
Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical, Año 1, Volumen 1, Núm. 2, julio-diciembre de 2021, es una publicación semestral editada y distribuida por la Universidad Autónoma Chapingo, a través de la Unidad Regional Universitaria Sursureste, con domicilio en Km 7 Carretera Teapa – Vicente Guerrero C.P. 86800 Teapa, Tabasco, México, Página electrónica: <https://chapingo-cori.mx/rchsat>, Correo electrónico: RGONZALEZG@chapingo.mx. Editor responsable: Dr. Roberto González Garduño.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No.: **En trámite**, ISSN: **En trámite**, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor

Responsable de la última actualización de este número, Coordinación de Revistas Institucionales de la Universidad Autónoma Chapingo, Oficina 113, edificio Dr. Efraím Hernández X. km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, fecha de la última modificación, 30 de diciembre 2021

Directorio de la UACH

Dr. José Solís Ramírez
Rector

Dr. Artemio Cruz León
Director General Académico

Dr. Arturo Hernández Montes
Director General de Investigación y Posgrado

M. I. Ma. Magdalena Sánchez Astello
Directora General de Difusión Cultural y Servicio

Q. F. B. Hilda Flores Brito
Directora General de Administración

Dr. Victor Manuel Mendoza Castillo
Director General de Patronato Universitario

Dr. Eugenio E. Santacruz de León
Coordinador de Revistas Institucionales

Dr. Roberto González Garduño
Editor Principal

Traductores

M.C. Sacnite Yeyetzi López Gonzaga
Lic. Alejandra Cortés Ponce
José Miguel Muñoz Pérez

Corrección de estilo:

Aurora González Calderón

Diseño editorial

M.D. Carlos de la Cruz Ramírez
Lic. Marieli Haide Martínez Pedraza
Mayte Ayala Ibarra

Fotografía de portada:

Crecimiento de moringa - Roberto González Garduño

Índice

REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL

AÑO 1, VOLUMEN 1, NÚM. 2, JULIO-DICIEMBRE DE 2021

1 Effect of storage on leaf bromatology and seed quality of *Moringa oleifera* Lam.

Efecto del almacenamiento en la bromatología de hoja y calidad de semillas de *Moringa oleifera* Lam.

Alexis Domínguez-Liévano; Saúl Espinosa-Zaragoza;

Rodrigo Romero Tirado; Arnoldo Wong-Villarreal;

Juan Francisco Aguirre-Medina; Sandra Isabel Ramírez González

9 Rice production potential technology (*Oryza sativa* