez. 2002. Variación de conos y semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de La Malinche, Tlaxcala y Cofre de Perote, Veracruz, México. Foresta Veracruzana 4(1): 12-19.

Sánchez, T. V., L. del C. Mendizábal-Hernández y V. Rebolledo-Camacho. 2002. Variación en conos y semillas de *Pinus cembroides* subsp. o*rizabensis* D. K. Bailey de Las Cuevas, Altzayanca, Tlaxcala. Foresta Veracruzana 4(1): 25-30.

Vallejos, J., Y. Badilla, F. Picado y O. Murillo. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. Agronomía Costarricense 34(1): 105-119.

Vázquez, T. V., y R. R. Zulueta.1994. Recursos Forestales. Primer Simposio sobre Problemática Ambiental en el Estado de Veracruz. Resúmenes de ponencias. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 13-17.

Villegas-Jiménez, D.E., G. Rodríguez-Ortiz, J. L. Chávez-Servia, J. R. Enríquez-del Valle y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Gayana Botanica 73: 113-123.

Wormald, T. J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry Papers No. 7. Department of Forestry. Commonwealth Forestry Institute. University of Oxford. Oxford, England. 72 p.

EFECTO DE DIVERSOS LOMBRIHUMUS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y DESARROLLO DE TRASPLANTES DE HORTALIZAS[1]

[EFFECT OF DIFFERENT VERMICOMPOST ON SEED GERMINATION AND TRANSPLANT DEVELOPMENT OF VEGETABLES]

Martina Hilda Gracia Valenzuela, Flor Guadalupe Melendrez Cárdenas, Julio César García Urías, Cinthia Vianey García Madero, Cinthia Yuriana García Cabanillas, Joe Luis Arias-Moscoso[§]

Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui (ITVY), Av. Tecnológico block 611, Bácum, San Ignacio Río Muerto, Ciudad Obregón, Sonora, México. Tel. (643)4357100. C.P. 85275. [§]Autor para correspondencia: (jarias.moscoso@itvy.edu.mx).

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar un material orgánico de bajo costo y fácil obtención, que sea un medio ideal para la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Savigny) cuya excreta da origen al lombrihumus, se propuso el uso de subproductos de la crianza de animales de la región, como son el estiércol de cerdo (cerdaza), estiércol de bovino (bovinaza) y estiércol de gallina (gallinaza), los cuales son abundantes y pueden ser utilizados como sustratos en la elaboración de compostas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de tomate, pepino y calabaza, bajo el efecto de lombrihumus obtenido con los diferentes sustratos antes mencionados y la mezcla de bovinaza con gallinaza (mix). Se evaluaron los parámetros de desarrollo de las plántulas, longitud de planta, longitud de raíz, número raíces secundarias, número de hojas verdaderas y el peso de la planta. Los valores más altos fueron obtenidos por el lombrihumus de cerdaza, seguido por el lombrihumus de gallinaza. Las plantas en el sustrato mezcla obtuvieron los valores más bajos en todos las variables.

Palabras clave: cerdaza, efectividad biológica, hortalizas, lombrihumus, lombriz roja.

ABSTRACT

In order to evaluate a low cost and easy to obtain organic material, which is an ideal medium for the California red worm (*Eisenia foetida* Savigny) whose excreta gives rise to the vermicompost, the use of byproducts of animal husbandry in the region was proposed, such as pig manure (sow), bovine manure and chicken manure (poultry manure), which are abundant and can be used as substrates in the compost production. The objective of the present work was to evaluate seed germination and seedling growth of tomato, cucumber and squash, under the effect of vermicompost obtained with the different substrates mentioned above and the mixture of bovine manure with chicken manure (mix). Seedling development parameters, plant length, root length, secondary root number, number of true leaves and the weight of the plant were evaluated. The highest values were obtained by the vermicompost from pig manure, followed by the

[1] Recepción 04-sep-2018
Aceptación 22-oct-2019

vermicompost from chicken manure. The plants which grew in the substrate mix obtained the lowest values in all the characteristics.

Index words: biological effectiveness, pig manure, red worm, vegetables, vermicompost.

INTRODUCCIÓN

El lombrihumus es el resultado de la digestión del alimento proporcionado a la lombriz (Miller y Donahue, 1995) que incorporado al suelo mejora las características físicas y químicas del mismo y ayuda a la nutrición vegetal (Brandy y Well, 2008). Se calcula que el lombrihumus tiene una flora bacteriana de 20,000 millones de bacterias por gramo seco, y un alto contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, que combinados hacen más asimilables los nutrientes (Aguilera, 2009). La incorporación de éste en los sustratos constituye una fuente de liberación lenta de nutrientes que modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que ha demostrado mejoras significativas en el crecimiento de las plantas (Hidalgo y Harkess, 2002). Mejora la estructura del suelo haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y compactos a los arenosos; mejora la porosidad, permeabilidad y aireación e incrementa la capacidad de retención de humedad (Macz-de la Cruz, 2013).

En las propiedades químicas, por su pH alcalino incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre; fundamentalmente del nitrógeno a través del lento proceso de mineralización (Macz-de la Cruz, 2013). En la parte biológica, la materia orgánica es el sustrato y la fuente de energía que permitirá el incremento y diversificación de la flora microbiana endosimbionte del intestino de la lombriz, estos producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y compuestos fenólicos, aumentando la mineralización del carbono y nitrógeno del material ingerido (Edwards *et al.,* 2004; Villegas-Cornelio y Laines-Canepa, 2017).

Las lombrices epigeas se encargan de fraccionar el sustrato orgánico estimulando la actividad microbiana e incrementando la tasa de mineralización, de forma que el residuo orgánico se transforma rápidamente en un segundo sustrato humificado, cuya textura y tamaño de partícula es más fina que el composteo tradicional (Natarjan y Nirmala, 2014; Lim *et al.*, 2014). Entre las pocas especies de lombrices que pueden explotarse en cautividad está la lombriz Roja californiana (*Eisenia foetida* Savigny), la cual gracias a sus características morfológicas y fisiológicas le han permitido una alta adaptación, la hacen una excelente fábrica procesadora de todo tipo de materia orgánica en descomposición (Toccalino *et al*., 2004). Muchos estudios han evaluado el uso de lombrices para la transformación de estiércoles, desechos sólidos y desechos industriales (Natarjan y Nirmala, 2014; Lim, *et al.*, 2014). En el caso de los estiércoles se han realizado estudios con el uso de estiércol de bovino (Castillo *et al*., 2000; Loh *et al.*, 2005; Villegas-Cornelio y Laines-Canepa, 2017), estiércol de cabra (Doube *et al.*, 1997; Loh *et al.*, 2005; Rostrán-Molina, *et al.,* 2016;) y cerdo (Domínguez y Edwards, 1997; Aira *et al.,* 2002).

El estiércol de cerdo es un material muy productivo para el crecimiento de lombriz, hay que tener ciertas consideraciones al hacer uso de este material para no provocar la muerte de las lombrices (Rovesti, 2003). El estiércol de bovino es de fácil manejo, debido a su menor compactación y acidificación lo cual ayuda al crecimiento de la lombriz (Morales-Munguía *et al*., 2009).

El uso óptimo de lombrihumus incrementa la producción y disminuye los costos al reducir la utilización de fertilizantes sintéticos (Natarjan y Nirmala, 2014; Lim, *et al*., 2014). Márquez-Quiroz *et al*. (2014) compararon la utilización de biosólidos con una mezcla de turba, bocashi y lombrihumus en la fertilización de tomate con buenos rendimientos.

Con base a lo anteriormente mencionado se realizó la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de cuatro lombrihumus obtenidos con diferentes sustratos (cerdaza, bovinaza, gallinaza y una mezcla de estiércol de bovino y gallinaza) en su efecto sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres especies hortícolas comerciales, tomate, pepino y calabaza.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, ubicado en Avenida Tecnológico, Block 611, Bácum, 85275 San Ignacio Río Muerto, Sonora, desde el mes de abril a septiembre del 2016.

Los tratamientos evaluados fueron cuatro sustratos de lombrihumus obtenidos a partir de diferentes materiales: 1) estiércol de cerdo (cerdaza), 2) estiércol de bovino (bovinaza), 3) estiércol de gallina (gallinaza) y, 4) una mezcla de estiércol de bovino y gallinaza (mix). Los sustratos utilizados fueron obtenidos de las mismas instalaciones del Instituto Tecnológico y aplicados como base para el cultivo de hortalizas.

Las plántulas utilizadas fueron, de tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad saladette, pepino (*Cucumis sativus*) variedad espada y calabaza (*Cucurbita pepo*) variedad gris, se utilizó semilla con un poder germinativo del 90%, libre de patógenos transmitidos por semilla libre de semilla de maleza.

Elaboración de composta

Cada material a compostear se colocó en un área de aproximadamente 4 m^2, que en la parte de abajo se colocó un hule para impedir la filtración (Reinés *et al.*, 2004). En el perímetro y dentro de composta se agregó 100% de estiércol (según el tratamiento), 40% restos orgánicos de cocina proveniente de la cafetería y 30% gavilla de trigo para mejorar la relación carbono/nitrógeno (C/N) ideal para comenzar el compostaje es de 30 a 40/1 y al final de 10 a 15/1 (Díaz, 2002). Al material obtenido se le realizó un precompostaje (reposo) por 2-3 semanas antes de colocar las lombrices (López *et al*., 2003).

El proceso de compostaje requirió de tres meses para poder obtener las propiedades adecuadas para el cultivo. Al cabo de este periodo se obtuvieron aproximadamente unos 20 kg de cada tipo de composta. De cada composta elaborada se tomaron tres muestras de 3 kg, se colocaron en cajones y se colocó en cada cajón 50 lombrices para cada tratamiento durante un periodo de tres meses tiempo en el cual se obtuvo el lombrihumus, para su posterior evaluación en la germinación de las hortalizas.

Germinación de hortalizas

Cada tipo de lombrihumus obtenido fue vaciado en tres charolas de semillero. Cada charola de poliestireno, con dimensiones de 33 cm ancho, 60 cm de longitud, 10 cm de altura, divididas en 128 cavidades de 55 cm^3. Se utilizó semilla de tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad saladette, pepino (*Cucumis sativus*) variedad espada y calabaza (*Cucurbita pepo*) variedad gris, con un poder germinativo del 90%, libre de patógenos transmitidos por semilla libre de semilla de maleza. El total de cavidades de cada charola se dividieron en tres espacios en donde se ocuparon 40 alveolos por especie.

Las semillas de tomate, pepino y calabaza fueron colocadas en los alveolos de las charolas con los diferentes sustratos sembrándolas a 0.3-0.5 cm de profundidad. Entonces las charolas con sustratos y semillas se colocaron en un invernadero, en donde se les proporcionó un riego al día. Durante un periodo de quince días se evaluó el porcentaje de semillas que germinaron, contando las plántulas emergidas contra las no emergidas, a los 30 días, se realizó la evaluación del vigor.

Evaluación de parámetros físicos de las plántulas

Para la toma de todas las muestras se utilizó el 50% de las plántulas de cada tratamiento, tomando 20 por charola, evaluando el peso total de la plántula, longitud de la plántula, hojas verdaderas, raíces primarias, longitud de raíz principal y raíces secundarias al final de un periodo de 35 días de cultivo, para la determinación del peso total y longitud de la plántula se siguió la metodología propuesta por Leskovar, 2001. Para el análisis de las hojas verdaderas se siguió la metodología propuesta por Castilla 2005. Para el análisis de las raíces primarias, longitud de raíz principal y raíces secundarias al final del periodo se siguió la metodología propuesta por Leskovar en 2001.

Análisis estadístico

Las evaluaciones para cada especie se realizaron como experimentos independientes. En cada experimento la unidad experimental fue un grupo de 20 plantas y se tuvieron tres repeticiones por tratamiento. Cada experimento se estableció de acuerdo a un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y la prueba de Tukey para comparación de medias. Las rutinas de análisis estadístico se realizaron con el paquete estadístico JMP. 9 (Mitchell, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran los resultados de los diferentes cultivos realizados con los distintos sustratos propuestos, eligiendo estas especies de las familias Solanaceae y Cucurbitaceae, por ser predominantes en los cultivos hortícolas de la región del Valle del Yaqui. Es importante mencionar que no se realizaron los análisis fisicoquímicos a los distintos lombrihumus obtenidos por lo cual la explicación de los distintos comportamientos está basado en lo encontrado por otros autores.

Germinación en charolas

Los valores de germinación más altos fueron obtenidos en las semillas que se establecieron en el sustrato elaborado con cerdaza siendo el sustrato elaborado con el mix el que obtuvo los valores más bajos para todos los cultivos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de semillas que germinaron en los diversos sustratos.

Sustrato	Tomate (%)	Pepino (%)	Calabaza (%)
Cerdaza	97.9 ±0.3[a]	94.8± 0.0[a]	93.7± 0.02[a]
Gallinaza	85.8± 0.3[b]	83.8± 0.0[b]	81.8 ±0.02[b]
Bovinaza	83.6 ±0.3[c]	81.7± 0.0[c]	79.5± 0.02[c]
Mix	75.3± 0.3[d]	73.8 ± 0.01[d]	69.6± 0.02[d]

Los valores muestran la media de tres repeticiones ± la desviación estándar. Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$).

Parámetros físicos de las plántulas

Longitud de planta

Los valores más altos de longitud de planta no mostraron diferencia significativa ($p< 0.05$) entre los sustrato de cerdaza y gallinaza en el cultivo de tomate (Cuadro 2), siendo las plantas en el sustrato de cerdaza las que obtuvieron los valores más altos respecto a los demás cultivos. Este comportamiento está relacionado con el contenido de nitrógeno que tiene el lombrihumus de cerdaza y gallinaza, ya que en estudios recientes se reportan valores entre 2.83 y 2.70% respectivamente (Morales-Munguía, 2009). Esta característica del sustrato son algunos de los parámetros determinantes en el desarrollo de cualquier cultivo (García-Arredondo *et al*., 2015).

Longitud de raíz

El sustrato con cerdaza fue el más apropiado para la germinación de semillas y desarrollo de las plántulas. No hubo diferencias significativas ($p< 0.05$) entre los sustratos de cerdaza y gallinaza en el cultivo de calabaza (Cuadro 4), este comportamiento relaciona el desarrollo de la longitud de la raíz con la longitud alcanzada por la planta, siendo los mismos sustratos los que obtuvieron los valores más altos en esta evaluación. De nueva cuenta este desarrollo se puede atribuir al contenido más elevado de nitrógeno presente en estos sustratos, además de nitrógeno presente en el sustrato de cerdaza, el pH que tiene es otro factor que favorece el desarrollo de esta hortaliza el cual oscila entre 5.5 y 6.8 (Casanova *et al.*, 2007; Martín *et al.*, 2007; García-Arredondo *et al.*, 2015; Picón., 2013).

Número de raíces secundarias

En general las plantas establecidas en el sustrato elaborado con cerdaza fueron las que obtuvieron los valores más altos, mientras que las plantas en el sustrato con Mix son las que obtuvieron los valores más bajos, independiente del tipo de hortaliza cultivada. El número de raíces no tuvo diferencia significativa ($p< 0.05$) entre los cultivos de tomate y calabaza con sustrato de cerdaza y gallinaza (Cuadros 2 y 4). En el presente trabajo el comportamiento similar de crecimiento de

raíces entre ambos cultivos sugiere que la composición de los sustratos es responsable de los valores obtenidos lo cual puede estar relacionado con el contenido de nitrógeno, carbono orgánico y pH que poseen estos sustratos (Casanova *et al*., 2007; Morales-Munguía, 2009). Se sabe que el carbono orgánico es responsable del crecimiento de raíces, debido a que este elemento afecta las propiedades químicas físicas y biológicas del suelo, mejorando la absorción de agua, el intercambio catiónico y liberando nutrientes (Martínez *et al*., 2008).

Número de hojas verdaderas

Los valores obtenidos para las plantas de calabaza (Cuadro 4) establecidas en los distintos sustratos no mostraron diferencias significativas en la cantidad de hojas verdaderas ($p< 0.05$). Por lo cual podemos suponer que la composición química de los sustratos no tuvo efecto en el desarrollo de las hojas para este tipo de hortalizas, durante la etapa de iniciación de las plántulas. El comportamiento fue similar en las plantas de pepino (Cuadro 3) en donde no hubo diferencia significativa entre los sustratos elaborados con cerdaza, gallinaza y bovinaza.

De manera general los valores más altos en los diferentes cultivos de hortalizas fueron obtenidos para el sustrato elaborado con cerdaza, seguido por el sustrato elaborado con gallinaza, hubo una diferencia significativa en comparación con los demás sustratos y lo cual se puede apreciar en la columna del número de hojas en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Tamaño de plántulas de tomate que crecieron en diferentes lombrihumus.

Sustrato	Longitud de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	N° de raíces Secundarias	N° de hojas verdaderas	Peso de la planta (g)
Cerdaza	20.46 ± 0.03^{a}	6.5 ± 0.02^{a}	51.8 ± 0.08^{a}	4 ± 0.01^{a}	1.83 ± 0.01^{a}
Gallinaza	19.4 ± 0.04^{a}	5 ± 0.02^{b}	50.1 ± 0.08^{a}	4 ± 0.01^{a}	1.65 ± 0.01^{b}
Bovinaza	16.5 ± 0.04^{b}	4.8 ± 0.02^{bc}	46 ± 0.08^{b}	3 ± 0.01^{b}	1.51 ± 0.01^{c}
Mix	14.4 ± 0.03^{c}	4.03 ± 0.02^{c}	39.6 ± 0.08^{c}	2 ± 0.01^{c}	1.03 ± 0.01^{d}

Los valores muestran la media de tres repeticiones ± la desviación estándar. Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$).

Cuadro 3. Tamaño de plántulas de pepino que crecieron en diferentes lombrihumus**.**

Sustrato	Longitud de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	N° de raíces secundarias	N° de hojas verdaderas	Peso de la planta (g)
Cerdaza	12.8 ± 0.07^{a}	4.9 ± 0.04^{a}	11.6 ± 0.05^{a}	3.0 ± 0.01^{a}	1.38 ± 0.02^{a}
Gallinaza	10.5 ± 0.07^{b}	4.6 ± 0.04^{b}	9.6 ± 0.05^{b}	2.9 ± 0.01^{a}	1.32 ± 0.02^{b}
Bovinaza	9.5 ± 0.07^{c}	4.2 ± 0.04^{c}	9.3 ± 0.05^{b}	2.8 ± 0.01^{a}	1.25 ± 0.02^{c}
Mix	7.9 ± 0.07^{d}	3.1 ± 0.04^{d}	8.0 ± 0.05^{b}	1.9 ± 0.01^{b}	1.06 ± 0.02^{d}

Los valores muestran la media de tres repeticiones ± la desviación estándar. Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$).

Peso de la planta

A mayor follaje mayor peso de la planta, lo que se traduce en mayor biomasa, al igual que en apartados anteriores los valores más altos para esta evaluación fueron obtenidos en las plantas que estuvieron en el sustrato elaborado a partir de la cerdaza en los diferentes cultivos.

Cuadro 4. Tamaño de plántulas de calabaza que crecieron en diferentes lombrihumus.

Sustrato	Longitud de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	N° de raíces secundarias	N° de hojas verdaderas	Peso de la planta (g)
Cerdaza	10.8± 0.08 ^{a}	3 ±0.09^{a}	11.6± 0.07^{ab}	2± 0.04^{a}	1.22± 0.02^{a}
Gallinaza	10.1 ±0.07^{b}	2.9± 0.08^{a}	12± 0.07^{a}	2 ±0.04^{a}	1.19± 0.02^{a}
Bovinaza	9.8 ±0.08^{c}	2.6 ±0.09^{b}	9.6± 0.07^{bc}	2± 0.03^{a}	1.07± 0.02^{b}
Mix	9± 0.08^{d}	2 ±0.09^{c}	8.6 ±0.07^{c}	2± 0.03^{a}	1.04± 0.02^{b}

Los valores muestran la media de 3 réplicas ± la desviación estándar. Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$).

En general, los resultados fueron significativamente superiores con sustrato de cerdaza lo cual se relaciona con sus características químicas y físicas. En estudios recientes se observa que el contenido de nitrógeno y carbón orgánico es mayor en sustratos elaborados a partir de cerdaza seguidos por sustratos de gallinaza y bovinaza (Morales-Munguía, 2009). Sin embargo, la mezcla de bovinaza y gallinaza (Mix) que se evaluó produjo un efecto antagonista y obtuvo los valores más bajos en todas las evaluaciones de los diferentes cultivos. Este comportamiento posiblemente relacionado con las características del lombrihumus, como se sabe el efecto de las lombrices sobre la composta independientemente de la fuente de materia orgánica, es la de alcalinizar la composta para conseguir un humus asimilable (Paco *et al*., 2011) y al ser de fuentes diferentes la alcalinización que se alcanzó por parte de las lombrices produjo valores insuficientes de pH lo cual se vio reflejado en el poco desarrollo de las plántulas evaluadas con este Mix. Ante esta situación es posible afirmar que las lombrices tuvieron un mejor efecto sobre el sustrato de cerdaza el cual obtuvo las mejores características, lo cual favoreció directamente al desarrollo de las plántulas, al menos en esta etapa de iniciación de cultivo de hortalizas.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente estudio fue posible realizar el cultivo en almácigo de las hortalizas (tomate, pepino y calabaza) establecidas en cuatro diferentes sustratos elaborados a partir de lombrihumus de distintos orígenes. La respuesta de germinación de semillas y el vigor de las plántulas de tomate ocurrió en el sustrato a base de lombrihumus de cerdaza, dando como resultado las mejores plántulas, seguido por el lombrihumus de gallinaza, lombrihumus de bovinaza y mix. El uso del estiércol de cerdo como base para la producción de lombrihumus tuvo un efecto benéfico en las características físicas evaluadas en el cultivo de hortalizas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui por el apoyo brindado para el desarrollo del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

Aira, M., F. Monroy, J. Domínguez and S. Mato. 2002. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. European Journal of Soil Biology. 38: 7-10.

Aguilera, R.A. 2009. Efecto del extracto del humus de lombriz, *Eisenia foetida*, en el desarrollo de la planta de rábano, *Raphanus sativus* (Brassicaceae) y en el control de *Myzus persicae* (Hemíptera: Aphididae) y *Helicover pazea* (Lepidóptera: Noctuidae). El Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. 22 p.

Brandy, N. y R. Well. 2008. The nature and properties of soils, 14th Edition. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall. 975 p.

Casanova, F., L. Ramírez, y F. Solorio. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. Avances en Investigación Agropecuaria 11(3): 41-52.

Castillo, A., S. Quarin and M. Iglesias. 2000. Vermicompost chemical and physical characterization from raw and mixed organic wastes. Agricultura Técnica 60(1): 74-79.

Castilla, N. 2005. "El medio radicular: suelo y sustratos". En: Invernaderos de plástico. Tecnología y Manejo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. pp 255-306.

Díaz, E. 2002. Guía de Lombricultura una alternativa de producción. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio de Capital de La Rioja, Argentina. 57 p.

Domínguez, J. and C. A. Edwards. 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of Eisenia andrei (Oligochaeta) in pig manure. Soil Biology & Biochemistry 29: 743-746.

Doube, B., O. Schmidt, K. Killham, and R. Correll. 1997. Influence of mineral soil on the palatability of organic matter for lumbricid earthworms 29(3-4): 569-575.

Edwards, C., J. Domínguez, and N. Arancon. 2004. The influence of vermicompost on plant growth and pest incidence. pp. 397-420. *In*: Shakir, S.H y Mikhail, W.Z. Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century. Self-Publisher. Cairo, Egypt.

García-Arredondo, I., L. Bañuelos Herrera, J.A. Gonzalez-Fuentes, y B.E. Zamora Martinez. 2015. Relación nitrógeno: potasio en el cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* l.) tipo zuchinni, cv., meteoro. Tesis de Licenciatura en agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahila, México. 42 p.

Gómez, D. y M. Vásquez. 2011. Abonos Orgánicos Serie: Producción Orgánica de Hortalizas de Clima Templado. Tegucigalpa, PYMEMURAL y PRONAGRO, Honduras. 27 p.

Guevara, E., & O. Guenni. 2013. Densidad y longitud de raíces en plantas de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit. Multiciencias 13(4): 372-380.

Hidalgo, P. & R. Harkess. 2002. Earthworm castings as a substrate amendment for chrysanthemum production. HortScience 37(7): 1035-1039.

Leskovar, D. 2001. Producción y ecofisiología del transplante hortícola. Texas A. and University. Buenavista Saltillo Coahuila. 18 p.

Lim, L. S., T. Yeong-Wu, P. Nie-Lim, and K.P. Yee-Shak. 2014. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. Journal of the Science of Food and Agriculture 95: 1143–1156.

Loh, T., Y. Lee, J. Liang, and D. Tan. 2005. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. Bioresource Technology 96(1): 111-114.

López, J. M. A., S. M. Hernández y M. P. Elorza. 2003. Evaluación de la densidad de población de la lombriz compostera (*Eisena andrei* Savigni). Revista Científica UDO Agrícola 3(1):12-16.

Macz-de la Cruz, J. E. 2013. Comparación de Lombrihumus elaborado con estiércol bovino, equino y caprino en términos de rendimiento y contenido de NPK. Tesis de licenciatura en zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala. San Carlos, Guatemala. 44 p.

Martínez, H.E., J.P. Fuentes y H.E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 8(1): 68-96.

Martín, G.M., R.A. Rivera y Y. Mujica. 2007. Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de N total. Cultivos Tropicales 28(4): 75-78.

Márquez-Quiroz, C., P. Cano-Ríos, A. Moreno-Reséndez, U. Figueroa-Viramontes, E. Sánchez-Chávez, E. De la Cruz-Lázaro, y V. Robledo-Torres. 2014. Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette en invernadero. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 110: 3-17.

Mitchell, K., T. Glover. 2008. An Introduction to Biostatistics. Long Grove: Waveland Press.

Miller, R. and R. Donahue. 1995. Soils in our environment. Prentice Hall & Englewood Cliffs, New Jersey, USA. pp 504.

Morales-Munguía, J.C., M.V. Fernández-Ramírez, A. Montiel-Cota, B.C. Peralta-Beltrán. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). Biotecnia 11(1): 19-26.

Muñoz, F. 2006. Experiencia de producción orgánica con lombrihumus en comunidades atendidas por el programa de desarrollo rural de la UCATSE. pp 111-112. *In*: Varela, G., Garibay, S. y Weidmann, G. 2006. 1er Encuentro Latinoamericano y del Caribe de productoras, productores, experimentadores y de investigadores en agricultura orgánica. Managua Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Nicaragua.

Natarjan, N. and K. S. Nirmala. 2014. The Use of Earthworm *Eudrilus eugeniae* in the Breakdown and Management of Poultry Waste. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology 8(9): 40-43.

Paco, G., M. Loza-Murguía, F. Mamani, and H. Sainz. 2011. Effect of the californian red worm (*Eisenia foetida*) during the composteo and vermicomposteo in properties of the Experimental Station of the Academic Rural Unit Carmen Pampa. Journal of the Selva Andina Research Society 2(2): 24-39.

Picón, R. 2013. Evaluación de sustratos alternativos para la producción de pilones del cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) en los municipios de Esquipulas y Chiquimula, departamento de Chiquimula. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, centro universitario de oriente.

Reinés M. M., C. Rodríguez, E. Vilches, M. García. 2004. Efecto del Alimento en el Desarrollo de las Lombrices de Tierra. Memorias del Primer Congreso Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. Guadalajara, Jal. Méx.

Rostrán-Molina, J.L., M.J. Bárcenas, X. Castillo, J.E. Escobar, K. Naruo, T. Tajiri. 2016. Manual de abonos orgánicos. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN – León). León, Nicaragua. 117 p.

Rovesti, L. 2003. Lombricultura, Manual Práctico. Producciones Gráficas Minrex. La Habana, Cuba. 13 p.

Toccalino, P.A., M.C. Agüero, C.A. Serebrinsky, y J.P. Roux. 2004. Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) según estación del año y tipo de alimentación. Revista electrónica de Veterinaria 15(2): 65-69.

Vallejo-Cabrera F.A. y E.I. Estrada-Salazar. 2004. Producción de Hortalizas de Clima Cálido. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 345 p

Villegas-Cornelio, V.M. y J.R. Laines-Canepa. 2017. Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(2): 393-406.

GERMINACIÓN Y ADAPTABILIDAD DE GRAMÍNEAS FORRAJERAS EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA[1]

[GERMINATION AND ADAPTABILITY OF FORAGE GRASSES IN THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA]

Lizbeth Hernández Sánchez[1], Yuri Villegas Aparicio[1§], Armando Gómez Vásquez[2], José Cruz Carrillo Rodríguez[1]

[1]Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Maestría en Productividad de Agroecosistemas, TecNM-SEP, Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. [2]División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa Tabasco, México. [§]Autor para correspondencia: (yuriva1968@gmail.com).

RESUMEN

La escasez de forraje para la alimentación del ganado en época de estiaje demanda establecer praderas con gramíneas de alto potencial forrajero incrementando la cantidad disponible. El objetivo fue evaluar la adaptabilidad de nueve genotipos de *Penisetum purpureum* y la germinación de semillas mediante la escarificación en dos cultivares de *Brachiaria brizantha*. Realizando el estudio en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Se utilizó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y ocho repeticiones. Las variables estudiadas son: altura de la planta, numero de hojas y tallos, determinando tasa de crecimiento de hojas, tallos y altura, relación hoja: tallo y el modelo de regresión. Sembrando semillas escarificadas en ácido clorhídrico, ácido acético, thinner, alcohol etílico, agua oxigenada al 2%, agua a 80ºC y combinación de temperaturas, para evaluar la germinación en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2*11 (dos cultivares de *Brachiaria* y 11 métodos de escarificación) con 22 tratamientos y 100 repeticiones, El genotipo Merkeron fue significativamente superior seguido por el Vruckwona con 103 y 51.4 hojas, 9.8 y 5.8 tallos y 2 y 1.5 m de altura, encontrándose correlación entre Talloc29:Hojac29 (r= 0.94343**), cuyo modelo de regresión explica un 90.1 % la variación existente de hojas. La combinación de temperatura e inmersión en ácido clorhídrico presentaron 40 y 29.17 % de germinación, cuyo índice de velocidad fue de 0.23 y 0.14 plantas/día. Concluyendo que los genotipos de mejor adaptación al clima fueron Merkeron y Vruckwona y la combinación de temperaturas incrementa el porcentaje de germinación de las semillas.

Palabras clave: establecimiento de gramíneas, escarificación, latencia, praderas.

ABSTRACT

The scarcity of forage for livestock feeding in the dry season demands establishing grasslands with high forage potential grasses increasing the amount available. The objective was to evaluate the adaptability of nine genotypes of *Penisetum purpureum* and germination of seeds by scarification in two *Brachiaria brizantha* cultivars, Carrying out the study in the Instituto Tecnológico Valle of Oaxaca. A completely randomized design was used with nine treatments and eight Replicates. The

[1] Recepción 18-enero-2019
Aceptación 12-diciembre-2019

variables studied are: height of the plant, number of leaves and stems, determining growth rate of leaves, stems and height, leaf: stem ratio and regression model. Seeding scarified seeds in hydrochloric acid, acetic acid, thinner, ethyl alcohol, 2% hydrogen peroxide, water at 80ºC and a combination of temperatures, to evaluate the germination in a completely randomized design with 2 * 11 factorial arrangement (two Brachiaria cultivars and 11 methods of scarification) with 22 treatments and 100 replicates. The Merkeron genotype was significantly superior followed by the Vruckwona with 103 and 51.4 leaves, 9.8 and 5.8 stems and 2 and 1.5 m of height, being correlation between Talloc29:hojac29 (r = 0.94343 **), whose regression model explains 90.1% of the existing leaf variation. The combination of temperature and immersion in hydrochloric acid had 40 and 29.17% of germination, whose velocity index was 0.23 and 0.14 plants day-1. Concluding that the genotypes of better climate adaptation were Merkeron and Vruckwona and the combination of temperatures increases the percentage of germination of the seeds.

Index words: Establishment, scarification, latency, grassland.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina en México representa una de las principales actividades debido a la oferta de productos cárnicos de excelente calidad producidos en cualquier estado de la República, radicando el problema fundamental de la ganadería en la alimentación de los animales en la época de estiaje. Factor que influye de manera significativa en un sistema de producción (Rubio, 2013). Siendo un problema la insuficiente producción de granos y forrajes, en cantidad y calidad así como su almacenamiento y conservación, para la alimentación del ganado, disminuyendo considerablemente los procesos productivo, provocando la pérdida de peso, bajas tasas aparentes de parición (50-60%), la vulnerabilidad y muerte de los animales obligando a la reducción forzosa de los animales en los hatos (Martínez, 2009; Améndola, *et al.*, 2005; Gobierno del Estado, 2010; Partida-de la Peña, 2013).

En este contexto, resulta de interés el uso e introducción de especies forrajeras con alto rendimiento de forraje de buena calidad, excelente aceptación por el ganado y cuyas características adaptativas permitan potenciar la producción para contar con mayor forraje para la alimentación (Hernández *et al.*, 2016), consideran factores que limitan la producción de un material forrajero entre los más importantes se encuentra el clima, el manejo y la condición física, química y características ecológicas como fertilidad de suelo, mal drenaje y baja adaptación de las especies forrajeras, calidad de la semillas para su éxito ya que se presentan en la mayoría de las especies de bajo porcentaje de germinación debido a la latencia de las semillas, así como el tipo de material a utilizar, siendo la reproducción vegetativa predominante en muchos ambientes, tomando en cuenta que su limitante es la reproducción en ambientes similares al de la planta madre (Araya y Boschini, 2005; Doria, 2010; Luz, 2011, Castañeda *et al*., 2015).

Por su parte, la reproducción por semillas constituye el mecanismo de perennización por el que las plantas perduran generación tras generación, permite establecer especies en diferentes lugares; presentándose la baja disponibilidad, calidad y tamaño de la semilla, y otros factores que influyen como volumen, luz y tiempo de imbibición, limita la expansión y renovación de las áreas cultivadas, presentándose bajo e ineficiente porcentaje de germinación debido a la presencia de latencia de la semilla, factores del poco éxito obtenido en el establecimiento de praderas de estas importantes especies (Román, 2000; Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006; Dorian, 2010; Schwienbacher *et al*., 2011; Hernández *et al*., 2016).

Por ello, se deben utilizar especies con alta producción de biomasa, adaptabilidad a diversos climas, escarificación eficiente para revigorizar semillas envejecidas, acelerar y uniformar la germinación e incrementar los rendimientos de los cultivos bajo condiciones ecológicas óptimas y adversas, que permita una producción a bajo costo, que influye en el mantenimiento de la diversidad vegetal (Sánchez *et al.*, 2001; Citalán *et al*., 2012; Sterling y Guerra, 2010; Tapia *et al*., 2012*;* Unión Ganadera Regional de Jalisco, 2016).

Por lo cual, se realizó el estudio para determinar la adaptabilidad de varios genotipos de *Pennisetum purpureum* en la región de Valles Centrales de Oaxaca, así como la evaluación de diferentes métodos de escarificación que se pueden aplicar a semillas de *Brachiaria brizantha* cv Insurgente y cv Mulato II para aumentar el porcentaje y la velocidad de germinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, el cual se localiza en Nazareno Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, en las coordenadas 17^0 01´16" latitud norte y 96° 45' 51'' longitud oeste. Cuyo clima predominante es templado con lluvias en verano de 600 a 700 mm de precipitación, con temperaturas que van desde los 18 hasta 20ºC y cuyo suelo predominante es vertisol (62.88%), regosol (26.70%), leptosol (10.30%) y fluvisol (0.12%) (INEGI, 2008).

Para el primer experimento se utilizaron nueve genotipos de *P. purpureum* provenientes del centro Experimental (INIFAP) "La Posta" de Paso de Toro Medellín de Bravo Veracruz los cuales fueron: Elefante, Taiwán, Roxo, CT-115, Maralfalfa, Merkeron, Mott, Vruckwona y King Grass los cuales fueron sembrados en una parcela de 10 m de largo por 5 metros de ancho estableciendo surcos de cuatro metros de largo y 0.70 m entre surcos y 0.50 m entre plantas, cuya siembra se realizó en el mes de agosto de 2015 con una vareta (esqueje) de tres nudos cuyo grosor se encontraban entre los 2.5 y 5cm de los diferentes genotipos de *Pennisetum purpureum.*

Las variables de estudio consideradas fueron altura tomando esta desde el suelo hasta la hoja más alta de la planta con el apoyo de un metro, número de tallos contando la cantidad de tallos emergidos por esqueje, porcentaje de mortalidad tomando en cuenta las ocho estacas sembradas de cada genotipo como el 100 % y de éstas las que no presentaron tallos se consideraron muertas, número de hojas el cual se determinó mediante el conteo de las hojas presentes por macollo, a partir de éstos se obtuvo la tasa de crecimiento de hojas, tallos y altura, y acumulativo de tallos, hojas y altura, así mismo se determinó la correlación hoja: tallo para conocer la influencia que tiene la producción de tallos en la producción de hojas y el modelo de regresión para explicar la variación en la producción de hoja de los genotipos. Los datos de las variables fueron tomados cada 15 días por 73 días a partir de que se observó que las estacas ya se habían establecido por presentar rebrotes.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de datos en el programa estadístico SAS mediante un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y ocho repeticiones y comparación de medias transformadas a $\log^{10}$ por Duncan, debido a que los datos no cumplían con la prueba de normalidad y homogeneidad.

Experimento 2

En el segundo experimento correspondiente al proceso de escarificación de semillas se utilizó *Brachiaria brizantha* cv Insurgente y cv Mulato II, las cuales se obtuvieron mediante la compra con el grupo Papalotla ubicado en el estado de Chiapas, realizando la escarificación en ácido clorhídrico al 36 %, ácido acético (vinagre casero), diluyente de pinturas (thinner), agua a 80ºC, acetona, alcohol, agua oxigenada al 2 %, una combinación de temperaturas por tiempo determinado de acuerdo al tratamiento (Cuadro 1), así como un frasco de vidrio, vasos desechables, cajas Petri, algodón como sustrato para las cajas Petri, un refrigerador y una cámara de germinación. Posteriormente, las semillas escarificadas y sembradas fueron introducidas en una estufa de aire forzado una temperatura de 20°C.

Cuadro 1. Procedimientos físicos y químicos para eliminar la latencia.

Tratamiento	Número	Descripción
Químicos	1	Inmersión de la semillas en ácido clorhídrico al 36% durante 4 min.©
	2	Inmersión de la semilla en ácido acético (vinagre casero) durante 12 h.
	3	Inmersión de la semilla en un diluyente de pinturas (thinner) durante 15 min.
	4	Inmersión en alcohol etílico por 12 h.©
	5	Inmersión en acetona por 12 h.©
	6	Inmersión en agua oxigenada al 2% por 6 h
Físicos	7	Inmersión de la semillas en agua a 80ºC por 2 min. ®
	8	Inmersión de la semillas en agua a 80ºC por 4 min. ®
	9	Inmersión de la semillas en agua a 80ºC por 6 min. ®
	10	Combinación de temperatura 12 h a 3°C y posteriormente 12 h a 35°C.ɐ
Testigo	11	Semillas sin tratamiento alguno

©: Tapia *et al*., (2012). ®: Hernández *et al.*, (2012). ɐ: Unión Ganadera Regional de Jalisco, (2016)

El experimento se estableció de acuerdo a un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2 x 11, donde el factor "A" correspondió a las dos variedades (Insurgente y Mulato II) y el factor "B" correspondiente a los 11 tratamientos. Las semillas sometidas fueron sembradas en cajas Petri y algodón sometidas para su germinación, constando las unidades experimentales de 100 semillas. Las variables tomadas fueron porcentaje de germinación y la velocidad en días de germinación mediante la fórmula propuesta por Maguirre (1962). Los datos obtenidos se trasformaron en raíz cuadrada para evitar heterocedasticidad, las medias se compararon mediante Duncan debido a que no cumplían con las pruebas de normalidad y homogeneidad, para analizar los datos se utilizó el paquete SAS

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los genotipos de *Pennisetum purpureum*

Los genotipos muestran diferencia significativa en cuanta a la adaptabilidad sobresaliendo el genotipo Merkeron presentando a los 73 días después de la siembra (dds) 103 hojas, 9.8 tallos y

dos metros de altura, cuya tasa de crecimiento medio fue de 10.3 hojas, 0.2 tallo, 0.3 m de altura respecto a la presente a los 65 días con tan solo 92.8 hojas, 9.7 tallos y 1.7 m de altura, seguido por el genotipo Vruckwona y Taiwán con 51.4 y 49.1 hojas, y 5.8 y 5.4 tallos y 1.5 y 1.7 metros de altura respectivamente a los 73 dds (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Promedio del número de hojas, tallos y altura en diferentes días después de la siembra (dds).

Genotipo	Hojas (n°)			Tallos (n°)			Altura (m)		
	30	65	73	30	65	73	30	65	73
King Grass	22.2 a	46.0 b	48.6 b	4.2 ab	5.2 b	5.0 b	0 a	1.3 a	1.5 a
Merkeron	19.7 a	92.8 a	103.2 a	5.8 a	9.7 a	9.8 a	0 a	1.7 a	2.0 a
Maralfalfa	16.0 ab	30.8 b	33.6 b	3.4 ab	4.0 b	4.0 b	0 a	1.1 ab	1.3 ab
Elefante	14.9 ab	38.1 b	36.4 b	3.3 ab	3.9 b	4.0 b	0 a	1.6 a	1.7 a
Taiwán	14.7 ab	46.3 b	49.1 b	3.1 ab	5.4 b	5.4 ab	0 a	1.5 a	1.7 a
Ct115	10.8 ab	39.5 b	42.3 b	1.8 b	5.2 b	5.5 ab	0 a	1.3 a	1.4 a
Vruckwona	9.8 ab	50.0 b	51.4 b	2.0 b	5.4 b	5.8 ab	0 a	1.3 a	1.5 a
Mott	8.4 ab	18.0 b	23.8 b	2.2 b	3.2 b	2.8 b	0 a	0.5 b	0.6 b
Roxo	5.6 b	11.6 b	13.9 b	1.5 b	1.5 b	1.6 b	0 a	0.5 b	0.6 b

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Cuadro 3. Promedio de la tasa de crecimiento de hojas, tallos y altura en diferentes días después de la siembra (dds).

Pasto	TCC de hojas (N° de hojas)			TCC de tallo (N° tallos)			TCC de altura (m)		
	30	65	73	30	65	73	30	65	73
King Grass	22.2 a	23.8 b	2.6 a	4.2 ab	1.0 c	0.2 a	0 a	1.3 a	0.2 a
Merkeron	19.7 a	73.2 a	10.3 a	5.8 a	3.8 a	0.2 a	0 a	1.7 a	0.3 a
Maralfalfa	16.0 ab	14.8 b	2.8 a	3.4 ab	0.6 c	0.2 a	0 a	1.1 ab	0.2 a
Elefante	14.9 ab	23.3 b	1.7 a	3.3 ab	0.6 c	0.1 a	0 a	1.6 a	0.1 a
Taiwan	14.7 ab	31.6 b	2.9 a	3.1 ab	2.3 abc	0.0 a	0 a	1.5 a	0.3 a
Ct115	10.8 ab	28.7 b	2.8 a	1.8 b	3.3 ab	0.3 a	0 a	1.3 a	0.1 a
Vruckwona	9.8 ab	40.2 b	1.4 a	2.0 b	3.4 ab	0.4 a	0 a	1.3 a	0.2 a
Mott	8.4 ab	11.8 b	5.8 a	2.2 b	1.3 bc	0.4 a	0 a	0.5 b	0.0 a
Roxo	5.6 b	7.1 b	2.3 a	1.5 b	0.4 c	0.1 a	0 a	0.5 b	0.0 a

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05). TCC: Tasa de crecimiento.

Las diferencias encontradas están relacionadas con el desarrollo del forraje entre las variedades de los cultivares de *Pennisetum* y las interacciones como pueden ser clima y cosechas de los mismos, ya que los genotipos utilizados tienen variabilidad genética moderada y cuya información existente es escasa, además de las condiciones climáticas argumentando que la temperatura ambiental, como resultado de la radiación solar, tiene una función importante en la interacción del

clima-vegetación (Machado y Machado, 1988; Ramos *et al.*, 2013; Uvidia *et al.*, 2014 y Ramos-Trejo *et al.*, 2015).

De acuerdo a los datos de material vegetal acumulativo obtenidos, los genotipos muestran diferencias significativas sobresaliendo el genotipo Merkeron presentando 9.8 tallos, 103.2 hojas y 2 metros de altura de la planta, seguido por el genotipo Uorurkwona y el Taiwán en cuanto a la producción de hojas y tallos se refiere presentando estos 51.4 y 49.1 hojas y 5.8 y 5.4 tallos respectivamente, sin embargo, de acuerdo al acumulativo de altura el Merkeron fue seguido por los genotipos Taiwán y Elefante con una altura de 1.7 metros (Cuadro 4). Debiéndose está variabilidad a la fertilidad del suelo y demás a condiciones ambientales como lo encontrado por García *et al.* (2014) y Lok *et al.* (2009) quienes reportan que el rendimiento va a depender en gran parte de la altura de la planta ya que en sus investigaciones reportan rendimiento altos de MS cuando las plantas presentan alturas superiores con 40 t ha^{-1} en promedio.

La acumulación de tallos encontrado fue bajo, presentando Merkeron y Vruckwona 9.8 y 5.8 tallos respectivamente (Cuadro 4), condicionado el rendimiento por el tipo de siembra la cual se efectuó a 0.50 m entre plantas y 0.70 m entre surcos concordando con Nava *et al.* (2013) y García *et al.* (2014) que a mayor densidad de plantas por hectárea la producción de tallo se ve afectada, encontrando García *et al.* (2014) 10.2 y 11.6 tallos para King grass y CT115, a una distancia de 0.90 m entre plantas mientras que Nava *et al.* (2013) reportan una producción de 18.4 y 19.6 % de materia seca correspondiente a los tallos producidos con densidad de 11 350 y 17 850 plantas por hectárea lo que sugiere que a mayor densidad menor producción de tallos existe.

Cuadro 4. Promedio acumulativo de hojas, tallos y altura a los 73 días después de la siembra.

Pasto	Acumulativos de Tallo (N°)	hojas (N°)	Altura (m)
King grass	5.0 b	48.6 b	1.5 a
Merkeron	9.8 a	103.2 a	2.0 a
Maraalfalfa	4.0 b	33.6 b	1.3 ab
Elefante	4.0 b	36.4 b	1.7 a
Taiwan	5.4 a	49.1 b	1.7 a
Ct115	5.5 a	42.3 b	1.4 a
Vruckwona	5.8 a	51.4 b	1.5 a
Mott	2.8 b	23.8 b	0.6 b
Roxo	1.2 b	13.9 b	0.6 b

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Análisis de correlación

Todas las correlaciones entre las variables fueron significativas. Los coeficientes más altos se presentaros entre tallosep, hojasep, talloc21, alturao21, talloc29, hojaoc29. La mejor correlación se obtuvo entre talloc29 y hojaoc29 (r= 0.94343**), tallosep y hojasep (r= 0.92851**) (Martínez, 2009), que de acuerdo a los análisis realizados se puede estar de acuerdo con Wagner y Colon

(2014), quien indica que Merkeron obtuvo la mejor producción de hojas en relación al número de tallos presentes por macollos.

Análisis de regresión

De acuerdo al análisis de regresión se obtuvo que la altura y el número de tallos de los pastos explican en un 90.1% la variación que existe en la cantidad de hojas de los pastos. Con un 26.02 por ciento de confiabilidad de precisión y una probabilidad <.0001 que indica que el modelo es altamente significativo, teniendo que el modelo estimado es: $hoja = -10.084 + 8.78(tallo) + 8.127(altura)$.

De acuerdo a este análisis de correlación y regresión se establece que la producción de hojas depende del número de tallo, y de la altura de la planta presentando estas variables una fuerte correlación como lo menciona Calzada *et al.* (2014) quien encontró que la producción de biomasa de tallo y de material muerto del pasto Maralfalfa esta correlacionado de manera positiva. Mencionando que la máxima tasa de crecimiento, coinciden con la máxima producción de hojas y tallos y con la mayor producción de biomasa total.

Análisis clúster

Mediante el análisis de conglomerados (clúster) (Figura 1) se identificaron tres grupos de genotipos de *Pennisetum* denominados: a b y c. determinando la diferenciación o la similitud de los genotipos El grupo "a" constituido por el genotipo Merkeron a una distancia promedio de 104.5, con 10 tallos en promedio, 103 hojas presentando una altura promedio de 2.03 y un 25 % de mortalidad, el grupo "b" constituida por el genotipo Mott presentando este cuatro tallos con 30 hojas y una altura de 0.7 cm con una mortalidad del 50 % de las estacas sembradas y el grupo "c" constituido por el genotipo Roxo contando este con 2 tallos, 19 hojas una altura promedio de 0.75 m y un 25 % de mortalidad en las estacas sembradas.

Así mismo se formaron subgrupos los cuales fueren b1 y c1, el subgrupo "b1" a una distancia promedio de 59.508 y el subgrupo "c1"a una distancia promedio de 41.199 dividiéndose el subgrupo c1 en dos grupos con dos genotipos a una distancia de 39.199, correspondientes a los genotipos Elefante y Taiwán presentando estos una similitud en el porcentaje de mortalidad de las estacas con un 13 % y una altura de 1.72 y 1.73 m respectivamente así como el genotipo Maralfalfa y King grass con un 38 % de mortalidad de las estacas sembradas con cuatro y cinco tallo respectivamente y una altura de 1.29 y 1.54 m.

Los genotipos independientemente de las condiciones edafoclimáticas expresando marcada variación entre sus individuos en algunas variables y se agrupan en función de estas como son número tallos y hojas, altura y el porcentaje de germinación lo que representa un elemento positivo para su caracterización, probablemente existen individuos capaces de mostrar o no mejor comportamiento en suelos como en el del estudio, lo que indica que estos genotipos tienen la capacidad de adaptarse a este suelo y clima lo que pudiera estar asociado a la posibilidad que poseen el genoma individual de responder al medio (Hidalgo, 2003; Castañeda, Olivera y Wencomo, 2015).

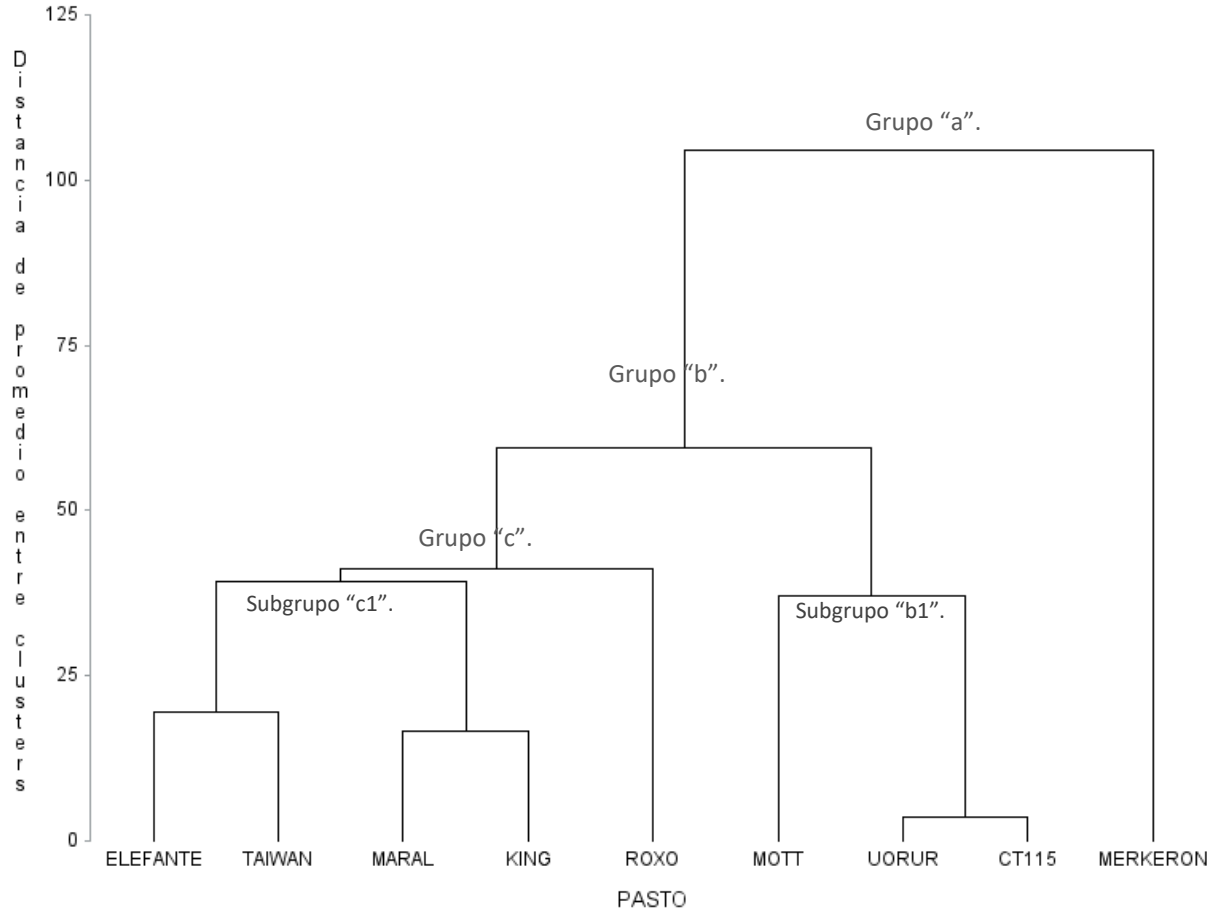


Figura 1. Dendrograma de nueve genotipos de *Pennisetum purpureum* por conglomerados, agrupando la varianza mínima de Ward, basado en características de altura, número de tallos, número de hojas. Formado tres grupos a b y c y dos subgrupos b1 y c1.

Análisis de las pruebas de germinación

En los análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas ($p<0.0001$ y 0.0007) en los diferentes factores y su interacción (especie y tratamientos aplicados a las semillas) para todas las variables de estudio. El porcentaje de germinación (12.12 %) de las semillas, su velocidad media de germinación (1 planta día^{-1}) y su germinación acumulada (12.12 %) del zacate Mulato fueron mayores pero muy similares a los obtenidos con el zacate Insurgente (Cuadro 5).

El efecto de los tratamientos pre germinativos fue estadísticamente diferente en todas las variables de estudio, siendo el grupo de semillas sometidas a combinación de temperaturas (expuestas primeramente a 3 °C por 12 h y posteriormente a 35 °C por 12 h) donde se presentó mayor porcentaje de germinación con un 40 %, cuyo índice de velocidad fue de 0.23 plantas día $^{-1}$ y una germinación acumulada de 40 % seguido por las semillas escarificadas con ácido clorhídrico al 36 % encontrándose 29.17 % de germinación, un índice de velocidad de 0.14 plantas día $^{-1}$ y germinación acumulada de 29.17 % (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de medias de las diferentes variables por especie y tratamiento.

Tratamiento Especies	**Comparación de medias por tratamientos**		
	Porcentaje de germinación	**Índice de velocidad de germinación**	**Germinación acumulada**
Mulato ll	12.12 a	0.01 a	12.12 a
Insurgente	10.61 a	0.01 a	10.61 a
Tratamientos aplicados a las semillas			
Combinación de temperatura (a 3 – 35°C)	40.00 a	0.23 a	40.00 a
Ácido clorhídrico al 36 %	29.17 a	0.14 bc	29.17 a
Tinner	15.00 b	0.14 b	15.00 b
Agua a 80°C por dos min	15.00 b	0.10 bc	15.00 b
Agua oxigenada	14.17 b	0.06 bc	14.17 b
Testigo	10.83 bc	0.05 bc	10.83 b
Alcohol	0.83 c	0.00 c	0.83 c
Agua a 80°C por seis min	0.00 c	0.00 c	0.00 c
Acetona	0.00 c	0.00 c	0.00 c
Vinagre	0.00 c	0.00 c	0.00 c
Agua a 80°C por cuatro minutos.	0.00 c	0.00 c	0.00 c

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

De acuerdo a lo obtenido y comparado con diferentes resultados, se destaca que la técnica de hidratación y deshidratación mediante la combinación de temperaturas mantiene un nivel de humedad lo que desencadena una serie de eventos bioquímicos-fisiológicos asociados al proceso de pre germinación lo que permite superar la latencia mediante el acondicionamiento para incrementar su capacidad de mejorar la permeabilidad de las testas (entrada de agua), acelerar y uniformar la germinación y el establecimiento (Manjkhola *et al*. 2003, Martínez *et al*., 2013).

Debido a que los resultados sugieren que la estratificación en frío y la deshidratación posterior actúa como un promotor de la germinación mediante la activación general del aparato metabólico relacionado con la fase pre germinativa restaurando la integridad de las células a través de la síntesis de lípidos, proteínas, ARN Y ADN activando mecanismos de reparación de ADN, proteínas, membranas, enzimas y los sistemas desintoxicantes, confiriéndoles resistencia a condiciones ambientales adversas induciendo la tolerancia a la sequía (Sánchez *et al.* 2001 y Manjkhola *et al*. 2003)

Por ende se considerando la temperatura como uno de los factores más importantes en la germinación de la mayoría de las especies vegetales, reportando Balaguera *et al.* (2010) que la escarificación en frio aumenta la síntesis de giberelinas y disminuyen la concentración de inhibidores de germinación de las semillas obteniendo en la estratificación de semillas de glupa (*pasiflora edulis)* una germinación activa con los tratamientos de 360 y 720 h a 4 °C y posteriormente 15 días cubiertos con plástico negro. Herrera (2001) encontró que la temperatura es muy importante para la germinación debido a que en su investigación de escarificación de semillas de *B. decumbens* escarificadas con KNO_3 Y H_2SO_4 y sometidas a temperaturas entre los

25 y 28 °C mostraron los mejores resultados superando el 50 y el 60 % de germinación de las semillas almacenadas por tres meses.

Así mismo, Reino (2011) en sus investigaciones menciona que en todas las especies estudiadas el factor tratamiento pre germinativo fue el más influyente en la germinación, encontrando los mejores resultados cuando las semillas fueron escarificadas con ácido sulfúrico y sometidas a una combinación de temperaturas alternas de 25/35 °C con un 100 % en semillas de *Indigofera sp*., 79 % en semillas de *Centrosema pubescens*.

CONCLUSIONES

Los genotipos de *Penisetum purpureum* que mejor se adaptan son Merkeron, Vruckwona y Taiwán por su mejor comportamiento en cuanto a la producción de hojas, la altura de la planta y número de tallos. La escarificación mediante la combinación de temperatura e inmersión en ácido clorhídrico al 36 % fueron los métodos eficaces para incrementar el porcentaje de germinación de las semillas de *Brachiaria brizantha*, siendo la combinación de temperaturas de fácil manejo y sin riesgo para el productor, además que este método aumenta el índice de velocidad de germinación.

.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por el apoyo brindado para el desarrollo del presente estudio. Al CONACyT por la beca otorgada al primer autor, estudiante de la maestría en Productividad de Agroecosistemas.

LITERATURA CITADA

Améndola, M. R. D., G.E. Castillo y H. P. A. Martínez. 2005. Perfiles por País del Recurso Pastura/Forraje, México. Consultado el 29 de mayo de 2017. https://studylib.es/doc/7367427/perfiles-por-pa%C3%ADs-del-recurso-pastura-f o r raje-m%C3%A9xico (Consultado 26 de abril de 2019).

Araya, M. M. y F. C. Boschini. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 16(1): 37-43.

Balaguera, H. E., J. G. Álvarez, y Cárdenas, J. 2010. Efecto de la estratificación fría y la cobertura plástica en semillas de gulupa (*Passiflora edulis* sims.) para la obtención de plántulas. Revista U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13(2): 89-97.

Calzada-Marín, J. M., J. F. Enríquez-Quiroz, A. Hernández-Garay, E. Ortega-Jiménez y S. I. Mendoza-Pedroza. 2014. Análisis de crecimiento del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 5(2): 247-260.

Castañeda L., Y. Olivera y B. H. Wencomo. 2015. Selección de accesiones de *Pennisetum purpureum* para fomentar sistemas de alimentación ganadera. Revista Pastos y Forrajes 38 (2): 170-175.

Citalán, C. L., C. B. Domínguez, Z. M. A. Orantes, C. A. Manzur, M. B. Sánchez, L. M. de los Santos, R. J. L. Ruiz, L. J. L. Cruz, Á. V. Córdova, J. J. A. Ramos y T. J. Nahed. 2012. Evaluación nutricional de Maralfalfa (*Pennisetum* spp) en las diferentes etapas de crecimiento en el rancho San Daniel, municipio de Chiapas de Corzo, Chiapas. Revista Quehacer Científico en Chiapas 1(13): 19-23.

Dorian, J. 2010. Revisión bibliográfica: Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Revista Cultivos Tropicales 31(1): 74-85.

Finch-Savage W. E. and G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of Germination. New Phytol 171(3): 501-23. doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x.

García L. M., A. R. Mesa y M. Hernández. 2014. Potencial forrajero de cuatro cultivares de *Pennisetum purpureum* en un suelo Pardo de Las Tunas. Revista Pastos y Forrajes 37(4): 413-419.

Gobierno del estado de Oaxaca. 2010. Plan Estratégico Sectorial Agropecuario Forestal y Pesquero Subsector Pecuario 2010-2016. https://www.finanzasoaxaca.gob.mx/pdf/planes/est_sectoriales/Oax acaReportes-Pecuario.pdf (Consultado el 28 de mayo de 2017).

Hernández F. E., C. A. R. Quero, T. B. M. Joaquín, G. A. Hernández y G. F. J. Hernández. 2016. Métodos de escarificación y germinación en *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(1): 173-184.

Hernández S. L., G. I. López, A. Y. Villegas, R. J. C. Carrillo y P. T. B. García. 2015. Evaluación de germinación, densidad y emergencia de *Leucaena leucocephala* con diferentes métodos de escarificación. Revista Mexicana de Agroecosistemas. (2) (Suplemento).

Herrera, J. 2001. Efecto del almacenamiento sobre semilla de *Brachiaria decumbens* tratada químicamente para interrumpir la latencia. Revista Tecnología en Marcha 13: 47-52.

Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: T. L. Franco y R. Hidalgo, eds. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico IPGRI No. 8. pp. 2-26.

INEGI. 2008. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca Clave geoestadística 20385. http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20385.pdf (consultado 10 de octubre de 2015).

Lok, S., G. Crespo, V. Torres, S. Fraga y A. Noda. 2009. Impacto de la tecnología de banco de biomasa de *Pennisetum purpureum* Cuba CT 115 en el sistema suelo-pasto-animal de una unidad de producción de leche con ganado vacuno. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 43: 307-313.

Luz, B. G. 2011. Propagación en pastizales naturales: rizomas y estolones vs semillas ¿quién gana? Ecología de Pastizales Naturales Recursos Naturales. INTA EEA Bariloche. N° 58, pp. 32-34.

Machado, R. y H. Machado 1988. Estimación de la adaptabilidad y estabilidad de variedades de *Pennisetum purpureum* en diferentes condiciones ambientales. Revista Pastos y Forrajes 11(3): https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1355

Maguirre, J. D. 1962. Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science 2: 176-177.

Manjkhola, S., U. Dhar and R. S. Rawal. 2003. Treatments to improve seed germination of *Arnebia benthamii*: an endangered medicinal herb of high altitude Himalaya. Seed Sci. Technol. 31(3): 571-577.

Martínez, O. 2009. El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. Rev. Haban. Cienc. Méd. 8: 2.

Martínez, S. J., A. Y. Villegas, J. R. Enríquez-del Valle, J. C. Carrillo-Rodríguez y M. A. Vásquez-Dávila. 2013, Estrategias de escarificación para eliminar la latencia en semillas de *Cenchrus ciliaris* L. y *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6:1263-1272. https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1289

Nava, C. J. J., E. Gutiérrez O., F. Zavala G., E. Olivares S., J. E. Treviño, H. Bernal B. y R. S. Herrera G. 2013. Establecimiento del pasto 'CT-115' (*Pennisetum purpureum)* en una zona semiárida del noreste de México. Revista Fitotec. Mex. 36(3): 239-244.

Partida-de la Peña, J. A., V. D. Braña, S. H. Jiménez, R.F. G. Ríos y R. G. Buendía. 2013. Producción de carne ovina. Libro técnico No. 5, ISBN: 978-607-37-0036-8.

Ramos, T. O., S. J. R. Canul y V. F. J. Duarte. 2013. Producción de tres variedades de *Pennisetum purpureum* fertilizadas con dos diferentes fuentes nitrogenadas en Yucatán, México. Revista Bio Ciencias 2(2): 60-68.

Ramos-Trejo, O. S., C. A Victoria-Graniel y J. J. Sandoval-Gío. 2015. Season, fertilization, and yield of varieties of *Pennisetum purpureum*. Agrociencia 49(8): 837-844.

Reino, J., J. A. Sánchez, B. Muñoz, Y. González y L. Montejo. 2011. Efecto combinado de la escarificación y la temperatura en la germinación de semillas de leguminosas herbáceas. Revista Pastos y Forrajes 34(2): 179-184.

Román, P.R. 2000. Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. Journal of the Mexican Chemical Society 44(3): 233-236.

Rubio, L. M. S., V. D. Braña, M. R. D. Méndez y S. E. Delgado. 2013. Sistemas de Producción y Calidad de carne Bovina. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Sánchez, J. A., R. Orta, y B. C. Muñoz. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. Revista Agronomía Costarricense 25(1): 67-91.

Schwienbacher, E., J. A. Navarro-Cano, G. Neuner y B. Erschbamer. 2011. Seed dormancy in alpine species. Revista Flora 206(10)3: 845-856. doi:10.1016/j.flora.2011.05.001

Sterling R. L. y G. C. E. Guerra. 2010. Segunda fase de la evaluación comparativa de los pastos maralfalfa, elefante verde y morado en el municipio de Pitalito, Huila (Colombia). Revista de Investigaciones. Memorias V Encuentro Nacional de Investigación, UNAD. pp. 533-540.

Tapia, A. M., A. Romero, V. Luque, P. Allolio, L. Nuñez y S. Aybar. 2012. Diferentes técnicas de ruptura de dormición y absorción de agua en semillas de *Prosopis chilensis*. Revista Biología en Agronomía 2(2): 7-15.

Unión Ganadera Regional de Jalisco. 2016. Rompimiento de latencia en semilla de gramíneas forrajeras. Consultado el 03 de marzo del 2016 disponible en: http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=521 (Consultado: 8-marzo-2019).

Uvidia, H., D. Buestán, I. Leonard y D. Benítez. 2014. La distancia de siembra y el número de estacas en el establecimiento del *Pennisetum purpureum*. Revista Electrónica de Veterinaria 15(7): 1-8.

Wagner B. y R. Colon. 2014. Comportamiento forrajero de tres *Pennisetum purpureum schumach*. Revista Agropecuaria y Forestal (3)1: 61-66.

SUSTITUCIÓN DE LA HARINA DE TRIGO POR HARINAS COMPUESTAS E INGREDIENTES FUNCIONALES PARA LA ELABORACIÓN DE PANES LIBRES DE GLUTEN[1]

[SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR BY COMPOUND FLOURS AND FUNCTIONAL INGREDIENTS FOR THE PREPARATION OF GLUTEN FREE BREADS]

Luisa Fernanda Castillo Hernández [1], María de la Luz Sánchez Mundo[1§], Víctor Rayo García[1], Selene García Nieves[1], María Esther González Miguel[2], Abril Ramírez Higuera[3]

[1]Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital Km 6.0 Col. J. Mario Rosado, C.P. 96980. Las Choapas, Ver. México. [2] Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Camino Real a San Mateo S/N Santa Ana Xamimilulco, Huejotzingo Puebla. [3] Instituto Tecnológico de Veracruz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Formando Hogar, 91897, Veracruz, Ver. [§]Autor para correspondencia: (sanchez_mundo@hotmail.com).

RESUMEN

El incremento de la enfermedad Celíaca ha originado el interés en el desarrollo de productos libres de gluten con un alto grado de aceptabilidad sensorial. El objetivo consistió en sustituir la harina de trigo por harinas compuestas e ingredientes funcionales para la elaboración de panes libres de gluten, evaluando las propiedades funcionales de las harinas y el grado de aceptación de productos de panificación. Se establecieron las condiciones de cocción, tiempo (T) y potencia (P) de secado, se determinó la Capacidad de Hinchamiento (CH) y Capacidad de Retención de Aceite (CRAc) en las harinas, la elaboración de los panes libres de gluten en 3 concentraciones y evaluación sensorial mediante una escala hedónica de 9 puntos. Las condiciones de secado fueron para lenteja (T= 25 min/P=50), garbanzo (T=24 min/P=60) y cáscara de cacao (T=20 min/P=50), los valores de CH para lenteja, garbanzo y cáscara de cacao fueron 5.07, 4.79 y 4.31 mL g^{-1}, mientras que los valores de CRAc fueron 2.31, 2.41 y 0.59 mL g^{-1}, respectivamente. La formulación con 45% lenteja/45% garbanzo/ 10% cáscara de cacao presentó mayor grado de aceptación. Las harinas obtenidas por deshidratación en microondas presentaron buenas propiedades funcionales y determinaron la calidad final de los productos libres de gluten como alternativa para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales.

Palabras clave: deshidratación, fibra, funcional, proteínas.

ABSTRACT

The increase in Celiac Disease has led to the interest in the development of gluten-free products with a high degree of sensory acceptability. The objective was to replace wheat flour with compound flours and functional ingredients for the elaboration of gluten-free breads, evaluating the functional properties of the flours and degree of acceptance of gluten-free bread products. Cooking conditions, time (T) and power (P) of drying, Swelling Capacity (CH), Oil Retention Capacity (CRAc) in the flours, preparation of the gluten-free breads in 3 concentrations and evaluation were standardized sensory using a hedonic scale of 9 points. The obtained conditions

[1] Recepción 25-abril-2019
Aceptación 12-septiembre-2019

were for lentil (T = 25 min / P = 50), chickpea (T = 24 min / P = 60) and cocoa husk (T = 20 min / P = 50), CH values for lentil, Chickpea and cocoa husk were 5.07, 4.79 and 4.31 mL g^{-1}, while the CRAc values were 2.31, 2.41 and 0.59 mL g^{-1}, respectively. The formulation with 45% lentil / 45% chickpea / 10% cocoa husk presented a higher degree of acceptance. The flours obtained by microwave dehydration presented good functional properties and determined the final quality of the gluten-free products as an alternative for the development of new functional foods.

Index words: Dehydration, fiber, functional, proteins.

INTRODUCCIÓN

En algunos estudios, se ha identificado que alrededor de un 3% de la población mundial padece enfermedad celíaca y hasta hace dos décadas estaba considerada una enfermedad poco frecuente, pero en la actualidad es una enfermedad generalizada a nivel mundial (Rafaelli *et al*., 2017). La EC ha sido descrita como una enteropatía autoinmune que afecta el intestino delgado, atrofiando las vellosidades de la mucosa y generando mala absorción de los nutrientes (Pellegrini *et al.*, 2015). La Secretaria de Salud en 2018 estimó que en México más del 4.3% de la población padece la enfermedad celiaca. El incremento en el diagnóstico de la población celiaca y de las alergias por consumo de alimentos, ha originado un creciente interés en la continua expansión del mercado de productos libres de gluten que presenten una alta aceptabilidad sensorial (Pagliarini *et al*., 2010; Deora *et al.*, 2015; Estévez y Araya, 2016; Miranda *et al.*, 2018).

Algunos investigadores han presentado resultados favorables al elaborar productos de panificación adicionados con harina de fuentes diferentes al trigo, así como la identificación de diversas mejoras nutricionales en productos basados en cereales libres de gluten con leguminosas añadidas (Foschia *et al.*, 2017). El empleo de las harinas mixtas o compuestas en las cuales se sustituye parcialmente el contenido de trigo, ha permitido elaborar una serie de alimentos con mejor valor nutricional, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y a mejorar la calidad de vida de los consumidores (Sacón-Vera *et al.*, 2016; Giuberti y Gallo, 2018). Se ha estudiado la reología y caracterización de harinas sustituidas parcialmente por harina de garbanzo y otras harinas compuestas, encontrando buenas propiedades reológicas en sustituciones de un 10% de harina de trigo (Mohammed *et al*., 2012 y Calvopiña, 2018), por lo que la incorporación de la harina de garbanzo en un pan libre de gluten resulta factible en combinación con otras harinas compuestas.

Aguilar *et al*. (2011) realizaron un estudio con harina de lenteja (HL) mezclándola con harina de trigo (HT) (10% y 90%, respectivamente), teniendo como testigo HT (100%), se demostró que la mezcla de HT-HL presento menos actividad amilácea y parámetros menores de retención de gas que la HT (100 %), lo cual se explica por la baja cantidad de amilasa presente en la mezcla HT: HL.

Los pseudocereales y leguminosas presentan una mayor cantidad de fibra, ácidos grasos poliinsaturados, minerales y vitaminas que cereales como el arroz (Cervilla *et al*., 2017). De acuerdo a Abarca-Rojas (2010), la cáscara y la testa de cacao son buenas fuentes de fibra dietaría insoluble, mientras que el mucílago es una buena fuente de fibra dietaria soluble. Los valores que presenta la fibra de la cáscara y la testa de cacao en las propiedades funcionales como capacidad de retención de agua (WRC) y capacidad de adsorción de grasa (FAC), son inferiores a los rangos

establecidos para valorar la fibra como de alta WRC y FAC. El aprovechamiento integral de la cáscara de cacao se considera una excelente fuente para su obtención ya que contiene alrededor del 36% de fibra dietaria.

Para mejorar la calidad nutricional y las características sensoriales de los productos elaborados con harinas sin gluten, se han empleado modificaciones físicas sobre el almidón y las proteínas que permitan obtener productos de calidad semejantes a los productos con gluten. El tratamiento hidrotérmico mediante radiación microondas es un método de calentamiento convencional donde las ondas electromagnéticas (frecuencias entre 1- 300 GHz) son absorbidas por las moléculas polares e ionizables, generando un rápido aumento de la temperatura de la muestra (Villanueva *et al*., 2018). La humedad de la harina está relacionada con la temperatura adquirida. Manso (2018) modificó harinas sin gluten de alto valor nutricional por tratamiento con microondas, evaluando su efecto sobre las fracciones proteicas, el cual ejerce un efecto significativo sobre los aminoácidos libre de las harinas en estudio. Anangonó (2019) reportó resultados que evidenciaron la factibilidad de la tostación del maíz por calentamiento microondas para futuros ensayos en la ciencia aplicada.

En consideración a lo anterior, la presente investigación propone la sustitución de la harina de trigo por harinas compuestas secadas por microondas de leguminosas obtenidas a partir de lenteja y garbanzo, así como adición de polvo de cáscara de cacao como ingrediente funcional para la elaboración de panes libres de gluten.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Usos Múltiples, en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, ubicado en el municipio de Las Choapas, Veracruz, México y en el Laboratorio de Procesos Alimentarios en la Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Puebla.

Como parte del material vegetal utilizado para la elaboración de los productos de panificación, se emplearon semillas de lenteja y garbanzo que fueron adquiridas en un centro comercial del municipio de Las Choapas; mientras que la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la variedad criollo, fue proporcionada por el Rancho “Emiliano Zapata” ubicado en la Ciudad de Comalcalco, Tabasco, México.

El resto de las materias primas fueron proporcionadas por Grupo “La Florida”, empresa dedicada a la producción y distribución de insumos para panificación y repostería.

Obtención de las harinas de leguminosas

Se seleccionaron y limpiaron los granos con el fin de eliminar partículas extrañas, seguido de un acondicionamiento de las semillas para eliminar los compuestos antinutricionales, el cual consistió en colocar las semillas en agua calcificada durante 18 h para el caso del garbanzo y para las lentejas 1 h 40 min a una temperatura de 60 °C (Figura 1). Posteriormente se llevó a cabo un lavado manual y se sometieron a un proceso de cocción en autoclave por 1:10 min para las semillas de garbanzo y 40 min para las semillas de lentejas. Al término se procedió a realizar nuevamente un lavado para remover la cascarilla de los granos, seguido de una semi-molienda en el mortero; posteriormente

someterlas a secado en un microondas Panasonic (NN-SB646S; 1,100 W). Las muestras secas fueron trituradas en un molino para granos de acero inoxidable (KRUPS®) y tamizadas en una malla #100 hasta alcanzar un tamaño de partículas homogéneo. Las harinas fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético, debidamente etiquetadas y almacenadas a temperatura ambiente para mantener sus propiedades funcionales hasta su uso posterior.

Figura 1. Eliminación de compuestos antinutricionales de las leguminosas por inmersión en agua a) Garbanzo; b) lenteja.

Obtención de polvo de cáscara de cacao (PCC)

Se seleccionaron las cáscaras de cacao libres de daño, maduras y libres de partículas extrañas y se les retiró el mucílago, posteriormente fueron cortadas en pequeños trozos y sometidas en una inmersión en ácido cítrico al 3% para disminuir el grado de oxidación. Los trozos fueron triturados en la licuadora hasta obtener una pasta semi-sólida y someterla al secado por microondas para iniciar el secado y determinar la estandarización de tiempo y potencia adecuada.

Por último, la muestra fue triturada en un molino para granos de acero inoxidable (KRUPS®) hasta obtener el polvo que fue tamizado en una malla #100 y finalmente fue colocado en bolsas plásticas con cierre hermético, debidamente etiquetado y almacenado a temperatura ambiente para su uso posterior.

Para cada una de las muestras de harinas obtenidas se calculó el rendimiento, expresado como la cantidad de harina obtenida en función de la cantidad de granos utilizados, mediante la siguiente expresión (Mancheno y Salgado, 2018):

$$Rendimiento\ de\ la\ harina\ (\%) = \frac{Peso\ de\ la\ harina}{Peso\ de\ grano\ con\ cáscara}\ X\ 100 \qquad (Ec.1)$$

Caracterización funcional de las harinas y polvo de cáscara de cacao

A 1 g de harinas y polvo de cáscara de cacao se le adicionó 10 mL de aceite de girasol y se mantuvo en agitación durante 30 min. Posteriormente, se centrifuga a 4750 rpm durante 30 min. Después de centrifugar se midió el volumen del sobrenadante. Por diferencia entre el volumen inicial de aceite y el volumen recuperado, se determinó la capacidad de retención de aceite (CRAc) expresada en mL g^{-1} de acuerdo a la ecuación (*2*) (Balbín, 2018).

Cálculos

$$CRAc\ (mL\ g{-}^{1}) = \frac{Vo - V1}{g} \qquad \textit{(Ec.2)}$$

Donde: **CRAc,** V0 = volumen inicial de aceite. V1= volumen recuperado y g = gramo de muestra

Se pesaron 2.5 g de muestra en una probeta graduada y se adicionó un exceso de agua (30 mL) y se agitó manualmente. Se dejó en reposo durante 24 h, a temperatura ambiente de 27 °C ± 0.5 y luego se midió el volumen final (Vf) de la muestra en mL. El resultado de Capacidad de Hinchamiento (CH), se obtuvo aplicando la ecuación *(3)* (Balbín, 2018).

Cálculos

$$CH = \frac{Vf\ (mL)}{g} \qquad \textit{(Ec.3)}$$

Donde: **CH** = Vf = volumen final de muestra en mL y g = peso de muestra

Diseño de la formulación y proceso de elaboración del panqué

En el Cuadro 1 se presentan las diferentes combinaciones de las harinas estudiadas para la elaboración de los productos de panificación tipo panqué.

Cuadro 1. Formulación de las harinas libres de gluten (lenteja, garbanzo y cáscara de cacao) para la elaboración de los productos de panificación.

Formulaciones	Harina de trigo (%)	Lenteja (%)	Garbanzo (%)	Cáscara de cacao (%)
Control	90	-	-	10
F1	-	60	30	10
F2	-	30	60	10
F3	-	45	45	10

Fuente: Elaboración propia

Se inició con el pesado de todos los ingredientes para cada formulación tal como se indica en el Cuadro 2. Una vez obtenidos se procedió con el batido manual de la mantequilla durante 2 min., se añadió el azúcar y los huevos hasta la completa formación del batido. A continuación se adicionaron poco a poco los ingredientes secos junto con la leche y esencia de vainilla y se mezclaron durante 6 min hasta obtener la masa libre de grumos, la mezcla fue colocada en los moldes (250 g/molde) y se hornearon a una temperatura de 180°C por 30 min. Una vez transcurrido este tiempo los panques se retiraron del molde dejándolos enfriar para poder realizar los análisis correspondientes.

Para evaluar el nivel de agrado de los productos de panificación se realizó una prueba afectiva del grado de aceptación con tres formulaciones con diferentes porcentajes de sustitución de cada una de las harinas estudiadas. El panel sensorial estuvo conformado por 50 jueces no entrenados

con edades comprendidas entre 17 y 45 años. Las muestras fueron presentadas a los jueces simultáneamente y codificadas con números de tres dígitos y aleatorios. Los atributos analizados fueron: sabor, dulzor, color, textura, esponjosidad, aspecto de la miga y aceptabilidad general según una escala hedónica de nueve puntos.

Cuadro 2. Ingredientes usados en la elaboración del producto de panificación libre de gluten con sus diferentes formulaciones.

Ingredientes	Control	F1	F2	F3
Harina de trigo (g)	225	-	-	-
Harina de lenteja (g)	-	150	75	112.5
Harina de garbanzo (g)	-	75	150	112.5
Polvo de cáscara de cacao (g)	25	25	25	25
Polvo para hornear (g)	15	15	15	15
Azúcar (g)	200	200	200	200
Bicarbonato de sodio (g)	2	2	2	2
Mantequilla (g)	87.5	87.5	87.5	87.5
Huevo (g)	10	10	10	10
Leche (mL)	200	200	200	200
Vainilla (mL)	15	15	15	15

Diseño experimental

Se utilizó un análisis estadístico completamente al azar empleando tres formulaciones con tres repeticiones. Cada una de las harinas y formulaciones fueron caracterizadas por triplicado, a su vez todos los datos registrados fueron analizados y procesados con el paquete estadístico Minitab 18, aplicando el análisis de varianza y la prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención de las harinas de leguminosa y polvo de cáscara de cacao

En el Cuadro 3 se observa que el garbanzo y la lenteja presentan diferentes condiciones en los procesos de remojo y cocción, esto debido a la dureza y tamaño de los granos por lo que se necesita mayor tiempo en las semillas del garbanzo. Estos tratamientos se emplean para eliminar los compuestos antinutricionales, reportándose que el uso de la autoclave y la fermentación son efectivos en la reducción de ácido fítico presente en semillas de leguminosas (Laleg *et al.*, 2016), estos tratamientos podrían aplicarse a las semillas de leguminosas antes de ser incluidas en la dieta humana para asegurar la calidad y seguridad de los alimentos (Giuberti y Gallo, 2018).

Otros factores a los que se pueden atribuir tales resultados son la composición química (humedad, a_w) y propiedades funcionales (capacidad de retencción de agua) presentes en dichas muestras. Se ha reportado que el contenido de agua de las muestras con una humedad del 30 % tras el tratamiento microondas desciende hasta valores en torno al 10% (Villanueva *et al.*, 2018).

Existen trabajos empleando modificación física de harinas para evaluar el efecto del tratamiento hidrotérmico asistido por microondas sobre las proteínas de las harinas (Pérez *et al.*, 2017, Pérez *et al.*, 2016; Villanueva *et al.*, 2018; Manso, 2018). Se ha encontrado que el secado asistido por microondas ofrece ventajas sobre los secadores convencionales de aire caliente, tales como: los tiempos de secado más cortos, el aumento de la eficiencia energética y el potencial de la reducción del tamaño de los equipos de secado requeridos (Altan & Maskan, 2005; Alvarado, 2017).

Según lo reportado por Prodanov *et al*. (2004) las muestras (lenteja y garbanzo) fueron deshidratadas a una temperatura de 60-85ºC durante 14 h; en donde además de ser un proceso muy lento (velocidad del aire aprox. 1.2 m s^{-1}) su uso representa un mayor costo. Mediante el secado de la harinas por microondas se obtuvo un rendimiento de 61% de harina de garbanzo, 68.5% de lenteja y 32.45% de polvo de cáscara de cacao, siendo un buen resultado considerando el menor tiempo y bajo costo en su uso en comparación con métodos como la liofilización y secado por convección. De acuerdo a Villamizar *et al*. (2016) el rendimiento de la cáscara de cacao por secado en charolas fue de 37.3% observando así una mínima diferencia entre ambos métodos de secado, lo cual indica otra ventaja en el uso del microondas para la obtención de harinas (Figura 2).

Cuadro 3. Estandarización de las condiciones previas para el deshidratado en microondas de las muestras de leguminosas y cáscara de cacao.

Muestras	Condiciones		Tiempo (min)	Potencia (W)	Rendimiento de la harina (%)
	Remojo	Cocción			
Garbanzo	t= 16-18 h T^{a}= 37°C	t= 1 h 10 min T^{a}= 100°C.	24	60	61
Lenteja	t= 1 h 40 min T^{a}= 60° C	t= 40 min T^{a}= 100°C.	25	50	68.3
Cáscara de cacao	---------	----------	20	50	32.45

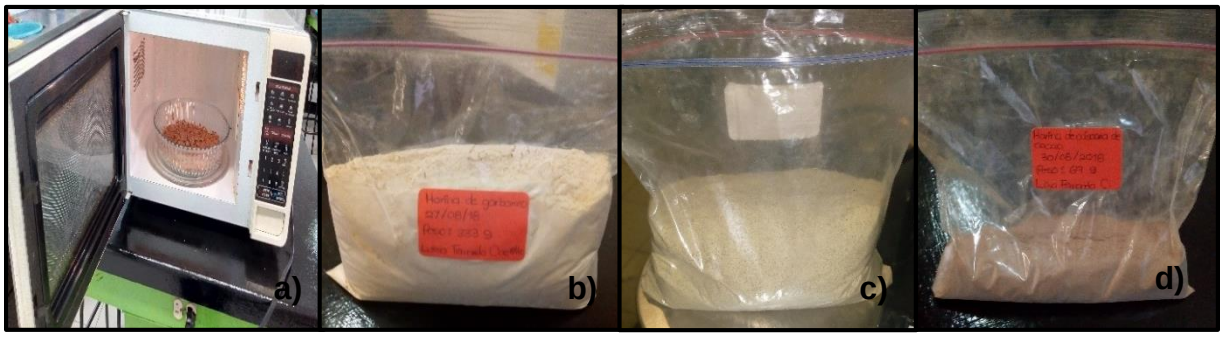


Figura 2. Obtención de harinas y polvo de cáscara de cacao por secado en microondas. a) Proceso de secado de muestras; b) harina de garbanzo (HG); c) harina de lenteja (HL) y d) polvo de cáscara de cacao (PCC).

Valencia *et al.* (2011) secaron manzanas reduciendo el tiempo de secado a 180 y 120 min para temperaturas de 45 ºC y 60 ºC, así como un aumento en la resistencia al corte después de secarse. El proceso de secado por microondas también ha sido aplicado a fresas, reportándose rendimientos de 0.45 Kg de agua removida por cada kWh consumida el cual se reduce luego de 15 min de operación en función de la pérdida de humedad de la muestra (Alvarado, 2017).

Caracterización funcional de las harinas y polvo de cáscara de cacao

En cuanto a la CRAc se observó que los valores para la harina de garbanzo y lenteja fueron estadísticamente similares en comparación con el polvo de la cáscara de cacao (Cuadro 4); según Granito *et al*. (2007) en un estudio sobre el efecto del procesado industrial sobre la CRAc en leguminosas después del deshidratado por liofilización se obtuvieron valores de 1.15 mL g^{-1} para el garbanzo y 0.90 mL g^{-1} para la lenteja, los cuales son menores con respecto a los datos obtenidos en el deshidratado por microondas. Estas variaciones de CRAc entre las leguminosas se pueden atribuir al tamaño de la partícula de la harina y al contenido de almidón y proteína presente. En el caso de la cáscara de cacao, el valor de 0.59 mL g^{-1} es menor en comparación con lo reportado por Shing *et al*. (2000) con 3.3 mL g^{-1} indicando que la CRAc es mayor en alimentos que tienen alto contenido de fibra insoluble, debido a que las moléculas son atrapadas en su mayoría gracias al tamaño de las moléculas de la fibra.

Mientras que en los valores de la CH de las leguminosas y polvo de cáscara de cacao se observan valores similares que oscilan entre 1-2.5% en las muestras de leguminosas y atribuida principalmente a la fracción de almidón presente en las leguminosas; asimismo cabe destacar la relación existente entre el aumento del contenido en almidón disponible a lo largo del proceso industrial de deshidratación, y el que se produce en la CH a medida que se llevan a cabo las etapas del proceso.

Cuadro 4. Determinación de las propiedades funcionales en las harinas libres de gluten.

Muestras	CRAc (mL g^{-1})	CH (mL g^{-1})
Harina de garbanzo	2.41 ± 0.02^{a}	4.79 ± 0.07^{b}
Harina de lenteja	2.31 ± 0.04^{a}	5.07 ± 0.01^{a}
Polvo de cáscara de cacao	0.59 ± 0.05^{b}	4.31 ± 0.01^{c}

Los valores medios de cada columna con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Valor medio ± desviación estándar (n = 3).

Obtención de los productos de panificación libres de gluten

Al analizar la estructura de la miga de los panes, se pudo observar que la mayor uniformidad alveolar se presentó en la formulación 3 (Figura 3d), semejante a la del pan 100% de trigo (Figura 3a). En general, la miga de los panes evaluados (Figura 3b y c) presentó un mayor porcentaje de alveolos con tamaño pequeños con forma irregular y poco homogéneo en el área analizada. Esta característica es un factor común en los panificados libres de gluten debido a la débil retención de los gases que se generan durante el leudado y la cocción (Miranda *et al.,* 2018). En panes sustituidos con 25% de harina de garbanzo se han reportado inconsistencias al momento de formar la miga (Vega *et al.,* 2015) lo cual pudiera ser un problema de moldeo, sin embargo la harina de garbanzo

por su contenido de aminoácidos es en gran medida la responsable del color amarillo de los panes (Pathania *et al.,* 2017).

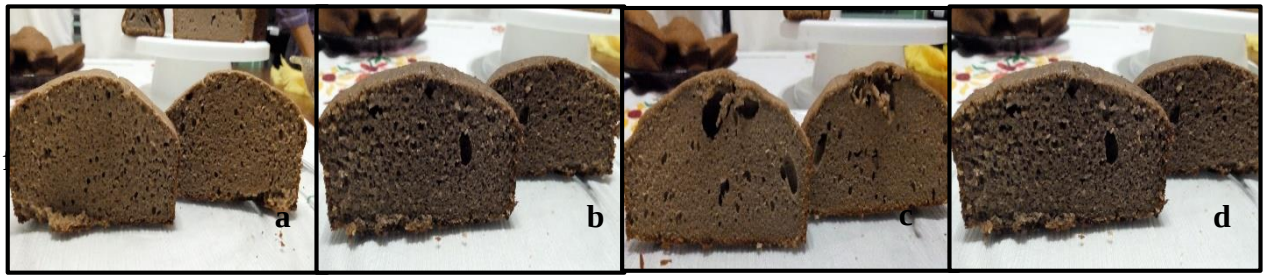


Figura 3. Panques libres de gluten. a) Muestra control (90% HT-10 % PCC); b) Fórmula 1 (60% HL-30 HG-10% PCC); c) Fórmula 2 (30%HL-60%HG-10%PCC); d) Fórmula 3 (45 %HL-45%HG-10%PCC). Donde: HT: harina de trigo, HL: harina de lenteja, HG: harina de garbanzo y PCC: polvo de cáscara de cacao.

Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial de los productos de panificación libres de gluten, indicaron que la formulación 3 (45% HL/45% HG/10% PCC) obtuvo el mayor grado de aceptación con respecto a la muestra control de acuerdo a la evaluación de los jueces, seguida de la formulación 2 (30 % HL-60 % HG-10 % PCC) siendo la formulación 1 (60 % HL-30 HG-10% PC) la de menor aceptación con diferencias estadísticas con respecto al blanco. Lo indica que dicha concentración de las harinas es el ideal debido al porcentaje de proteínas presentes en ambas harinas de leguminosas que determinaron la calidad final del producto.

Se ha estudiado la influencia de la sustitución parcial (15% y 30%) de harina de trigo por harina de garbanzo y los productos fueron aceptables en términos de peso, volumen, textura y estructura de la miga (Hefnawy *et al.,* 2012; Nazate, 2019); también la sustitución parcial del 20% de harina de garbanzo en galletas libres de gluten fue la más aceptada en atributos de textura y sabor (Aguirre, 2019), panes de harina de lenteja en la prueba sensorial no presentaron diferencia significativa en cuanto al nivel de agrado, con respecto al elaborado con harina de trigo (Aguilar *et al.,* 2011; Torres *et al.,* 2014; Medina *et al*., 2018).

CONCLUSIONES

El método de secado de microondas resultó una buena alternativa para la obtención de las harinas compuestas de lenteja y garbanzo con rendimientos de 61-63%. Se obtuvo un producto de panificación con harinas compuestas de leguminosas y polvo de cáscara de cacao presentando propiedades funcionales por su contenido de proteínas, compuestos fenólicos y fibra que aportan las leguminosas y la cáscara de cacao. El pan libre de gluten con la formulación de 45% HL/45% HG/10% PCC fue el de mayor grado de aceptación por los catadores, destacando las propiedades sensoriales de textura y apariencia general similares a los productos elaborados con gluten.

AGRADECIMIENTOS

M.L.S.M agradece al Tecnológico Nacional de México por el apoyo financiero del proyecto TNM 579.18 PD 2017. “Elaboración y caracterización de un alimento funcional a partir de cáscara de

cacao". De igual forma a la Red "Bioproductos y Bioprocesos" del Programa DELFIN y al Instituto Tecnológico de Orizaba.

LITERATURA CITADA

Abarca-Rojas, D. H. 2010. Identificación de fibra dietaria en residuos de cacao (*Theobroma cacao* L.) Variedad: Complejo nacional por trinitario. Escuela de ingeniería en industrias agropecuarias área biológica. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja – Ecuador.

Aguilar J., J. Esparza, J. Meza, M. Candelas, O. Aguilera y P. Ramírez. 2011. Efecto de la harina de lenteja (*Lens culinaris*) sobre propiedades reológicas y de panificación de la harina de trigo. Facultad de Ciencias Químicas 2: 4-9.

Aguirre-Torres, L.E. 2019. Diseño y desarrollo de galletas dulces destinada a personas celíacas. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. 69 p.

Altan, A. & M. Maskan. 2005. Microwave Assisted Drying for Short-Cut (Ditalini) Macaroni: Drying Characteristics and Effect of Drying Processes on Starch Properties. Food Research International. 38: 787-796.

Alvarado-Bawab, M.F. 2017. Estudio del proceso de secado de fresa usando horno de microondas. Prospect. 15(1): 29-34. Doi: http://dx.doi.org/10.15665/rp.v15i1.658.

Anangonó-Guagala, S.O. 2019. Determinación de cambios internos en el grano de maíz Carhuay (*Zea mays* amilácea) tratado con microondas. Tesis de Licenciatura. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. Ecuador.

Balbín-Chuquillanqui, Y. 2018. Influencia de la cocción por vía húmeda y seca en las propiedades funcionales de harina de semilla de calabaza. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Centro del Perú. 36-37 p.

Calvopiña-Armas, J.A. 2018. Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en pan libre de gluten. Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 15-16 p.

Cervilla N. S y P. P. Miranda Villa. 2017. Aprovechamiento integral del grano de quinoa: aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales. Universidad Nacional de Córdoba 1: 71-98.

Deora, N. S., A. Deswal & H.N. Mishra. 2015. Functionality of alternative protein in gluten-free product development. Food Science and Technology International 21(5): 364-379.

Estevez, V. y M. Araya. 2016. La dieta sin gluten y los alimentos libres de gluten. Revista Chilena de Nutrición. 43(4): 428-433.

Foschia, M., S.W. Horstmann, E. K. Arendt & E. Zannini. 2017. Legumes as functional ingredients in gluten-free bakery and pasta products. Annual Review of Food Science and Technology 8: 75–96.

Giuberti, G. & A. Gallo. 2018. Reducing the glycemic index and increasing the slowly digestible starch content in gluten-free cereal-based foods: a review. International Journal of Food Science and Technology 53: 50-60. DOI:10.1111/ijfs.13552

Granito, M., Y. Brito, & A. Torres. 2007. Chemical composition, antioxidant capacity and functionality of raw and processed *Phaseolus lunatus.* Journal of the Science of Food and Agriculture *87*: 2801-2809.

Hefnawy, T. M. H., G. A. El-Shourbagy & M. F. Ramadan. 2012. Impact of adding chickpea (*Cicer arietinum L*) flour to wheat flour on the rheological properties of toast bread. International Food Research Journal 19(2): 521-525.

Laleg, K., D. Cassan, C. Barron, P. Prabhasankar, & V. Micard. 2016. Structural, culinary, nutritional and anti-nutritional properties of high protein, gluten free, 100% legume pasta. PLOS One 11 (9):1–19.

Mancheno-Flores, C.I. y I.P. Salgado-Tello. 2018. Rendimiento y caracterización, química, mineral y sensorial, de tres tipos de harina de habas (*Vicia faba*) para la elaboración de un embutido fermentado. Revista Caribeña de Ciencias Sociales. ISSN: 2254-7630. 7 p.

Manso-Refoyo, S. 2018. Modificación de harinas sin gluten de alto valor nutricional por tratamiento microondas. Efecto sobre las fracciones proteicas. Tesis de Licenciatura. Universidad de Valladolid. España. 18 -19 p.

Manso-Refoyo, S. 2018. Modificación de harinas sin gluten de alto valor nutricional por tratamiento microondas. Efecto sobre las fracciones proteicas. Tesis de Licenciatura. Universidad de Valladolid. España. 31-31 p.

Medina-Rochin, J. J., K. Ramírez, J. G. Rangel-Peraza, y J. Aguayo-Rojas. 2018. Incremento del valor nutrimental, actividad antioxidante y potencial inhibitorio de α-glucosidasa en brownies a base de leguminosas cocidas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 68(2): 164-174.

Miranda-Villa, P.P., J.R. Mufari, A. E., Bergesse, A. M. Planchuelo, y E.L. Calandri. 2018. Calidad nutricional y propiedades físicas de panes libres de gluten. Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria 38 (3):46-55. DOI: 10.12873/383miranda.

Mohammed, I., A. R. Ahmed, & B. Senge, 2012. Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. Industrial Crops and Products 36(1): 196-202. http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.09.006

Nazate-Nazate, L.A. 2019. Influencia de la harina de papa *Solanum tuberosum* y harina de garbanzo *Cicer arietinum* sobre las características estructurales y sensoriales de un pan bajo en gluten. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 11-13 p.

Pagliarini, E., M. Laureati & V. Lavelli, 2010. Sensory evaluation of gluten free-breads assessed by a trained panel of celiac assessors. European Food Research and Technology 231: 37-46.

Pathania S, A. Kaur, & P. A. Sachdev. 2017. Chickpea flour supplemented high protein composite formulation for flatbreads: effect of packaging materials and storage temperature on the ready mix. Food Packaging and Shelf Life 11: 125–132. DOI: 10.1016/j.fpsl.2017.01.006.

Pellegrini, N. & C. Agostoni. 2015. Nutritional aspects of gluten-free products. Journal of the Science of Food and Agriculture 95 (12): 2380-2385.

Pérez-Quirce, S., C. Collar, & F. Ronda. 2014. Significance of healthy viscous dietary fibers on the performance of gluten-free rice-based formulated breads. International Journal of Food Science and Technology, 49, 1375–1382.

Pérez-Quirce, S., F. Ronda, A. Lazaridou & C. G. Biliaderis. 2017. Effect of Microwave Radiation Pretreatment of Rice Flour on Gluten-Free Breadmaking and Molecular Size of β-Glucans in the Fortified Breads. Food and Bioprocess Technology 10(8): 1412–1421. https://doi.org/10.1007/s11947-017-1910-7

Pérez-Quirce, S., F. Ronda, C. Melendre, A. Lazaridou & C. G. Biliaderis. 2016. Inactivation of Endogenous Rice Flour β-Glucanase by Microwave Radiation and Impact on Physico-chemical Properties of the Treated Flour. Food and Bioprocess Technology 9(9): 1562–1573. https://doi.org/10.1007/s11947-016-1741

Pérez-Quirce, S., F. Ronda, C. Melendre, A. Lazaridou, & C. G. Biliaderis .2016. Inactivation of endogenous rice flour β-glucanase by microwave radiation and impact on physico-chemical properties of the treated flour. Food and Bioprocess Technology, 9(9), 1562–1573

Prodanov, M., I. Sierra, & C. Vidal-Valverde. 2004. Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes. Food Chemistry 84: 271-277.

Rafaelli, C., N. Poggio, V. Neglia, M. V. Rodríguez-Estoup, G. Osorio-González, E.M. Buonsante, M. Luján-Pestalardo, R. Bistoletti, A. Abeldaño, y P. Viudez. 2017. Prevalencia de la enfermedad celíaca en los pacientes con psoriasis. Dermatología Argentina 23 (1): 23-28.

Sacón-Vera, E. F., I. I. Bernal-Bailón, A. A.Dueñas-Rivadeneira, G. A. Cobeña-Ruíz, y N. López-Bello. 2016. Reología de mezclas de harinas de camote y trigo para elaborar pan. Tecnología Química 36(3): 384-394.

Secretaria de Salud. 2018. Al momento, Destacadas, salud y genoma. Revista electrónica. Toluca, Estado de México. Consultado: 07/08/2019. Disponible en https://almomento.mx/secretaria-de-salud-informa-sobre-consumo-de-gluten/

Shing-Young, L., L. Jung-Suk & K. IkBoo. 2000. Cacao extract including dietary fiber. World Intellectual Property Organization. Patent No. WO0062631. 2000

Torres-González, M.P., M. T. Jiménez-Munguía y M.E., Bárcenas-Pozos. 2014. Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 8(1): 94-102.

Valencia, C. S. Y., H.L.F. Rodríguez y P.G. A. Giraldo. 2011. Cinética de la deshidratación y control de la oxidación en manzana *Granny smith*, mediante la aplicación de diferentes métodos de secado. Revista Tumbaga 6:7-16.

Vega, O., R. De Marco, y C. Di-Risio. 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanasa y lipasa. Revista EIA 12(24): 9–10.

Villamizar, J. Y., J. Rodríguez-Guerrero y L. León-Castrillo. 2016. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L*.) variedad CCN-51. Cuaderno Activa 9: 65-75.

Villanueva-Barrero, M., J. Harasym, J. M. Muñoz & F. Ronda-Baibás. 2018. Microwave absorption capacity of rice flour. Impact of the radiation on rice flour microstructure, thermal and viscometric properties. Journal of Food Engineering 224: 156–164. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.030.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE SECADO CON MICROONDAS EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL BAGAZO DE MARAÑÓN[1]

[EVALUATION OF THE DRYING EFFECT WITH MICROWAVE IN THE BIOACTIVE COMPOUNDS OF BAGAZO OF CASHEW]

Alfredo Morales Cruz[1§], Abril Higuera Ramírez[2], Víctor Rayo García[1], Yanet Chávez Reyes[1]

[1]Departamento 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. [2]Instituto Tecnológico de Veracruz, Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos. Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Veracruz, Ver. México. C.P. 91897 Tels. (52) 229 9341478 [§]Autor para correspondencia: (mcalfred16@outlook.com).

RESUMEN

El bagazo del marañón es un residuo agroindustrial que contienen compuestos fenolicos y carotenoides los cuales presentan propiedades antioxidantes que ayudan a la prevención de enfermedades crónicas degenerativas, para la conservación de los compuestos bioactivos se puede aplicar tecnologías emergentes como microondas. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de las microondas sobre los compuestos bioactivos, así como su capacidad antioxidante en bagazo de marañón rojo. Las condiciones de deshidratación fueron potencias de 372, 390 y 460 W y muestra control, se determinó fenoles por Folin-Ciocalteau, cuantificación de carotenoides, capacidad antioxidante por ABTS, se medió color sistema Hunter. La potencia 390 W obtuvo mayor contenido de compuestos biactivos así como capacidad antioxidante, fenólicos (777±0.018 mg EAG/100 g, 75.5% de inhibición), carotenoides (909±0.03 µg/100 g, 75.5% de inhibición) en comparación con la muestra control y potencia 372,460W con diferencias significativas de $p>0.05$ El color no se vio afectado por el tratamiento con microondas la tonalidad para la potencia 390 W fue de b* 14.12±0.18 con ΔE 10.69^{c}±0.03. Después del tratamiento, se encontró un mayor contenido de compuestos fenólicos y carotenoides, las microondas permite conservar los compuestos bioactivos del bagazo el cual se puede aplicar en la elaboración de productos nutraceúticos.

Palabras clave: Capacidad antioxidante, carotenoides, color, fenoles.

ABSTRACT

Cashew bagasse is an agroindustrial waste containing phenolic compounds and carotenoids which have antioxidant properties that help prevent chronic degenerative diseases, for the conservation of biactive compounds can be applied emerging technologies such as microwaves. The objective of the research was to evaluate the effect of microwaves on bioactive compounds, as well as their antioxidant capacity in red cashew bagasse. The conditions of dehydration were powers of 372, 390 and 460 W and shows control, phenols were determined by Folin-Ciocalteau, quantification

[1] Recepción 12-abril-2019
Aceptación 02-septiembre-2019

of carotenoids, antioxidant capacity by ABTS, Hunter color system was measured. The 390 W potency obtained higher content of biactive compounds as well as antioxidant capacity, phenolic (777 ± 0.018 mg EAG / 100 g, 75.5% inhibition), carotenoids (909 ± 0.03 μg / 100 g, 75.5% inhibition) compared to the sample control and power 372.460 W with significant differences of p> 0.05 The color was not affected by the microwave treatment the tonality for the power 390 W was of b * 14.12 ± 0.18 with ΔE 10.69c ± 0.03. After the treatment, a higher content of phenolic compounds and carotenoids was found, the microwaves allow to conserve the bioactive compounds of the bagasse which can be applied in the elaboration of nutraceutical products.

Index words: Antioxidant capacity, carotenoids, color, phenols.

INTRODUCCIÓN

El marañón (*Anacardium occidentale* L.) es originario del noreste de Brasil, pertenece a la familia de las Anacardiáceas y actualmente está distribuido por Centro y Sudamérica (Catarino *et al*., 2015). La semilla, el principal producto comercial obtenido de este cultivo, está contenido en un aquenio reniforme, el cual se encuentra adherido al pseudofruto, tiene un agradable sabor y se comercializan preferentemente en forma de pulpa congelada, jugo y néctar (McLaughlin *et al.*, 2012; Dendena y Corsi, 2014).

El marañón generalmente se cultiva para comercializar la nuez, y el pseudofruto se considera a un subproducto del proceso, por lo que con esta investigación se pretende valorizar este último, así como reducir los residuos. De acuerdo a los estudios de Schweiggert y Carle (2015) encontraron que el pseudofruto del marañón contiene altas concentraciones de ácido ascórbico y compuestos fenólicos; rico en minerales y azúcares reductores como fructosa y glucosa, además, se ha estudiado que tiene un alto contenido de carotenoides principalmente de β-criptoxantina, α-caroteno y β-caroteno, que son pigmentos responsables de la coloración (Lafont *et al.*, 2011; Schweiggert y Carle, 2015).

Para la conservación de estos compuestos se han empleado diversos métodos, como la deshidratación que permite preservar alimentos altamente perecederos, reduciendo la humedad, lo cual disminuye su actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse (Femenia *et al.*, 2000). El proceso de microondas se puede utilizar como un método alternativo para la deshidratación, ya que causan 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 (Alibas *et al*., 2007). 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 (Arslan y Ozcan, 2010; Hayat *et al*., 2010; Hojjati *et al*., 2015). El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de microondas sobre los compuestos fenólicos, carotenoides, actividad antioxidante y color del bagazo del marañón rojo, con la finalidad de conservar los compuestos bioactivos y darle un valor agregado al pseudofruto del marañón al ser utilizado en la elaboración de productos agroindustriales y nutraceúticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

La materia prima que se empleó para este estudio fue el bagazo de marañón rojo, el marañón fue recolectado durante los meses de junio-julio del 2018 en el rancho los pericos de Las Choapas, Veracruz. Se seleccionaron los frutos en buen estado y se desinfectaron con Citrus®. Se extrajo el jugo con un extractor (marca Moulinex doméstico modelo 753) para la obtención del bagazo de marañón para su posterior deshidratación con microondas.

Deshidratación con microondas

El bagazo de marañón fue deshidratado con 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 100 g del bagazo de marañón rojo en un plato de vidrio templado distribuyendo uniformemente en toda la superficie del plato, se emplearon potencias diferentes (372, 390 y 460W). Las muestras deshidratadas fueron trituradas con un molino marca Krups GX4100. Posteriormente se le determino humedad por medio de las técnicas basadas en los métodos oficiales de la Association of Official Analytical Chemist (A.O.C., 1990).

Determinación de compuestos fenólicos

La extracción del bagazo de marañón se obtuvo en metanol: agua (1:1). Se pesó 1 g de bagazo de marañón y se agregó 7.5 mL del disolvente de extracción. Posteriormente se sónico por (1h), se dejó en reposo por 15 h y se volvió a sonicar por 1h. El extracto se centrifugó a 13,000 x g por 5min, usando una centrifuga modelo Beckman J2-H2 (USA).

El contenido total de fenoles fue determinado usando el método de Folin-Ciocalteau. El reactivo de Folin-Ciocalteau fue diluido 10 veces con agua. El extracto de bagazo de marañón rojo (0.1 mL) fue mezclado con 0.75 mL del reactivo de Folin-Ciocalteau. Después la reacción se dejó en reposo por 5 min, y se adicionaron 0.75 mL (60g 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 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 mg equivalente de ácido gálico (EAG) /100 g DW ± desviación estándar (SD) para tres repeticiones.

Determinación de carotenoides

Los extractos de carotenoides de marañón rojo en fresco y deshidratado se realizaron con acetona y con éter de petróleo, después de cinco lavados con agua fue obtenido el extracto y la extracción de los carotenoides fue verificada espectrofotométrica a 450 nm, usando un Thermo Spectronic modelo Genesys 10_{uv} scanning (Rochester, NY. USA).

Capacidad antioxidante por el radical ácido 2,2- azinobis (3-etilbenzotiazolín)-6-sulfónico (ABTS)

Se empleó el método descrito por Regier *et al.* (2005) se preparó la solución madre, pesando 0.0384 gr de ABTS y 0.0066 g de peroxidisulfato de potasio, la solución se aforó a 10 mL con agua

destilada, se dejó en reposo por 12 h. Para la solución de ABTS se tomó 550 µL de la solución madre y se aforó a 50 ml de etanol puro (dilución 1:100) teniendo una absorbancia de 0.7 (±0.02) a 734 nm antes de su análisis. Se tomaron 10 µL de muestra y se adiciona 990 µL de solución ABTS. Se mezclaron y después de 1 min se midió la absorbancia de cada muestra a 734 nm, durante 7 min. Para la determinación del porcentaje de inhibición se empleó la siguiente formula.

$$\%\ inhibición = \frac{Abs\ inicial - Abs\ final}{Abs\ inicial} \times 100$$

Determinación de color

El color del bagazo de marañón rojo en estado fresco y deshidratado se determinó usando un colorímetro universal. Para la medida de color se utilizó el sistema Hunter L*, a*, b*, y ΔE. 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) y ΔE precisa la cuantificación de un cambio en el color (Mathias-Rettig-Ah-Hen, 2014). El cálculo para expresar la diferencia de color fue obtenido por la fórmula:

$$\Delta E = [(\Delta L *)^2 + (\Delta a *)^2 + (\Delta b *)^2]0.5$$

Donde: ΔE= valor para diferenciar el color; ΔL= diferencia entre la lectura L* del blanco y la lectura L* de la muestra; Δa* = diferencia entre la lectura a* del blanco y la lectura a* de la muestra; Δb* = diferencia entre la lectura b* del blanco y la lectura b* de la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Deshidratación del bagazo de marañón con microondas

La evaluación de las condiciones de deshidratación con microondas permitirá encontrar las condiciones adecuadas para no afectar las propiedades funcionales del bagazo de marañón. Las potencias empleadas fueron: 372 W, 390 W, 460 W y muestra sin tratamiento (control) y tiempos de deshidratación de 12, 15 y 18 min como se muestra en el Cuadro 1. La cantidad de muestra empleada en la deshidratación con microondas fue de 100 gr, tomando como referencia el trabajo de Rodiz *et al.*, (2018) donde reportaron que la cantidad de muestra en la deshidratación del bagazo de carambola es de 100-200 gr obteniendo mejores resultados en la deshidratación. Se obtuvo que el bagazo de marañón deshidratado a diferentes potencias y tiempo mantuvieron sus características organolépticas, esto se puede deber que las microondas no afectan los compuestos bioactivos así como las propiedades del alimento, siempre que sean las condiciones adecuadas para la deshidratación, entre otros factores como tamaño de la muestra, capacidad, potencia de las microondas para la optimización de la deshidratación de las materias primas (Céron *et al.,* 2013). Akoy *et al.* (2015) reportaron condiciones similares en el proceso de secado de mango con microondas, empleó un rango de 5-45 minutos para optimizar el secado, y reportó que el tiempo

adecuado para deshidratar por microondas es de 15- 20 minutos. Por otro lado, Neel *et al.,* (2011) optimizaron el tiempo de 5 minutos a 720W en la deshidratación de la nuez del marañón.

Cuadro 1. Condiciones de deshidratación del bagazo de marañón.

Potencia microonda (W)	Tiempo (min)	Peso de la muestra (g)	Humedad (%)
372	18	100	11
390	15	100	9
460	12	100	8

La humedad es una de los variables más importantes dentro de la deshidratación de los alimentos, esta determina la capacidad de absorción de la energía transportada por la radiación de microondas, los fenómenos convectivos, difusivos y la porosidad en el proceso de disipación del calor. Se determinó humedad en la muestra control y en los polvos deshidratados de bagazo de marañón a diferentes potencias (372W, 390W y 460W); los resultados obtenidos en el bagazo de marañón rojo fueron 11%, 9% y 8% respectivamente (Cuadro 1). En otras investigaciones realizadas obtuvieron resultados similares en muestra fresca de la nuez de anacardo obtuvieron 11.27% de humedad, en las potencias obtuvieron: 180W (9.93%), 360W (9.32%), 540W (9.10%) y 720W (8,47%) (Uslu y Mehmet 2017).

Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

El secuestro de radicales libres por polifenoles es un indicador importante para conocer la capacidad antioxidante de las frutas y verduras, a ello se le suma los diferentes beneficios que ofrecen a la salud (Kammoun Bejar *et al*., 2011). La muestra control bagazo de marañón sin tratamiento presentó un contenido de compuestos fenólicos de 681±0.016 mg EAG/100 gr ver Cuadro 2, en otros estudios por Moo *et al.,* (2015) reportaron un contenido de compuestos fenólicos en la pulpa de marañón rojo de 287.28±5.38 mg EAG/100 g. En otros frutos el nance rojo presento un contenido de compuestos fenólicos de 266.26±13.39 mg EAG/100 g. El contenido de compuestos fenólicos se debe mucho a las diferencias en el suelo, las condiciones climáticas, estación de crecimiento, almacenamiento en postcosecha y los métodos empleados para la extracción (Arteaga y Arteaga, 2016).

Cuadro 2. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del bagazo de marañón.

Potencias	Fenoles (mg EAG/100 g)	ABTS (% de inhibición)
Control	681^{a}±0.016	58.9^{a}±0.5
372 W	716^{ab}±0.034	59.4^{a}±0.5
390 W	777^{b}±0.018	75.5^{b}±0.5
460 W	774^{b}±0.014	60.8^{a}±2

Letras idénticas indican que no hay diferencia significativa (Tukey, α=0.05). Los valores representan la media ±desviación estándar.

Se obtuvo una mejor extracción de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante después del tratamiento con microondas en las diferentes potencias de 372 W, 390 W, 460 W en

comparación con la muestra control con diferencias significativas de p>0.05, como se muestra en el Cuadro 2. La potencia 390W presentó mayor contenido de fenoles 777^{b}±0.018 y capacidad antioxidante con 75.5%, en comparación con las demás condiciones de deshidratación, con diferencias significativas de p>0.05. Datos similares obtuvieron Uslu y Mehmet (2017), sobre los compuestos fenólicos en las nuez de marañón, mediante el proceso de calentamiento con microondas en potencias de un rango 180W- 720W obtuvieron mayor contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante a una potencia de 720 con un contenido de compuestos fenólicos de 107.00±0.05 mg EAG/100 g y 58% de capacidad antioxidante. Por otro lado Pérez *et al.* (2017) realizaron la extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja en pulpa con y sin semillas y emplearon pretratamientos con microondas a 105 W por 62 min, encontrando una mayor disponibilidad de los compuestos fenólicos así como la capacidad antioxidante después del tratamiento con microondas. El aumento de la disponibilidad de los compuestos fenólicos al ir aumentando la potencia de calentamiento con microondas se debe a que existe una extracción gradual de los compuestos fenólicos hasta el punto en el que se ha extraído la mayoría de compuestos del material vegetal, sin embargo y debido a varios factores como el calentamiento estos compuestos pueden degradarse poco a poco y por ende los valores de compuestos fenólicos tienden a disminuir (Morillo *et al.*, 2016).

Los productos sufren reacciones de Maillard durante el proceso de deshidratación, en particular melanoidinas, pueden hacer una contribución al contenido fenólico total y la capacidad antioxidante; ya que el tratamiento térmico libera los componentes fenólicos unidos y eleva la actividad antioxidante (Xu *et al*., 2007; Hayat *et al*., 2010; Chandrasekara *et al*., 2011); así mismo, Turkmen *et al*. (2005) coinciden con las referencias anteriores de que la actividad antioxidante aumenta después del tratamiento con microondas, debido a la liberación de una fracción fenólico libre, reportan que el procesamiento de microondas activa la actividad antioxidante en el brócoli, espinacas, judías verdes, pimienta y en cáscaras de cítricos.

Contenido de carotenoides y capacidad antioxidante

En la muestra control del marañón rojo se obtuvo un menor contenido de carotenoides de 796±0.01 µg/100 g y 51% de capacidad antioxidante en comparación con los demás tratamientos de deshidratación (372 W, 390 W, 460 W) con diferencias significativas de p>0.05 como se muestra en el Cuadro 3. El tratamiento de deshidratación a potencia 460W obtuvo mayor contenido de compuesto fenólicos y capacidad antioxidante con 1184 µg/100 g, 53% en comparación con las demás potencias de tratamiento con diferencias significativas de p>0.05, como se puede observar se obtuvo mayor extracción de los compuestos carotenoides así como la capacidad antioxidante con el tratamiento con microondas. Datos similares reportaron Jiménez *et al*. (2004) sobre el comportamiento de estabilidad de los pigmentos en el mamey y mango en tratamiento con energía de microondas, observaron un aumento de absorbancia conforme aumentaba el tiempo de tratamiento con microondas. Concluyeron que el tratamiento con microondas en las frutas favorece el incremento de color y lo mantiene estable e inversamente disminuye la actividad de la polifenoloxidasa con lo que se asegura que el color no sea afectado por el oscurecimiento enzimático. Por otro lado Aschoff *et al*. (2014) afirman que el tratamiento térmico tiene el potencial para mejorar la biodisponibilidad de los carotenoides, mediante el rompimiento de la matriz de las estructuras celulares. El alcance de este rompimiento depende del tipo de fruta y de la severidad de tratamiento térmico. Sin dejar de lado que, un tratamiento térmico excesivo puede ocasionar pérdidas importantes en el contenido de carotenoides, por degradación con calor u oxidación.

Turkmen *et al*. (2005) obtuvieron un incremento de la capacidad antioxidante en chile, chícharo y brócoli, después del cocimiento con microondas en comparación con los valores obtenidos sin cocimiento. Esto significa que existe una correlación positiva entre los carotenoides y la actividad antioxidante por lo tanto un mayor contenido de carotenoides incrementa su capacidad antioxidante. Rodríguez-Amaya (2010) afirma que el tratamiento térmico tiene el potencial para mejorar la biodisponibilidad de los carotenoides, mediante el rompimiento de la matriz de las estructuras celulares.

Cuadro 3. Contenido de carotenoides y capacidad antioxidante por el radical.

Potencias	Carotenoides(µg/100 g)	ABTS (% de inhibición)
Control	796^{a}±0.01	51^{a}±3.6
372 W	966^{b}±0.01	54^{a}±1.5
390 W	909^{ab}±0.03	74^{b}±0.5
460 W	1184^{c}±0.01	53^{a}±2.6

Letras idénticas indican que no hay diferencia significativa (Tukey, α=0.05). Los valores representan la media ±desviación estándar.

Contenido de color en bagazo de marañón rojo

El color es uno de los parámetros importantes de calidad en el deshidratado frutas y vegetales, los posibles cambios de color haría influir en la propiedades organolépticas y se limitaría su aplicación (Femenia *et al*., 2003). Las reacciones de Maillard ocurren a menudo cuando los alimentos son tratados térmicamente, los principales parámetros que induce a las reacciones de Maillard y reacciones no enzimáticas son la temperatura y la duración del tratamiento térmico (Chua *et al*., 2001).

En el Cuadro 4 se presentan las coordenadas L* (luminosidad), a* (verde-rojo) y b* (amarillo-azul) y la diferencia de color (ΔE) del bagazo de marañón rojo, se observa que las variables evaluadas del bagazo de marañón varían significativamente. En la 390 W se presentó mayor luminosidad en comparación con la muestra control. Con respecto a la cromaticidad a* y b*, la potencia 390 W presentó matices más altos en comparación con la muestra control. La diferencia de color (ΔE) de cada potencia mostró diferencias significativas de $p>0.05$. Para evaluar la magnitud de la diferencia de color en las dos variedades, se determina que el bagazo de marañón rojo sobresale en la potencia 390 W con una diferencia de color (ΔE) de 10.69, en comparación con las demás potencias.

Cuadro 4. Contenido de color en el bagazo de marañón rojo.

Bagazo de marañón rojo	L*	a*	b*	ΔE
Control	31.45^{a}±0.025	3.57^{a}±0.01	13.35^{b}±0.03	-
372 W	37.43^{b}±0.01	3.81^{b}±0.01	12.38^{a}±0.15	8.45^{a}±0.01
390 W	40.76^{d}±0.06	5.61^{d}±0.02	14.12^{c}±0.18	10.69^{c}±0.03
460 W	39.13^{c}±0.017	4.09^{c}±0.03	13.66^{b}±0.03	8.96^{b}±0.03

Letras idénticas indican que no hay diferencia significativa (Tukey, α=0.05). Los valores representan la media ±desviación estándar.

En la muestra control del bagazo de marañón rojo hubo disminución de color en comparación con las muestras deshidratadas a diferentes potencias. Se observaron diferencias significativas en la resistencia del color en cada una de las potencias, cabe mencionar que la potencia 390W sobresale en cuanto a la luminosidad y en las cromaticidades a* y b*. Adam *et al*. (2000) realizaron el secado de la cáscara de Thompson a 600 W y mandarina a 450 y 600 W, donde disminuyó lentamente su parámetro colorimétrico luminosidad (L*) seguido del parámetro a*. Esto se debe a la formación de pigmento marrón dando lugar a una reacción de Maillard o de reacción de caramelización que ocurre durante el secado a altas temperaturas (Ruiz-Diaz *et al*., 2000). Según Schweiggter *et al*. (2015) mencionan que el color de las partes del marañón (pulpa y cáscara) se debe a la presencia de carotenoides en su composición, por lo tanto, el color es una característica importante en los alimentos, especialmente cuando son introducidas al mercado y la aplicación de microondas mejora cualidades del producto, como el aroma y color, que permite obtener resultados más rápidos y mejores, en comparación con el proceso de secado con aire caliente (Maskan, 2001).

CONCLUSIÓN

En este estudio se logró que los compuestos fenólicos, carotenoides, capacidad antioxidante y el color del bagazo de marañón rojo no se perdieran durante la deshidratación con microondas en las condiciones evaluadas de 372-460 W en un rango de tiempo de 12-18. El bagazo de marañón rojo deshidratado con microondas se puede aplicar en la elaboración de productos nutraceúticos y darle un valor agregado al bagazo de marañón.

LITERATURA CITADA

Adam, E., W. Muhlbauer, A. Esper, W. Wolf and W. Spiess. 2000. Quality changes of onion (*Allium cepa* L.) as affected by the drying process. Nahrung 44: 32-37.

Akoy, E. O. y D. Von Höresten. 2015. Microwave drying of mango slices at controlled temperatures. International. Journal of Innovation and Applied Studies 12(2): 374-386.

Alibas-Ozcan, I., B. Akbudak & N. Akbudak. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. Journal of Food Engineering 78(2): 577- 583.

AOAC. 1990. Official methods of analysis of the AOAC, 15th ed. Methods 954.01, 962.09, 923.03, 920.39. Association of official analytical chemists. Arlington, VA, USA

Arslan, D. and O. Mehmet-Musa. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. LWT-Food Science and Technology 43:1121–1127.

Arteaga, A. y H. Arteaga. 2016. Optimización de la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides. Scientia Agropecuaria 7(3): 191-200.

Aschoff, J., K. Kaufmann, S. Kalkan, O. Neidhart, S. Carle, R. and R.M.Schweiggert. 2014. *In vitro*-bioaccessibility of carotenoids, flavonoids and vitamin C from differently processed oranges and oranges juices (*Citrus sinensis* L.) Osbeck. Journal of Agricultural and Food Chemistry 63(2): 578-587.

Catarino, L. Y. Menezes and R. Sardinha. 2015. Cashew cultivation in Guinea-Bissau – risks and challenges of the success of a cash crop. Scientia Agricola 72(5): 459-467.

Cerón-López, I. 2013. Extracción y cuantificación de compuestos con actividad antioxidantes a partir de cáscaras de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en el departamento de Nariño. Tesis de pregrado, Universidad De Nariño. Facultad De Ingeniería Agroindustrial. Programa De Ingeniería Agroindustrial. San Juan De Pasto. 98 p.

Chandrasekara, N. and F. Shahidi. 2011. Effect of heating on phenolic content and antioxidant activities of Whole cashew nuts, kernels, and testa. J. Agric. Food Chem 59: 5006–5014.

Chua, K.J., A.S. Mujumdar, M.N.A. Hawlader, S.K. Chou and J.C. Ho. 2001. Batch drying of banana pieces—effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. Food Research International 34(8): 721–731.

Dendena, B. and S. Corsi. 2014. Cashew, from seed to market: a review. Agronomy for Sustainable Development 34(4): 753-772.

Femenia, A., M.J. Bestard, N. Sanjuan, C. Rossello, and A. Mulet. 2000. Effect of rehydration temperature on the cell wall components of broccoli (*Brassica oleracea* L. italica) plant tissues. J. Food Eng. 46: 157-163.

Femenia, A., P. García-Pascual, S. Simal, and C. Rossello. 2003. Effects of heat and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from Aloe *barbadensis* Miller. Carbohydre Polymers 51: 397-405.

Hayat, K., X. Zhang, U. Farooq, S. Abbas, S. Xia, C. Jia, F. Zhong, and J. Zhang. 2010. Effect of microwave treatment on phenolic content and antioxidant activity of citrus mandarin pomace. Food Chem. 123(2): 423-429.

Hojjati, M., L. Noguera-Artiaga, A. Wojdyło, and A.A. Carbonell-Barrachina. 2015. Effects of microwave heating on physicochemical properties of pistachios (*Pistacia vera*). Food Sci. Biotechnol. 24(6): 1995-2001.

Jiménez, M.E., M.L. Zambrano, and M.R. Aguilar. 2004. Stability of pigments in fruit subjected to microwave energy Treatment. Información Tecnológica 15(3): 61-66.

Kammoun-Bejar, A., N. Kechaou, and N. Boudhrioua-Mihoubi. 2011. Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (Citrus *sinensis*) peel and leaves. Journal of Food Processing and Technology 2:1-7.

Lafont, J., M. Paez, y A. Portacio. 2011. Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (almendra) del marañón (*Anacardium occidentale* L). Revista Información Tecnológica 22(1): 51-58.

Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering 48 (2): 169-175.

Mathias-Rettig, K. y K. Ah-Hen, 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Revista Agro Sur 42(2): 39-48.

McLaughlin, J., C. Balerdi y J. Crane. 2012. El marañón (*Anacardium occidentale*) en Florida. (consultado: 09/04/2019). Disponible en: http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS29100.

Moo, H., V. Moo-Huichin, M. Estrada-León, R. Cuevas-Glory, L. Estrada-Mota, I. Ortiz-Vázquez, E. Betancur-Ancona, and D. Sauri-Duch. 2015. Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. Food Chemistry 166: 17-22.

Morillo-Chávez, D. Patiño-Bolaños, V. Jurado-Bucheli y M. Mora-Osorio, O. 2016. Extracción asistida por microondas de compuestos antioxidantes a partir de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*). Vitae 23: 635-639.

Neel, C. and S. Fereidoon. 2011. Effect of heating on phenolic content and antioxidant activities of Whole cashew nuts, kernels, and testa. J. Agric. Food Chem. 59: 5006–5014.

Pérez-Loredo, M.G., L. Hernández-de Jesús y B. E. Barragán-Huerta. 2017. Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. Agrociencia 51(2): 135-15.

Regier-M, E. Mayer-Miebach, D. Behsnilian, E. Neff, and HP. Schuchmann. 2005. Influences of drying and storage of lycopene-rich carrots on the carotenoid contenet. Drying Technology 23:989-998.

Rodiz-Torres, L. Morales-Cruz, A. Carrillo-Landeros, J., E. y Y. Chávez-Reyes. 2018. Deshidratación con microondas del bagazo de carambola y semilla de mango, efecto en fenoles y fibra. Revista del Centro de Graduados e Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida 73:158-166.

Rodríguez-Amaya, D. B. 2010. Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids- A review. Journal of Food Composition and Analysis 23: 726-740.

Ruiz-Diaz, G., J. Martinez-Monzo, J. Barat, A. Chiralt, and P. Fito. 2003. Applying microwaves in drying of orange slices. 12th International Drying Symposium. IDS. Dry Technol. 239:203-209.

Scheweiggert, R. M. and R. Carle. 2015. Carotenoid deposition in plant and animal foods and its impact on bioavailability. Food Science and Nutrition 57(9):1807-1830.

Turkmen, N., F. Sari, and S. Velioglu. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chemistry 93 (4): 713-718.

Uslu, N., and Ö. Mehmet-Musa. 2017. Effect of microwave heating on phenolic compounds and fatty acid composition of cashew (*Anacardium occidentale*) nut and oil. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 18(3):344-347.

Xu, G., X. Ye, J. Chen, and D. Liu. 2007. Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 330–335.

SISTEMA WEB DE SOPORTE DE DECISIONES BASADO EN DATOS FÍSICO-QUÍMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE ORNAMENTALES[1]

[DECISION-MAKING WEB SYSTEM BASED ON RECORDS OF PHYSICAL AND CHEMICAL DATA FOR ORNAMENTAL PLANTS PRODUCTION]

Mónico Joel Sánchez Velasco[1], Nicandro Farías Mendoza[2], Patricia Elizabeth Figueroa Millán[2§], Juan García Virgen[2], J. Reyes Benavides Delgado[2]

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

RESUMEN

La producción de ornamentales en el estado de Colima es una de las principales actividades económicas que implica usar grandes cantidades de agua, procesar datos físico – químicos y tomar decisiones para mantener los parámetros normales del crecimiento de los ornamentales; a través de un proceso empírico y sin mecanismos automatizados para el uso sustentable del agua, ya que el riego se planifica sin considerar las variables físico – químicas involucradas en su producción. Este trabajo de investigación, aún en proceso, describe el desarrollo de un sistema web para la toma de decisiones basado en los datos físico–químicos de la producción de plantas ornamentales en los viveros del municipio de Coquimatlán, aplicando la metodología de Proceso Unificado Ágil (PUA) y tecnologías de desarrollo web como Python y HTML5 respectivamente. Gracias al programa de Becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Colima, se logró contribuir con un sistema web que permite un buen control y uso adecuado de los insumos y recursos hídricos en la producción de ornamentales; permitiendo la adquisición eficiente de información y sirviendo como apoyo en la toma de decisiones con base en los resultados parciales del sistema.

Palabras clave: agricultura protegida, plantas ornamentales, recursos naturales.

ABSTRACT

The production of ornamental plants in the state of Colima is one of the main economic activities, which involves using large amounts of water, processing physical-chemical data and making decisions to maintain the normal parameters of ornamental growth. However, this process does not have systematized mechanisms for the sustainable use of water, since irrigation is not planned considering the physical-chemical variables involved in its production but is performed empirically. This research work, still in process and located in the greenhouses of ornamental plants in the municipality of Coquimatlán, presents a web system for decision-making based on the historical physical-chemical data of the production of ornamental plants, developed by applying the Agile Unified Process (PUA) methodology, in conjunction with web development technologies for the back-end such as Python and HTML5 for the front-end. Thanks to the support of the National Council of Science and Technology through its Scholarship program and the National

[1] Recepción: 14-mayo-2019
Aceptación: 06-noviembre-2019

Technological Institute of Mexico campus of the Technological Institute of Colima, it was possible to contribute so far with this web system in a good control of water resources and supplies for the production of ornamental plants, avoiding their inappropriate use; allowing the efficient acquisition of information and serving as support in decision making based on the partial results of the system.

Index words: natural resources, ornamental plants, protected agriculture.

INTRODUCCIÓN

En México el procesamiento de datos, en conjunto con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) como soporte para la toma de decisiones son pieza clave para la mejora de los procesos productivos, permitiendo la obtención de producciones de calidad Moreno *et al*. (2011). Permite que los productores puedan desempeñar actividades productivas rentables optimizando sus procesos y el aprovechamiento de los recursos naturales e insumos disponibles. A esto, se le conoce hoy en día como agricultura de precisión, la cual desempeña un papel importante para alcanzar este objetivo. Ésta establece la realización de una práctica agrícola en el momento adecuado, en el lugar correcto y con la intensidad adecuada, usando tecnologías digitales para optimizar los procesos de producción; mientras que, se minimizan los impactos adversos en el medio ambiente gracias a la reducción de insumos y recursos naturales (Ezenne, *et al.*, 2019).

La agricultura de precisión está estrechamente relacionada la agricultura protegida, dentro de la cual se tiene la producción de plantas ornamentales. Éstas son usadas con fines decorativos aplicados a diferentes entornos. En la república mexicana es la actividad de más alta rentabilidad económica dentro del sector agrícola, ya que el valor de la producción de cultivos ornamentales por unidad de superficie es el más alto en comparación con otros grupos de cultivos (INEGI y El Colegio de Postgraduados, 1998).

El conocimiento del comportamiento de las variables físico – químicas permite tomar decisiones prácticas preventivas y oportunas, para hacer eficiente el proceso productivo y mejorar la calidad de los productos, permitiendo el buen manejo de los recursos naturales como el agua, la cual en cantidades desproporcionadas puede desarrollar casos de estrés, como un crecimiento y florecimiento inadecuado; afectando como resultado la rentabilidad de la actividad económica. Ante esto, la aplicación de tecnologías para agricultura de precisión se propone y se convierte en una de las tecnologías necesarias para la recolección de datos desde el campo de cultivo, los cuales son utilizados para la toma de decisiones inteligentes sobre el uso de recursos naturales e insumos en los procesos de producción a través del uso de las TIC y los Sistemas para el Soporte de Decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) (Orozco y Llano-Ramírez, 2016).

Actualmente existen soluciones enfocadas en el soporte a la toma de decisiones con base en los datos históricos de las variables físico – químicas; sin embargo, hasta donde se tiene conocimiento, éstas son muy generales dentro del tema de la agricultura e inadecuadas para su contextualización en la producción de plantas ornamentales. Bourgeois *et al*. (2015) presentan el desarrollo de un DSS para agricultura de precisión, desarrollado para un proyecto del departamento de Agricultura de los Estados unidos, para riego inteligente. Éste adquiere información de sensores de temperatura y humedad desplegados en un campo a través de una red inalámbrica de sensores y el uso de una nube de datos; sin embargo, este sistema no incluye tecnología de bajo costo ya que está montado en infraestructura no accesible para México. Wallhead y Zhu (2017) presentan una revisión de

cuatro DSS incluyendo Ag-Radar, Newa, RIMpro y Skybit, candidatos potenciales para la producción de plantas en viveros ornamentales. Éstos fueron desarrollados previamente para que los agricultores de huertos pudieran manejar eficazmente las enfermedades de las plantas a través de la adquisición histórica del clima; su principal limitación es su orientación únicamente para el monitoreo de enfermedades y plagas y no para el monitoreo de variables que afectan la producción de plantas. Adinarayana *et al*. (2012) presentan el diseño de un DSS para observar y predecir incidencias de plagas en los cultivos de arroz. Cárdenas-Tamayo *et al.* (2010) implementan un DSS para fertilización, control de crecimiento de cultivos y predicción de enfermedades usando sólo sensores de temperatura y humedad, dejando de lado otras variables físico - químicas importantes para la producción de cultivos. Cobos *et al*. (2007) proponen el desarrollo de un DSS para apoyar a agricultores e investigadores en la identificación de técnicas de cultivo en invernaderos más eficientes a partir del análisis de los datos recolectados por los sistemas de monitoreo; sin embargo, éste se enfoca en los procesos de trazabilidad hacia atrás como la identificación de la procedencia de la semilla, del árbol específico de donde fue tomada, los tratamientos pregerminativos y de repique aplicado, el sistema de siembra y los sustratos utilizados, entre otras.

Como se puede observar, a través de un análisis cualitativo de las soluciones antes expuestas, existen algunos DSS orientados a la producción de ornamentales; sin embargo, éstos están contextualizados principalmente para la detección de enfermedades y plagas, o para casos muy específicos como la identificación de técnicas de cultivo y no para el monitoreo de las variables físico- químicas involucradas en la producción y el uso eficiente de los insumos y recursos naturales. Además, éstas no proporcionan un análisis completo de la información histórica y se basan en infraestructuras no disponibles para México y de alto costo. Por lo tanto, en esta investigación se propone un sistema web a bajo costo para la toma de decisiones basado en el histórico de datos físico – químicos de la producción de plantas ornamentales, cuyo objetivo principal es ser un soporte para el agricultor para hacer un uso eficiente de los recursos naturales y de los insumos de producción como fertilizantes, pesticidas y herbicidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en los invernaderos de plantas ornamentales en el municipio de Coquimatlán, Colima, en la empresa Plantas Ornamentales de Colima S.P (ORNACOL); empresa colimense dedicada a la producción de plantas ornamentales. La metodología utilizada para el desarrollo el sistema web descrito se fundamentó en una investigación mixta como se muestra a continuación:

Investigación de campo

Se visitó el lugar en donde se llevó a cabo la investigación, permitiendo observar el proceso y muestreo calendarizado de los datos físico–químicos de manera manual en los invernaderos para cada una de las zonas de producción. Además, se realizó levantamiento de requisitos con base en la normativa del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE), observándose los resultados del mal soporte en la toma de decisiones y evidenciando así los altos consumos de agua y la presencia de problemas de desarrollo de las plantas.

Procesamiento y análisis estadísticos de datos

La información recolectada se analizó y sirvió como fundamento para definir los requisitos funcionales y no funcionales del sistema web; permitiendo comprender el proceso de flujo que debe seguir la información recopilada en el módulo de censado. Las variables físico – químicas a tomar en cuenta, consideradas para la producción de plantas ornamentales son: pH entre 5.5- 6.5, conductividad eléctrica entre 1.5-2 y humedad entre 65-100% cuyos parámetros son establecidos por los dos productores entrevistados. Para la elección tanto de los productores como de las plantas seleccionadas para muestreo, se consideró una muestra no probabilística de la población objetivo, acorde a lo que dice Hernández-Sampieri *et al*. (2013), ya que su elección no depende de la probabilidad, sino de las causas relacionadas con las características de la investigación. Acorde a esto, se seleccionaron a los dos productores principales de ornamentales en el estado, debido a que éstos tienen la mayor cantidad de superficie de producción y mayor cantidad de especies producidas. Por otro lado, se seleccionó aleatoriamente un grupo de 10 plantas de cada especie por cada área del vivero, siendo éste el proceso manual no automatizado que se realiza en el vivero acorde a su conocimiento empírico; por lo tanto, la elección de las plantas para medir el impacto de la automatización del proceso productivo antes y después de la implementación del sistema propuesto se realizó acorde a esto.

Investigación documental

Un DSS es un sistema de información computacional que soporta actividades de negocios o de toma de decisiones. Éstos ayudan a las personas a tomar decisiones con base en la información recolectada; además, éstos toman información y resuelven problemas. Proporcionan un almacenamiento y obtención de datos, pero enriquecen el acceso tradicional a la información con el soporte de asistencia, administración y planeación en diversas disciplinas, las cuales hacen uso de los DSS para establecer enfoques para la realización inteligente de decisiones Bourgeois *et al.* (2015). Un DSS debe estar compuesto de cuatro componentes principales: una base de datos, un modelo base, conocimiento base y una interfaz gráfica de usuario. La funcionalidad de la base de datos es almacenar, obtener y organizar los datos que serán utilizados como información para la toma de decisiones en el componente del motor del conocimiento. La base del modelo consiste en las capacidades analíticas de los modelos cualitativos. La funcionalidad del motor de conocimiento está diseñada para gestionar el proceso de resolución de problemas, el reconocimiento de problemas y la generación de una solución final. El componente de interfaz de usuario está diseñado para facilitar la interacción de los usuarios con el sistema (Taechatanasat y Armstrong, 2014).

Modelado

El modelado del sistema web se llevó a cabo a través de la descripción de tres bloques fundamentales que conforman el flujo de datos a través del sistema, siendo éstos los siguientes: adquisición de datos, procesamiento y adquisición del conocimiento; también se representan los procesos que se llevan a cabo para que el sistema pueda dar soporte a una decisión y se define qué es lo que se lleva a cabo en cada bloque del sistema mediante**,** dando como resultado un modelo conceptual (Figura 1)**.**

Implementación

El desarrollo e implementación del sistema web fue realizado considerando los requerimientos, objetos y métodos; usando herramientas de programación orientadas a web tales como Python y el toolkit de Pandas para el desarrollo del sistema web y el análisis de los datos almacenados en el back-end, respectivamente. Además, se utilizó HTML5 (JavaScript + HTML) para el desarrollo del front-end del sistema, haciendo visibles los resultados en internet desde de un host.

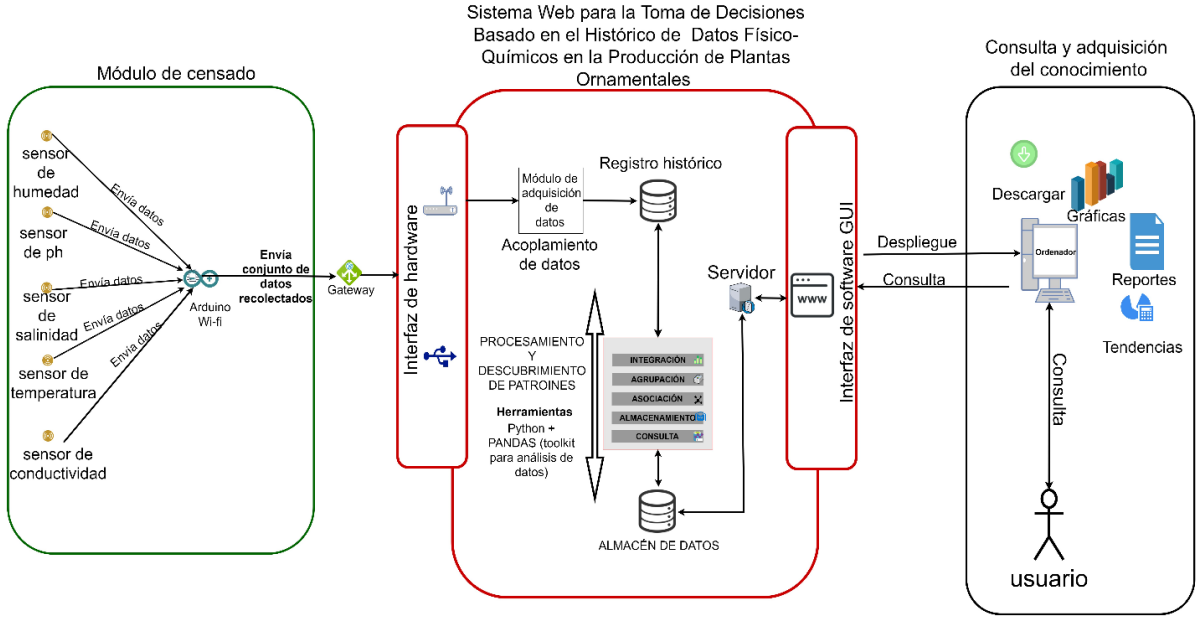


Figura 1. Modelo conceptual del sistema web (fuente: propia).

Pruebas y despliegue

La fase de pruebas está en desarrollo, mediante la aplicación de pruebas de estrés, rendimiento y soporte de flujo, por mencionar algunas.

El sistema web está actualmente alojado de manera temporal en un servidor de desarrollo implementado en Python; el cual es un servidor ligero que el mismo lenguaje tiene embebido para el desarrollo de proyectos en el cual se hacen las pruebas y modificaciones correspondientes, posteriormente será alojando en un hosting web que permita el flujo de información, desde la recolección hasta la consulta de los datos.

Gestión de configuración y de proyectos

Esta fase está actualmente en proceso; por lo tanto, se está desarrollando la infraestructura necesaria para la versión final del sistema y comenzar con la validación de datos. En esta etapa se están realizando las actividades conforme al cronograma propuesto; elaborando cada una en tiempo y forma para terminar el desarrollo en los tiempos planteados.

Ambiente

Para poder tener el ambiente de desarrollo del proyecto se tuvieron que hacer compras y adquisiciones necesarias para hacer uso de ellas durante el desarrollo del sistema web como es la instalación de software necesario y algunos materiales de papelería.

Las fases anteriormente descritas engloban y hacen referencia a las fases de la metodología de **Proceso Unificado Ágil** (**AUP** por sus siglas en inglés**)** con la finalidad de comenzar el proceso de ingeniería de software. En la Figura 2 se ilustra la metodología antes dicha la cual sigue un enfoque basado en el Proceso Unificado Racional (RUP por sus siglas en inglés) el cual se basa en disciplinas y entregables incrementales con el tiempo; permitiendo al desarrollador avanzar en distintas fases del desarrollo, permitiendo así la flexibilidad de desarrollo (Edeki, 2013).

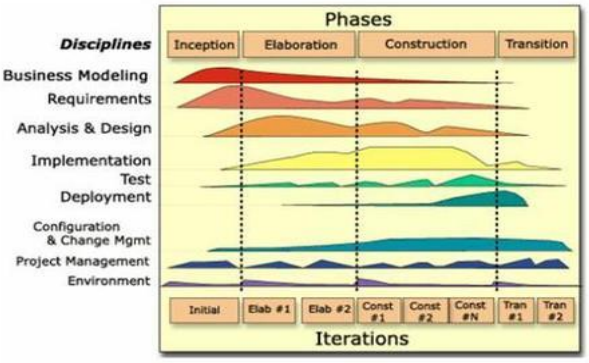


Figura 2. Fases de la metodología de Proceso Unificado Ágil (Edeki, 2013).

En la fase de incepción corresponde a los objetivos planteados, factibilidad y costos del sistema. La fase de elaboración analiza el dominio del problema y la modelación de este. En la fase de construcción se modela, se construye y se prueba el sistema; también se desarrolla la documentación de soporte. En la fase de transición el objetivo es probar y desplegar el sistema y se elaboran tareas como mejorar el sistema y el despliegue.

RESULTADOS

Como resultado de la investigación documental y de campo se está logrando desarrollar el sistema web para la toma de decisiones basado en el histórico de datos físico- químicos de la producción de plantas ornamentales, el cual se está implementando mediante el uso de Python y el toolkit de Pandas para el desarrollo del sistema web y el análisis de los datos almacenados, usando HTML5 (JavaScript + HTML) para el desarrollo del back - end y front - end del sistema, respectivamente.

Por otro lado, antes de la implementación del sistema propuesto en esta investigación, el proceso de adquisición de datos se realizaba de forma manual; lo cual implica la inversión de mucho tiempo tanto en el muestreo de los datos como en el análisis de estos para el proceso de toma de decisiones, dando como resultado la obtención de la información fuera de tiempo. Por consiguiente, el control y dosificación de los recursos naturales e insumos de producción es inadecuado ya que se aplican acciones de forma extemporánea sin considerar la información exacta de los muestreos y el tiempo adecuado, originando con esto riegos y fertilizaciones no planificadas ni automatizadas.

A continuación, en el Cuadro 1 se describe el proceso no automatizado que se realiza para el levantamiento de los datos físico-químicos antes de la implementación del sistema propuesto, haciendo hincapié en el tiempo que se invierte para el muestreo de éstos, considerando que se selecciona aleatoriamente un grupo de 10 plantas de cada especie por cada área del vivero y así obtener un promedio de los datos para poder realizar el proceso de toma de decisiones involucrado en la producción de plantas ornamentales enfocado a una producción sustentable y de calidad.

Cuadro 1. Bitácora del comportamiento de las variables físico - químicas.

	Variables censadas (10/01/2019)				
Nombre de la especie	**pH**	**C**	**T**	**TM**	**TME**
Pasto español (*Pennisetum villosum*)	6.45	1.59	23.2	3:03	30.3
Aglaonema (*Aglaonema Crispum)*	6.43	1.20	23.5	2.45	24.5
Alix (*Dieffenbachia Amoena)*	7.01	0.73	22.4	3.3	33
Palma camedor (Collinia elegans)	6.32	1.24	25.1	1.35	13.5
Marginata (*Dracaena marginata)*	6.58	0.95	26.8	1.25	12.5
Telefono (*Epipremnum aureum)*	6.81	2.23	23.0	2.30	23
	Variables censadas (25/01/2019)				
Nombre de la especie	**pH**	**C**	**T**	**TM**	**TME**
Pasto español (*Pennisetum villosum*)	6.55	1.90	24.0	3.6	36
Aglaonema (*Aglaonema Crispum)*	6.60	1.45	23.9	1.25	12.5
Alix (*Dieffenbachia Amoena)*	6.80	1.35	23.2	2.3	23
Palma camedor (Collinia elegans)	6.50	1.68	24.3	1.32	13.2
Marginata (*Dracaena marginata)*	6.65	1.75	23.9	1.60	16
Telefono (*Epipremnum aureum)*	6.95	3.42	24.0	2.40	24
	Variables censadas (12/02/2019)				
Nombre de la especie	**pH**	**C**	**T**	**TM**	**TME**
Pasto español (*Pennisetum villosum*)	6.32	1.59	21.20	2.6	26
Aglaonema (*Aglaonema Crispum)*	6.35	1.20	22.1	3.4	34
Alix (*Dieffenbachia Amoena)*	6.65	0.73	21.7	3.6	36
Palma camedor (Collinia elegans)	6.43	1.24	23.4	1.6	16
Marginata (*Dracaena marginata)*	6.52	0.95	22.1	1.50	15
Telefono (*Epipremnum aureum)*	5.81	2.23	23.4	2.10	21

C= Conductividad (s/m); T= Temperatura (grados Celsius); TM= Tiempo muestral de 1planta (minutos); TME= Tiempo muestral de 10 plantas de la especie (minutos).

Como se puede observar en la Cuadro 1, sólo se proporciona un extracto de tres días de las bitácoras manuales para el área 1 del vivero del caso de estudio, en la cual se registra por el encargado del vivero el muestreo de pH, conductividad y temperatura, siendo éstos los datos físico - químicos más importantes en la producción de plantas ornamentales. Para el muestreo de 10 plantas por especie únicamente en el área 1 se obtiene en promedio un tiempo de 136.5 minutos, equivalente a 2.275 horas. Por lo tanto, para cubrir el muestreo de las 6 áreas del vivero del caso de estudio de la empresa ORNACOL se requiere un tiempo aproximado de 819 minutos o 13.65 horas.

Con la implementación parcial del sistema, en conjunto con el módulo de censado y de adquisición de datos, ya que este es un trabajo en progreso, se obtuvieron una reducción significativa de los tiempos dedicados al muestreo de las variables de interés; teniendo como primeros resultados un tiempo promedio de 20 minutos o 0.33 h para el muestreo de 60 plantas (10 plantas por especie) únicamente en el área 1. A continuación, en la Figura 3 se presenta un ejemplo de la disminución de tiempo en el muestreo para la adquisición de datos físico - químicos para el área 1; sin embargo, esta automatización en el tiempo de muestreo se ve reflejada para el muestreo de dichos datos en todas las áreas del vivero.

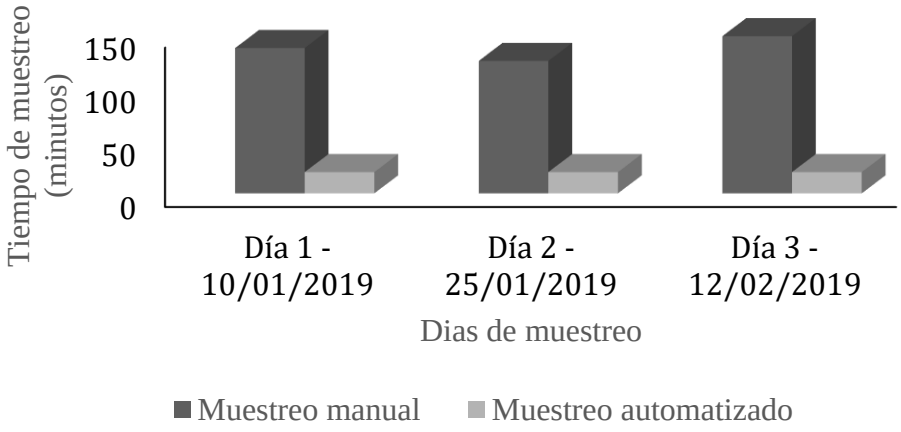


Figura 3. Mejoramiento de adquisición de información.

Como se puede observar en la Figura 3, hubo reducción del **85.35%** del tiempo de muestreo, lo cual permite agilizar el procesamiento de los datos, entregando información actualizada y oportuna en los momentos críticos que puedan presentarse. Esto permite tener ciclos de muestreo de datos más cortos puesto que la adquisición de los datos se simplifica, logrando con esto que el productor pueda efectuar tomas decisiones oportunas, prestando una atención primordial en el uso eficiente de los recursos naturales y de los insumos de producción. Un análisis estadístico de la muestra arroja que se tiene una varianza de 70.365 con una desviación estándar de 8.388, indicando que se tuvieron diferencias significativas en el tiempo de muestreo para el censado de las variables fisicoquímicas cuando se realiza manualmente. Por el contrario, cuando este proceso se realiza de manera automatizada se obtiene como se ilustra en la Figura 4, una recta lineal indicando que el tiempo de muestreo para el censado de las variables físico-químicas a través del sistema automatizado es constante, al no presentar una dispersión de los valores.

Aunado a lo anterior, el sistema DSS propuesto en esta investigación y denominado ORNADATA permite ver la organización de las áreas en las cuales se tienen organizadas las plantas ornamentales de producción (Figura 5).

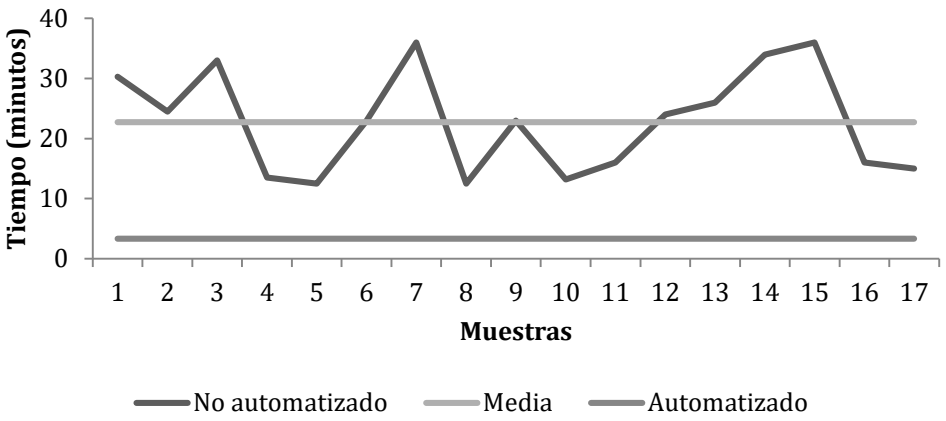


Figura 4. Comportamiento de los procesos de recopilación de datos.

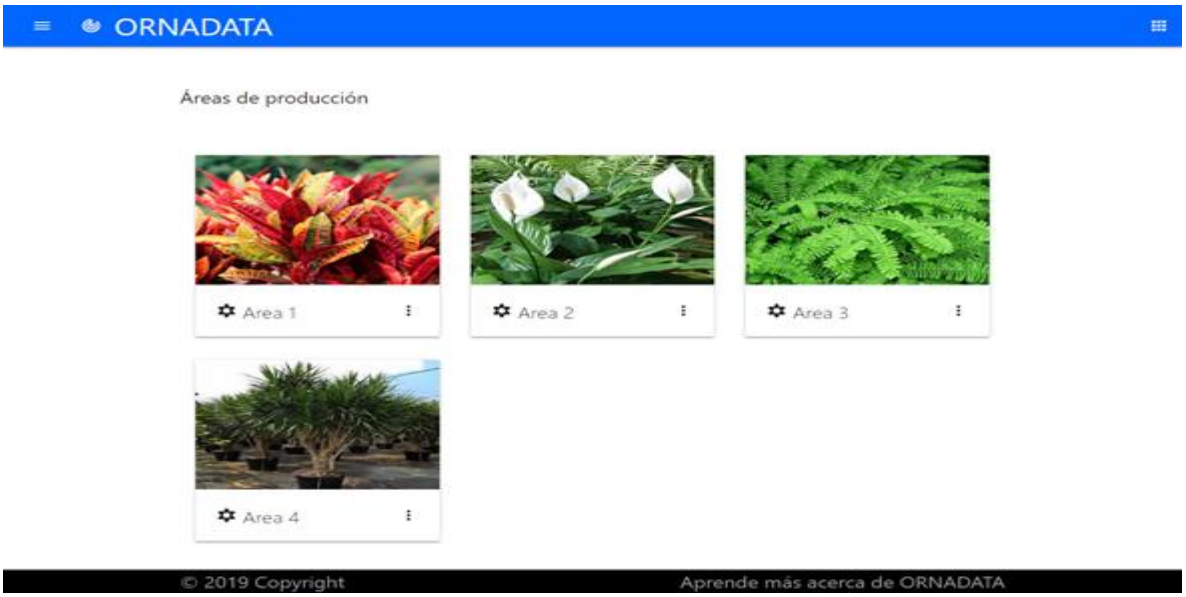


Figura 5. Áreas de producción registradas en el sistema.

Además, permite visualizar cuáles plantas se tienen dadas de alta en los diferentes tipos de áreas (Figura 6) para poder visualizar posteriormente los parámetros físico - químicos de interés para cada una de éstas (Figura 7), ya que estos parámetros son uno de los elementos más importantes para el apoyo en la toma de decisiones.

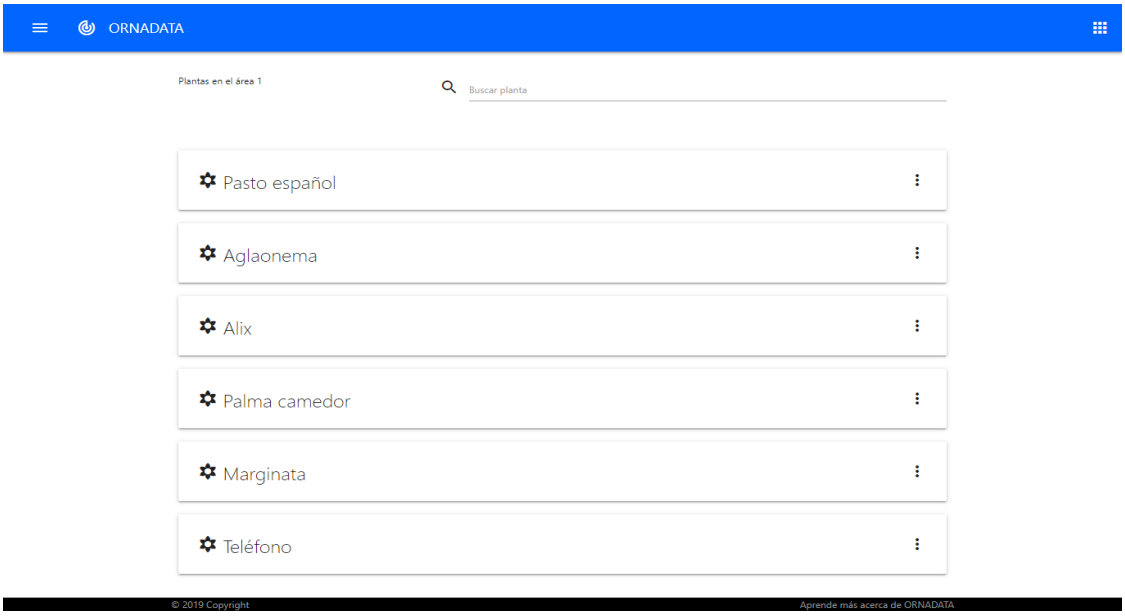


Figura 6. Tipos de plantas contenidas en un área

ORNADATA también permite visualizar la variación en el tiempo del muestreo de las variables físico – químicas de manera visual e intuitiva (Figura 7).

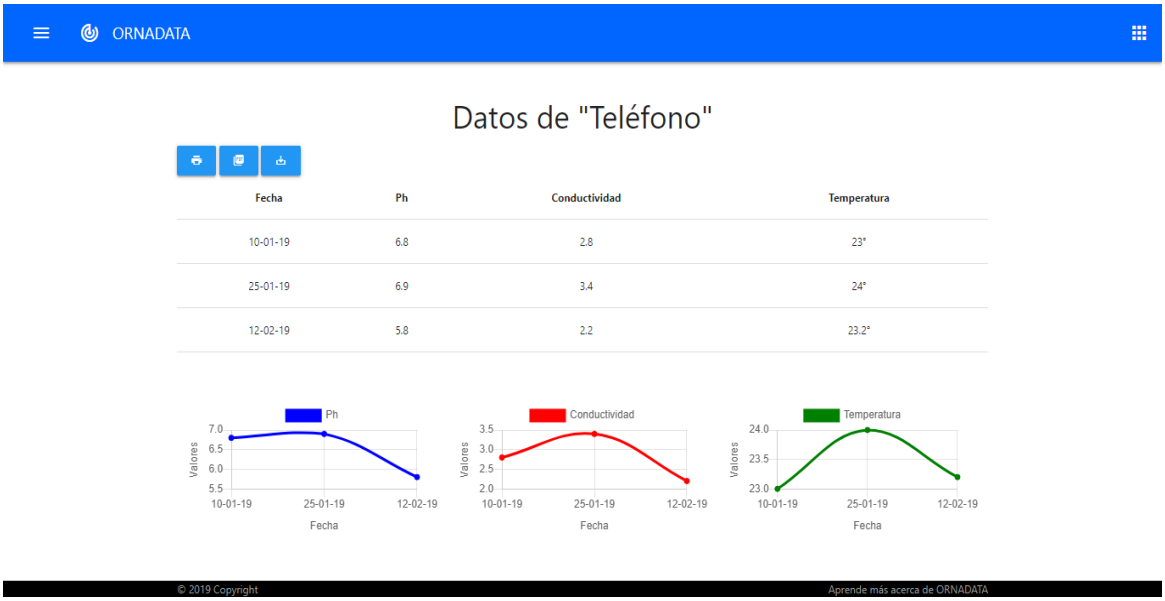


Figura 7. Visualización de los datos físico - químicos

El sistema propuesto en esta investigación en comparación con otras de las soluciones existentes tiene como ventaja principal el bajo costo para su desarrollo desde el módulo de censado hasta la implementación del sistema, ya que otras soluciones existentes en el mercado tienen como principal desventaja para el sector el alto costo de adquisición del paquete tecnológico necesario para que el productor pueda potencializar su producción; por lo que, el sistema web propuesto en esta investigación se diseñó y se está desarrollando utilizando tecnología open source, con la meta de

minimizar los costos para que ORNADATA pueda ser accesible para la gran mayoría de los productores del ramo de ornamentales y que éste sea un soporte esencial en el proceso de producción de plantas ornamentales prestando especial énfasis en la utilización eficiente y oportuna de los recursos naturales y de los insumos de producción.

DISCUSIÓN

Con los primeros resultados obtenidos del sistema se concuerda con Ubudi *et al.* (2017) que las plantas deben tener un tratamiento especial. Además, como menciona (Zhang *et al*., 2013; Tafa *et al*., 2018; Gupta y Quan, 2018) se debe tener conocimiento de los cambios en las variables que censan para tener buen control y desarrollo de los cultivos; sin embargo, en esta investigación se busca la disponibilidad de la información en cualquier momento, para que sea consultada desde cualquier lugar y así el productor pueda tomar decisiones basadas en la información del sistema en el momento oportuno semejante a lo que propone (Yin *et al*., 2011; Mamani *et al.*, 2017; Meah *et al.*, 2019) los cuales cumplen en gran medida con la monitorización de las variables físico-químicas requeridas por los productores para la producción de plantas de ornato.

Propuestas de solución como la de Moga *et al*. (2011) presenta también un enfoque interesante en la monitorización de invernaderos al igual que Fernández *et al*. (2017) considerando variables adicionales en la monitorización como luminosidad y CO_2; mientras que la propuesta de Somov *et al.* (2018) está contextualizada para el cultivo de tomate que sigue un proceso totalmente distinto para su producción; por lo tanto, no se adapta al proceso productivo de plantas ornamentales.

Como se puede observar, la principal limitante que exhiben la mayoría de estas soluciones es que no consideran la conductividad como un parámetro relevante para la toma de decisiones, al no considerarla en la monitorización. Además, algunas de éstas exhiben sus resultados de manera local, a través de los propios entornos de desarrollo de las plataformas utilizadas y no a través de una aplicación web para la visualización de los resultados, limitando con esto el acceso a la información censada desde cualquier lugar, en cualquier momento y a través de cualquier dispositivo.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo del presente sistema hasta el momento, ya que éste aún es un trabajo en progreso, se ha logrado la optimización de uno de los procesos de producción de ornamentales que requiere un tiempo significativo y exhaustivo, el muestreo de los datos físicos - químicos. Esta optimización ha permitido agilizar el proceso de toma de decisiones, gracias a la adquisición oportuna y clara de la información de las variables físico - químicas involucradas en el proceso de producción. El proceso de toma de decisiones en la producción de ornamentales involucra desde la planificación de riegos e implementación de insumos agrícolas hasta la producción y comercialización. Por lo tanto, ORNADATA, contribuye a incrementar la cantidad, calidad, rentabilidad y sustentabilidad de la producción de ornamentales. Fundamentado así, el desarrollo de este trabajo de investigación, el cual aún se encuentra en proceso, dado que es necesario continuar con la implementación del módulo de adquisición de conocimiento que permitirá aportar soluciones para el proceso de la toma de decisiones con base en los datos muestreados y adquiridos a través de la red de sensores desplegada en el vivero.

LITERATURA CITADA

Adinarayana, J., D. Sudharsan1, A.K. Tripathy, S. Sawant, S.N. Merchant, U.B. Desai, S. Devasekhar, K. Karandikar, S. Ninomiya, M. Hirafuji and T. Kiura. 2012. Geosense: ainformation, communication and dissemination system for decision support in precision farming. *In*: Proceedings of Agro-Informatics and Precision Agriculture (AIPA), India. pp. 194-200.

Bourgeois, D., S. Cui, P. H. Obiomon and Y. Wang. 2015. Development of a Decision Support System for Precision Agriculture. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 4:226-231.

Cárdenas-Tamayo, R., M. G. Lugo-Ibarra, and J. A. García-Macias. 2010. Better crop management with decision support systems based on wireless sensor networks. In: 47th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control, Tuxtla Gutierrez. pp. 412-417.

Cobos, C. A., J. A. Timana y R. V. Vallejo. 2015. Sistema soporte a la toma de decisiones para procesos de germinación y cultivo en invernaderos. Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario 6(1): 22-31.

Edeki, C. 2013. Agile Unified Process. International Journal of Computer Science and Mobile Aplications 1(3): 13-17.

Ezenne, G.I., J. Louise, S.K. Mantel and J.L. Tanner. 2019. Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. Agricultural Water Management 218:158-164.

Fernández, L., M. Huerta, G. Sagbay, R. Clotet and A. Soto. Sensing climatic variables in a orchid greenhouse. In: 2017 International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems (ICCDCS). Cozumel, Mexico. pp. 101-104.

Gupta, G. and V. Quan. 2018. Multi-sensor integrated system for wireless monitoring of greenhouse environment. In: 2018 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS). Seoul, South Korea. pp. 1-6.

Hernández-Sampieri, R., C. Fernández, M. del Pilar-Baptista. 2014. Metodología de la Investigación. 6ª. ed. Ed. McGraw-Hill. México. 390 pp.

INEGI y El Colegio de Postgraduados (COLPOS). 1998. La Horticultura Ornamental en México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México. 92p.

Mamani, M., M. Villalobos y R. Herrera. 2017. Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. Revista Chilena de Ingeniería. 25(4): 599-618.

Meah, K., J.Forsyth, and J. Moscola. 2019. A smart sensor network for an automated urban greenhouse. In: 2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST). Dhaka, Bangladesh. pp. 23-27.

Moga, D., D. Petreus and N. Stroia. 2012. A low cost architecture for remote control and monitoring of greenhouse fields. In: 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). Singapore, Singapore. pp. 1940-1944.

Moreno-Reséndez, A., J. Aguilar-Durón y A. Luévano-González. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios 29: 763-774.

Orozco, Ó. A. y G. Llano-Ramírez, (2016). Sistemas de Información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 15(28), 103–124.

Somov, A., D. Shadrin, A. Nikitin, S. Matveev, I. Seledets and O. Hrinchuk. 2018. Pervasive agriculture: IoT-Enabled greenhouse for plant growth control. IEEE Pervasive Computing. 17: 65-75.

Taechatanasat, P. and L. Armstrong. 2014. Decision support system data for farmer decision making. In: Australian Society of Information and Communication Technologies in Agriculture. Australia. pp. 472-486.

Tafa Z., F. Ramadani y B. Cakolli. 2018. The design of a zigbee-based greenhouse monitoring system. In: 2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing. Bubda, Montenegro. pp. 1-4.

Ubudi, R., B. Irawan and R.E. Saputra. 2017. Automation system for controlling and monitoring ornamentalplants using fuzzy logic method. In: The 2017 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC). Yogyakarta, Indonesia. pp. 196-201.

Wallhead, M., and H. Zhu. 2017. Decision Support Systems for Plant Disease and Insect Management in Commercial Nurseries in the Midwest: A Perspective Review. Horticultural Research Institute 35(2):84–92.

Yin, T., W. Feng and Z. Li. 2011. Temperature and humidity wireless sensing and monitoring systems applied in greenhouse. In: Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. Harbin, China. pp. 857-861.

Zhang, J., X. Wang and S. Li. 2013. The embedded greenhouse control system design based on Qt and SQLite. In: 2013 6th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems. Shenyang, China. pp. 47-50.

SISTEMA DE INFORMACIÓN, EVALUACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS[1]

[INFORMATION SYSTEM, EVALUATION AND ENVIRONMENTAL EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS]

Juan José Bedolla Solano[1§], Ramón Bedolla Solano[2], Carolina Astudillo Hernández[1], Rolando Palacios Ortega[1]

[1]Profesor investigador, Tecnológico Nacional de México (TecNM)/ Instituto Tecnológico de Acapulco (ITA). Av. Instituto Tecnológico s/n. Col. Crucero de Cayaco, Acapulco Guerrero, México. C.P. 39905. Tels.: (744) 442 90 10 y 11 ext. 144 y 145. [2]Profesor investigador-UCDR de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). Calle Laurel s/n; col: El Roble, Acapulco, Guerrero, México. [§]Autor para correspondencia: (jjosebedolla@hotmail.com).

RESUMEN

En el trabajo que se plantea, se evalúo a través de un sistema automatizado las competencias ambientales de los estudiantes que cursaron la asignatura: *desarrollo sustentable*, que se imparte en el currículo del programa de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales (ISC) del Instituto Tecnológico de Acapulco (ITA). La evaluación se realizó mediante una encuesta on-line contemplada en la aplicación, misma que considera cuestionamientos de aspectos ambientales considerados en la vida cotidiana. En el ITA, se imparte la asignatura de desarrollo sustentable, sin embargo, se desconocen la información y el seguimiento, respecto a las competencias adquiridas, la cultura y la educación ambiental en las actividades cotidianas realizadas por parte de los estudiantes; así mismo, se desconoce el impacto de la materia definida en el currículo de estudio. Los resultados obtenidos, demostraron que los estudiantes hacen conciencia con mínima responsabilidad, escasamente se alcanza el 59.09% de Educación Ambiental. El proyecto representa un aporte en educación con amplias posibilidades para la toma de decisiones de incluir temáticas en los currículos de las carreras del ITA, y propagar de esta manera el conocimiento respecto al cuidado del medio ambiente, con impacto en el servicio educativo; y el buen vivir de la sociedad.

Palabras clave: buen vivir, competencias ambientales, desarrollo educativo, impacto ambiental, sistema automatizado.

ABSTRACT

In the work that arises, the environmental competencies of the students who attended the subject were evaluated through an automated system: sustainable development, which is taught in the curriculum of the Institute of Computer Systems Engineering (ISC) of the Institute Technological Acapulco (ITA). The evaluation was carried out through an online survey contemplated in the application, which considers questions of environmental aspects considered in everyday life. In

[1] Recepción: 25-abril-2019
Aceptación: 06-diembre-2019

the ITA, the subject of sustainable development is taught, however the information and monitoring are unknown, regarding the acquired skills, culture and environmental education in the daily activities carried out by students; Likewise, the impact of the matter defined in the study curriculum is unknown. The results obtained showed that students become aware with minimal responsibility, scarcely 59.09% of Environmental Education is reached. The project represents a contribution in education with ample possibilities for decision-making to include topics in the curricula of the ITA careers, and in this way spread knowledge about environmental care, with an impact on the educational service; and the good living of society.

Index words: good living, environmental competences, educational development, environmental impact, automated system.

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental como un efecto producido por las actividades antropogénicas a lo largo de la historia, es el resultado de la falta de información y conciencia de las personas con relación a las temáticas del cuidado ambiental. El impacto ambiental ha crecido a escala global, causando afectaciones importantes a la población humana (SEMARNAT, 2012). El escenario, se convirtió en herencia para las nuevas generaciones, significó el inicio de todos los problemas ambientales enfrentados hoy y conocidos como crisis ambiental global (Reynosa-Navarro, 2015).

Las instituciones educativas son responsables de brindar a los estudiantes una educación incluyente, que impulsen el valor del cuidado del medio ambiente y el desarrollo sustentable, que brinden la información necesaria sobre las diferentes alternativas y beneficios para tener estudiantes informados y con conocimientos en un modelo con Educación Ambiental. Un modelo educativo es una representación de un sistema educativo, que describe sus características y funciones como institución académica, donde intervienen los estudiantes, profesores, directivos y trabajadores que interactúan en el proceso de formación profesional (Huerta-Rosales *et al.*, 2017).

La Educación Ambiental (EA) ha ido adquiriendo impulso social para avanzar con sus naturales variaciones en la intervención de las decisiones de los acuerdos y leyes ambientales, en su consolidación como campo de conocimiento, en la transversalidad de proyectos desarrollados con áreas a fines, en la conformación crítica de la cultura para un mejor desarrollo, en la implementación transversal para los modelos educativos, en la innovación tecnológica, entre otras líneas de conocimiento que aporten al buen vivir de las personas. La preocupación por el ambiente entre la población mexicana cobró un mayor conocimiento, alcance y trascendencia del impacto que el deterioro ambiental podía ocasionar (Alfie-C, 2016).

Con la educación constante de actividades y acciones ambientales mediante los programas que se promueven a la comunidad, y si esto se replicara a la ciudadanía se fortalecerán las estrategias para el desarrollo sustentable de la región, Bedolla-Solano *et al., (*2015). Las estrategias y acciones ambientales, son gestiones de relevancia para la generación del conocimiento, que difunden y concientizan a la sociedad respecto al cuidado ambiental con desarrollo sustentable.

El desarrollo sostenible es la voluntad de los seres humanos para mejorar la calidad de vida, incluida la de las futuras generaciones conciliando el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el desarrollo social. La agenda 2030 para el desarrollo sostenible, pone a la

igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente (CEPAL, 2018). En esta participación creativa de la sociedad para el cuidado del medio ambiente, y su autorrealización para una mejor calidad de vida, la sociedad se apoya de diversas estrategias, acciones y herramientas que impactan en el desarrollo económico, social y ecológico; como las tecnologías emergentes de la información y comunicación que automatizan los procesos, haciendo uso de las aplicaciones y los recursos electrónicos.

La educación ambiental, es la formación orientada a la enseñanza del funcionamiento de los ambientes naturales. Las personas deben aprender a llevar una vida sostenible, que reduzca el impacto negativo sobre el medio ambiente y que permita la subsistencia del planeta con calidad de vida. La educación ambiental forma parte de los programas educativos de las escuelas. En el caso del Instituto Tecnológico de Acapulco, todos los programas educativos ya contemplan en el Plan de Estudios la asignatura *desarrollo sustentable*, que se caracteriza por temáticas para la comprensión del funcionamiento de las dimensiones sustentables (TecNM, 2017).

Los gobiernos de los sectores municipales, estatales y federales de México, promueven acciones y programas ambientales con los que se fomenta de manera formal e informal y se realizan campañas gubernamentales, proyectos de organizaciones civiles e iniciativas de empresas con las que se busca promover en los estudiantes y sociedad en general conciencia del buen manejo de los recursos naturales de la tierra.

La práctica de evaluación, permite la identificación de los puntos fuertes y débiles; en este sentido, los indicadores medioambientales cuantifican la evolución en el tiempo de la protección medioambiental. La norma NMX-SAA 14001-2015, proporciona un marco con el que proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, siempre guardando el equilibrio con las necesidades socioeconómicas. Se especifican requisitos para establecer un Sistema de Gestión Ambiental eficiente, que permite a la empresa conseguir los resultados. Un enfoque sistemático de gestión ambiental proporciona información a la alta dirección para generar éxito a largo plazo y crear opciones para contribuir al desarrollo sostenible.

Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) han aportado herramientas que permiten diseñar métodos para reducir el impacto en el entorno. Las TIC representan el elemento vinculante entre gobierno, sector privado y sociedad civil. Las TIC representan uno de los mejores medios para fomentar la inclusión, equidad y que la inversión en TIC tendrá un efecto positivo en el desarrollo sustentable (Cornejo-Díaz y Cornejo-López, 2018a).

La automatización es un sistema desarrollado con elementos tecnológicos, donde se trasfieren tareas de producción. Estos elementos hacen que la máquina o sistema automatizado, se mueva y realice la operación deseada. La elaboración de un instrumento de recopilación de datos permite analizar actitudes y valores con respecto a ecología y medio ambiente y la relación del ambiente con la ciencia y tecnología (Espino-Román *et al.*, 2015).

El trabajo realizado tuvo como finalidad evaluar las competencias ambientales adquiridas por los estudiantes que cursaron la asignatura de *desarrollo sustentable* que ha sido impartida por los profesores de una institución educativa y de esta manera conocer la Educación Ambiental y el

impacto que se tiene en las actividades que desarrollan cotidianamente los alumnos del Instituto Tecnológico de Acapulco. Y con el resultado obtenido a través de la encuesta on-line implementada en el sistema web generar los informes gráficos con sus respectivos porcentajes de los diversos aspectos evaluados. Con ello, se pueden señalar a la institución, las áreas de oportunidad mediante los reportes de resultados de forma electrónica, respecto al conocimiento ambiental que han adquirido los alumnos que han cursado la asignatura, y de esta forma determinar el impacto de las competencias ambientales que se han obtenido posterior al curso. Además, de presentar alternativas para la toma de decisiones para incluir temáticas ambientales en el currículo de estudio que impacten en el desarrollo en educación ambiental, el servicio educativo y la calidad de vida de la sociedad.

El Instituto Tecnológico de Acpulco, contempla en la retícula de todas sus carreras la materia: de *Desarrollo Sustentable*; sin embargo, se percibe la falta de concientización ambiental, ya que en las aulas de clases se dejan los aires acondicionados y las luces encendidas, no se lleva a cabo la clasificación de la basura, el desperdicio del agua es recurrente, el cuidado y forestación es bajo y son muy pocas las estrategias y acciones que se promueven con la educación ambiental.

El trabajo tiene como propósito, conocer el impacto de Educación Ambiental, resultado de las competencias que los alumnos adquirieron posterior a haber tomado la asignatura de desarrollo sustentable; y con ello poder informar si realmente están funcionado estos programas educativos con enfoques ambientales que se han implementado en el currículo de las instituciones educativas. Además de gestionar una propuesta de desarrollo sustentable, que permita concientizar a la sociedad; y que mejor que comenzar con las escuelas del contexto local.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos del trabajo, fue la investigación mixta de tipo cualitativa y cuantitativa, y se apoyó también de los sistemas automatizados basados en los modelos de datos de la ingeniería del *software*. En la investigación cuantitativa se contemplaron las mediciones de las encuestas on-line, mismas que consideraron aspectos ambientales con sus respectivos parámetros y valores asignados a cada indicador. De acuerdo con López-Roldán y Fachelli (2015), en esta metodología se transmite una serie de conocimientos que familiaricen al lector con aquellos métodos y técnicas que les capaciten para la producción del conocimiento a través de la investigación científica, permitiendo al mismo tiempo el desarrollo de unas capacidades reflexivas y de análisis crítico, de vigilancia y rigurosidad, desde la práctica y para la innovación. En el enfoque cualitativo, se realizaron entrevistas de opinión a conocedores ambientalistas, a profesores de sistemas y a estudiantes de la carrera de ISC del ITA para conocer respecto a la funcionalidad y el desempeño de los sistemas automatizados dirigidos a la evaluación de competencias ambientales en las instituciones educativas. La investigación cualitativa es inductiva y sigue un diseño de investigación flexible; el investigador ve el escenario y personas en una perspectiva holística, las personas, escenarios o grupos no son reducidos a variables, sino vistos como un todo (Cadena-Iñiguez *et al.*, 2017).

El sistema de información considera en su diseño un formulario o encuesta on-line. En esta encuesta se seleccionaron preguntas de actividades cotidianas que realizan los estudiantes y considerando cuatro aspectos ambientales: agua, aire, suelo y energía eléctrica. También se llevó

a cabo una entrevista, con el fin de recabar opiniones de expertos en temáticas ambientales, a profesores que imparten la asignatura: desarrollo sustentable y a estudiantes de la carrera de ISC.

En la Figura 1 se presenta el diseño metodológico empleado para el desarrollo de la investigación, que consiste en una serie de etapas o actividades de trabajo: Investigación documental, Análisis del sistema de información, Diseño y selección de datos para el sistema, Evaluación automatizada y Análisis de resultados y Propuesta de Educación Ambiental.

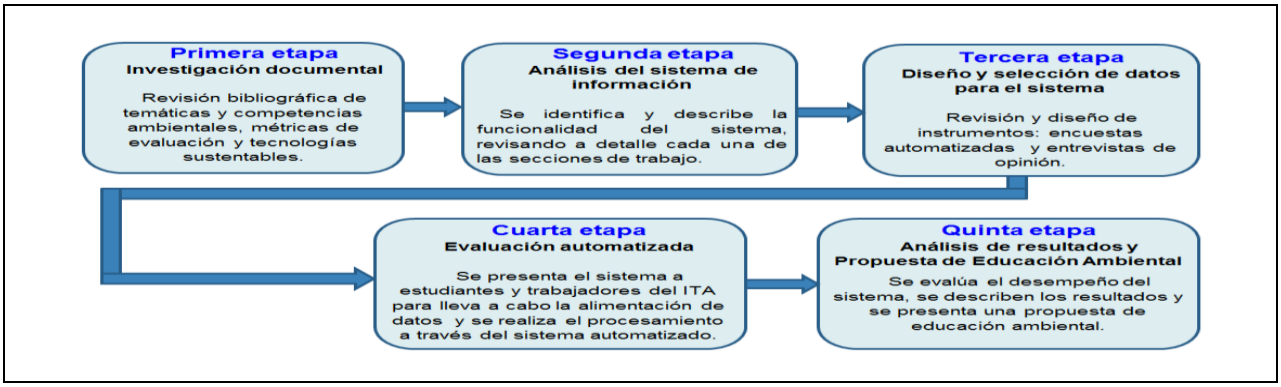


Figura 1. Etapas de la metodología empleada en de desarrollo del trabajo: "Sistema de información, evaluación y educación ambiental para el desarrollo sostenible en instituciones educativas".

En la primera fase de investigación documental, se revisaron referentes teóricos, relacionados con las temáticas ambientales, los currículos de estudio del TecNM, las competencias ambientales definidas en los planes e instrumentación didáctica de la asignatura: desarrollo sustentable, los modelos automatizados de las tecnologías sustentables, las métricas de evaluación para el procesamiento automatizado; así como aspectos ambientales de impacto (agua, aire, suelo y energía eléctrica) con sus respectivos indicadores para la evaluación en el sistema.

En la segunda fase de análisis del sistema de información, se examinaron las secciones de trabajo del sistema, con el objeto de revisar los aspectos, variables e indicadores de evaluación. Se revisó la funcionalidad en cada componente de la estructura del sistema para asegurar la integridad de la información y evitar los errores de captura de datos por los usuarios finales. Se revisaron con detalle los ítems, clasificándolos dentro de los aspectos de impacto ambiental evaluados (agua, aire, suelo y energía eléctrica), indicadores de actividades cotidianas que realizan habitualmente los estudiantes que cursaron la asignatura de desarrollo sustentable.

La tercera fase, diseño y selección de datos para el sistema, señaló que toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad. Siendo la primera, el grado en que su aplicación repetida al mismo individuo produce resultados iguales, al segundo refiriéndose al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir, y a la objetividad al grado en que éste es permeable a la influencia de los sesgos y tendencias del investigador que lo administran, califican e interpretan Castillo (2014). En la entrevista, los actores sociales son quienes proporcionan los datos relativos a sus conductas, opiniones, deseos, actitudes y expectativas; y nadie mejor que la misma persona involucrada proporciona la información que piensa y siente. Se diseñan entrevistas y encuestas.

En la cuarta fase, evaluación automatizada, se llevó a cabo el trabajo de campo; se tomó en consideración a los estudiantes de ISC que cursaron la asignatura: desarrollo sustentable y a los profesores que la imparten. El sistema de información que contempla dos áreas de trabajo: administrador y usuarios comunes, se presentó a los estudiantes, quienes realizaron la evaluación de forma electrónica, ingresando a la plataforma alojada en la web. Los estudiantes se registraron como usuarios con su número de control asignado por el ITA, para contestar el cuestionario de manera responsable, considerando las competencias ambientales que se tenían en ese momento.

La quinta y última fase de desarrollo, análisis de resultados y propuesta de educación ambiental, se evalúo el desempeño del sistema; para ello, se alimentó, se procesó y se presentó la información gráfica con los porcentajes respectivos de los ítems evaluados. Se analizaron y describieron los resultados que se generaron de forma automática, y se pudo identificar el conocimiento y el impacto de las competencias ambientales que poseían los estudiantes tras haber tomado el curso de desarrollo sustentable. Y se presentó también una propuesta de Educación Ambiental, la cual dictamina mediante un documento el resultado favorable o no favorable de las competencias ambientales para las instituciones educativas que pudieran llevarla a obtener una probable certificación en Gestión Ambiental.

La población y la muestra

La población considerada en el trabajo de investigación, contempló a estudiantes y trabajadores del Instituto Tecnológico de Acapulco, específicamente a los alumnos de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales que cursaron la asignatura: Desarrollo Sustentable, programa del currículo considerado en el plan de estudios de las licenciaturas del ITA. También se consideraron para el estudio a los profesores que imparten la asignatura: Desarrollo Sustentable de las otras especialidades del ITA; además de conocedores expertos ambientalistas.

Para llevar a cabo la selección de la muestra, se consideró el muestreo intencional o de conveniencia, contemplado en los métodos de muestreo no probabilístico, que consiste en la selección por métodos no aleatorios de una muestra cuyas características sean similares a las de la población objetivo. También puede ser que el investigador seleccione directa e indirectamente los individuos de la población. El caso más frecuente de este procedimiento es utilizar como muestra los individuos a los que se tiene fácil acceso (por ejemplo, los profesores de universidad emplean con mucha frecuencia a sus propios alumnos). En general, el método puede resultar de utilidad cuando se pretende realizar una exploración de un fenómeno en una población o cuando no existe un tamaño muestral definido (Arias-Gómez *et al.*, 2016). La muestra considerada, fue una matrícula de 160 alumnos quienes cursaron la materia de desarrollo sustentable, los cuales se clasificaron en 4 grupos de 40 alumnos por aula. Se trabajó con los 40 alumnos del Grupo 1, en el horario de 11:00 a 12:00 a.m., más 9 estudiantes de los tres grupos restantes. Se consideró a 49 de 160 estudiantes, que equivale a un 30.62% del total, quienes contestaron la encuesta. También se consideró a los profesores de ISC y de las otras carreras del ITA que imparten la asignatura; además de los conocedores ambientalistas. De la población total de informantes clave, y fundamentado en el muestreo intencional o de conveniencia, que determina la representatividad de la muestra para recolectar la información se consideró a un total de 70 personas, es decir el 36.64% del total de la población. Por tanto, la determinación del margen de error y tener resultados con precisión se encuentra por encima de lo estimado estadísticamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Población y muestra considerada en la investigación del trabajo.

Informantes clave	**Población**	**%**	**Muestra**	**Hombres**	**Mujeres**
CA	7	100	7	4	3
PDIADS-ISC	4	100	4	2	2
PD-OC	20	50	10	6	4
A	160	30.62	49	27	22
T-IC-ITA	***191***	***36.64***	***70***	***39***	***31***

CA=Conocedores Ambientalistas; PDIADS-ISC=Personal Docente que Imparte la Asignatura: Desarrollo Sustentable en ISC; PD-OC=Personal Docente de Otras Carreras (ARQ + IEM + IBQ+ IGE+ LA+ CP); A=Alumnos de ISC que cursaron la asignatura: Desarrollo Sustentable; T-IC=Total de informantes Clave del Instituto Tecnológico de Acapulco.

El estudio se considerando las variables: conocimiento, educación e impacto ambiental, para lo cual se analizaron los aspectos ambientales: agua, suelo, aire y energía eléctrica. Los indicadores contemplados para la evaluación de ambas variables fueron: el manejo responsable de los recursos, la práctica ambiental en las actividades cotidianas (actividades diarias que se realizan en los espacios en que se desarrollan los seres humanos), y el conocimiento de temáticas ambientales. Estos indicadores se contemplaron en los ítems de evaluación mediante la encuesta on-line (encuesta seccionada y clasificada para los cuatro aspectos ambientales). En el ingreso a la plataforma, los estudiantes registraron su número de control y su carrera. Se dio seguimiento puntual, señalando la responsabilidad para contestar de forma responsable.

El sistema de información presenta una interfaz agradable y fácil de manejar; ya que se apoya de formularios que facilitan a los usuarios la interpretación del manejo en cada sección. El administrador del sistema visualiza los resultados mediante imágenes gráficas, tablas o cuadros de valores, los ítems de la encuesta y el documento que demuestra el resultado global de la evaluación, en el que se presenta la valoración favorable o no favorable que define los posibles parámetros para la certificación del Sistema de Gestión Ambiental de la institución educativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el trabajo desarrollado mediante el sistema de información se demostraron resultados favorables, ya que se están logrando las competencias ambientales definidas en la asignatura de *desarrollo sustentable,* teniendo impactos positivos en las actividades cotidianas y habituales de los estudiantes. La incorporación de este sistema automatizado dirigido a las temáticas y evaluaciones de las competencias ambientales, y que da seguimiento a una asignatura que promueve la educación ambiental ha logrado aportar conocimientos y aprendizajes significativos, siendo estratégicos para incursionar en el desarrollo sustentable, ya que estas herramientas automatizadas están aprobando la difusión del conocimiento a través de las tecnologías de la información y comunicación, así como la adopción de valores para concientizar respecto al cuidado del medio, al momento que se adquieren las competencias que impactan positivamente en el desarrollo educativo, ambiental y social. El uso de TIC puede acelerar el camino hacia la sustentabilidad, si es vedad que hoy en día se le considera una utopía, también es cierto que debemos trabajar hacia ella, por el bien de todos (Cornejo-Díaz y Cornejo-López, 2018b).

La Figura 2 presenta los resultados del impacto de educación ambiental en donde se deduce que la competencia adquirida por los estudiantes es del 59.09%. Se puede apreciar que el porcentaje adquirido es mínimo; sin embargo, es un buen comienzo, ya que si se integra y se da seguimiento a estas temáticas de EA en los programas educativos, y que de acuerdo con lo que profundiza Miranda-Esteban (2019), el eje ambiental debe y tiene que ser integrado a los programas educativos para formar profesionales con las competencias requeridas y actuar con responsabilidad social y ambiental; se aportará a los conocimientos de EA en todas las instituciones educativas, y se podrá concientizar a la sociedad para que se puedan implementar acciones y estrategias que mejoren las buenas prácticas sobre el cuidado del medio ambiente.

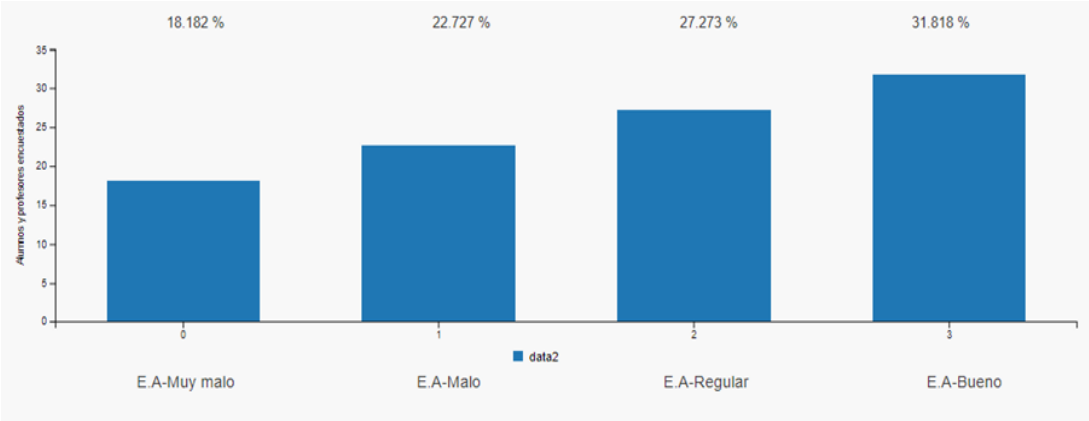


Figura 2. Representación gráfica de los resultados de la evaluación de las competencias ambientales a través del sistema de información de los estudiantes que cursaron la asignatura: Desarrollo Sustentable en la carrera de ISC del ITA.

Los resultados obtenidos, demostraron que los estudiantes que cursaron la asignatura de Desarrollo Sustentable en la Carrera de ISC del ITA, sí tienen conocimientos de EA, sí están adquiriendo las competencias ambientales; sin embargo, el impacto de EA es mínimo, sólo se logra un porcentaje entre el 27.733% y el 31.818% entre regular y bueno de impacto en EA.

En la Figura 3 se describen los indicadores de los aspectos de evaluación con los respectivos porcentajes generales de las variables: conocimiento, educación e impacto ambiental que se obtuvieron mediante el sistema de información. Las respuestas con porcentajes globales: muy malo, malo, regular y bueno (donde muy malo y malo señalan que los estudiantes no adquirieron las competencias y el impacto de EA es pésimo; y regular y bueno consideran que los estudiantes si están adquiriendo las competencias ambientales, así como la repercusión de impacto ambiental con acciones responsables y positivas); contemplan la escala de medición general de las variables conocimiento y educación (competencias ambientales) e impacto ambiental que fueron examinadas a partir de los test que fueron contestando por los estudiantes.

Figura 3. Representación de los datos e información general promedio de las encuestas realizadas a estudiantes y profesores para conocer las competencias ambientales e impacto ambiental a través del sistema de información, caso: ITA.

El estudio presenta una propuesta de Educación Ambiental para las instituciones educativas haciendo uso del sistema de información y se refleja un documento que se genera de manera automática mediante la herramienta, como alternativa de gestión ambiental que promueve el conocimiento, valores y relaciones ambientales entre los seres humanos y en todas las áreas de conocimiento para la atención multidisciplinaria. Esta alternativa de EA coincide con lo que plantean Calixto-Flores (2013), siendo el objeto de estudio las relaciones humanas con el medio ambiente; y Tobón (2013), incorporar temáticas relacionadas con el medio ambiente abordando un problema de manera transversal. En este sentido, se promueve el aprendizaje significativo mediante el sistema de información, se propone una valoración que se refleja en un documento que consiste en un dictamen que señala que la institución fue evaluada con relación a las competencias ambientales (conocimiento y educación) e impacto ambiental que adoptan los estudiantes que cursaron la asignatura de desarrollo sustentable. Abonando a la aplicación del modelo de pre-test de Sánchez-Acosta (2013), se contribuye con el mejoramiento a través de una herramienta de educación ambiental para la investigación, ya que una evaluación como es el caso del ITA para una certificación se consideran los aspectos de evaluación del Sistema de Gestión Ambiental, se vincula a las personas con la naturaleza para construir conocimiento científico y ambiental, y conseguir cambios en las conductas y actitudes ambientales. Por último, se presentan las acciones y recomendaciones que aportarán los conocimientos que impactarán en las prácticas de las actividades cotidianas. Además de la normatividad y lineamientos que proporcionar la información de temáticas del desarrollo sustentable (Figura 4).

a) Propuesta de EA para las instituciones educativas. Caso: ITA. Resultado favorable.

b) Acciones, recomendaciones e información normativa presentada en la Propuesta de EA.

Figura 4. Resultados y acciones generados a través del sistema de información que evalúa las competencias ambientales en instituciones educativas, caso: ITA.

Las estrategias y acciones que se presentan con la evaluación realizada, coinciden con la propuesta didáctica de educación ambiental que propone Farje-Escobedo (2013), que parte del diagnóstico de las actividades tales como: aprendizaje de la educación medioambiental, en el que se aplicó también un post-test a los estudiantes para alcanzar un nivel alto de cultura ambiental en el manejo de la basura y en la que se mejoró considerablemente la cultura ambiental de los estudiantes de educación básica regular. Por otro, lado la Organización de las Naciones Unidas en la que se promueve el desarrollo sostenible, realiza acciones de cooperación técnica y creación con capacidad a nivel internacional, regional y nacional; (ONU, 2015). Por consiguiente, un sistema de información automatizado y estratégico que da seguimiento a las competencias ambientales, facilita los procedimientos que gestionan la educación ambiental y el fomento de valores ambientales.

La opinión de los expertos, consideran que la evaluación y el desarrollo de propuestas con acciones y estrategias enfocadas al desarrollo sustentable, es un área de oportunidad que deben atender con urgencia las instituciones educativas para educar ambientalmente y contribuir con la conservación del planeta. Ya que a medida que el ser humano continúa con sus actividades de supervivencia, los recursos sean renovables o no renovables se agotan, León-Bolaños (2015); por tanto, con educación ambiental se amplían las posibilidades de generar conocimiento y concientizar a los individuos respecto a la participación que poseen en sus actividades cotidianas de su entorno. Al hablar de desarrollo, nos remitimos al análisis del impacto de las actividades humanas sobre los recursos naturales que, desde su concepto, implica el uso de los elementos naturales para el desarrollo de las poblaciones en un sistema capitalista (Reyes-Guillén *et al.*, 2018). En este sentido la evaluación del impacto de educación de las competencias ambientales adquiridas por los estudiantes del Instituto Tecnológico de Acapulco, se estaría asegurando la formación y repercusión de profesionales con un impacto positivo para la conservación del planeta.

CONCLUSIONES

La evaluación realizada mediante el sistema de información automatizado, refleja parte del conocimiento logrado por los estudiantes que cursaron la asignatura: *Desarrollo Sustentable*, en

relación con los tópicos del programa de estudio del currículo de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Acapulco, y tomando en consideración el manejo responsable de los recursos, la práctica ambiental en las actividades cotidianas y el conocimiento de temáticas ambientales relacionado con los aspectos de impacto ambiental: agua, aire, suelo y energía eléctrica. En este sentido, es mínima la apreciación de educación e impacto ambiental que se señala en relación con los indicadores considerados en la evaluación de las competencias ambientales derivado de las actividades habituales, es de tan solo el 41%. Por otro lado, la inclusión de la asignatura desarrollo sustentable en los currículos de estudios de los programas de las carreras en el ITA, tiene un impacto relevante en la educación ambiental y transversal que repercute en la formación de los estudiantes. Para la sociedad y el sector educativo, cualquier aporte para el aprendizaje es trascendental para el conocimiento.

Existen pocos sistemas automatizados dirigidos al cuidado del medio ambiente y muy mínimas herramientas automatizadas para la medición de competencias e impacto ambiental, y que den seguimiento a las asignaturas cursadas por los estudiantes. Contribuir con un proyecto que realice la evaluación y presente alternativas como la certificación ambiental impulsa el desarrollo de competencias y al mismo tiempo se generará conciencia responsable en los estudiantes de las instituciones educativas, quienes son las promotoras del conocimiento ambiental para la sociedad. Adicionalmente, una propuesta de educación ambiental, con temáticas emergentes y prioritarias por atender podrían promoverse e incluirse en los currículos de manera transversal en las asignaturas no solo de las instituciones de educación superior, sino de todos los niveles educativos.

LITERATURA CITADA

Alfie-C, M. 2016. Política ambiental mexicana. Montañas de papel, ríos de tinta y pocos cambios en cuarenta años. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Méx. 200: 209-222.

Arias-Gómez, J., M.A. Villasis-Keever y M.G. Miranda-Novales. 2016. El protocolo de investigación III; la población de estudio. Revista Alergia México raM. 63(2): 201-206.

Bedolla-Solano, J.J., R. Bedolla-Solano y R. Palacios-Ortega. 2015. Sistema de Gestión de Programas de Educación Ambiental, una aplicación para el desarrollo comunitario. Pasado, presente y futuro de las regiones en México y su estudio. AMECIDER, A.C., México: 1-24.

Cadena-Iñiguez, P., R. Rendón-Medel, J. Aguilar-Ávila, E. Salinas-Cruz, F.R. De la Cruz-Morales y D.M. Sangerman-Jarquín. 2017. Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(7): 1603-1617.

Calixto-Flores, R. 2013. Diálogos entre la pedagogía y la educación ambiental. Revista Educación y Desarrollo Social 7(1): 95-107.

Castillo, L. 2014. Validez y Confiabilidad. Vicerrectorado de investigación y posgrado. Instituto de Investigación y Posgrado. Programa de Maestría en Educación Ambiental. Diseño Cuantitativo de Investigación. Universidad Yacambú.

CEPAL. 2018. La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Por un desarrollo sostenible con igualdad. Objetivos, metas e indicadores mundiales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Cornejo-Díaz, J. y R. Cornejo-López. 2018. Las TIC como vehículo del desarrollo sustentable para fomentar la equidad e inclusión humana. XXIII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. ANFECA. Ciudad Universitaria, México.

Espino-Román, P., E. Olaguez-Torres e Y. A. Davizon-Castillo. 2015. Análisis de la Percepción del Medio Ambiente de los Estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica. Revista Formación Universitaria 8(4): 45-54.

Farje-Escobedo, J. D. 2013. Propuesta didáctica para desarrollar la cultura medio ambiental. Revista "Ciencia y Tecnología", Escuela de Posgrado-UNT 9(3): 131-147.

Huerta-Rosales, M., R. Penadillo-Lirio y M. Kaqui-Valenzuela. 2017. Construcción del currículo universitario con enfoque por competencias. Revista Iberoamericana de Educación, Madrid, España 74: 83-106.

León-Bolaños, N. V. 2015. Propuesta de instrumentos de política pública que promuevan la protección y cuidado ambiental en la gestión empresarial del Ecuador. (Consultado: 30/11/2019). Disponible en: http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10481.

López-Roldán, P. y S. Fachelli, S. 2015. Metodología de la investigación social cuantitativa. Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). España. (Consultado: 30/11/2019). Disponible en: http://ddd.uab.cat/record/129382.

Miranda-Esteban, A., J. L. Aparicio-López, I. Guzmán-Ibarra, C. Rodríguez-Alviso, J. Beltrán-Rosas y M.L. Sampedro-Rosas. 2019. Transversalización del eje medio ambiente en educación superior: Un estudio de caso. Revista Cultura, Educación y Sociedad, Universidad de la Costa 10(1): 9-24.

Norma Internacional ISO 14001: 2015. 2016. Sistema de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso. Certificaciones de la norma de sistema de gestión ambiental. Instituto Mexicano de Normalización, A.C. México, D.F. 2016. (Consultado: 14/03/2018). Disponible en: http://www.itspa.edu.mx/wp-content/uploads/2018/01/NMX-SAA-14001-IMNC-2015.pdf.

ONU. 2015. División de desarrollo sostenible. Departamento de asuntos económicos y sociales. (Consultado: 30/04/19).Disponible en: http://www.un.org/spanish/esa/desa/aboutus/dsd.html.

Reyes-Guillén, I., X.F. Poblete-Naredo y M.A. Villafuerte-Franco. 2018. Historia del concepto desarrollo sustentable y su construcción en la población actual. Espacio I+D Innovación más Desarrollo, 7(17) 64-77. doi: 10.31644/IMASD.17.2018.a05.

Reynosa-Navarro, E. 2015. La crisis ambiental global: Causas, consecuencias y soluciones prácticas. Múnich: GRIN Verlag. Universidad César Vallejo, Perú V293196: 1-21.

Sánchez-Acosta, J. 2013. Educación ambiental como herramienta para la conservación de las aves: evaluación del programa BirdSleuth International. Tesis de Licenciatura en Biología con énfasis en Interpretación Ambiental, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 92 p.

SEMARNAT. 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México, D.F.

TecNM, 2017. Sistema de Información Integral. Instituto Tecnológico de Acapulco. Prontuario: TecNM. México. (Consultado: 05/04/2019). Disponible en: http://it-acapulco.edu.mx/.

Tobón, S. 2013. Los proyectos formativos. Transversalidad y desarrollo de competencias para la sociedad del conocimiento. México, D.F.: Instituto CIFE.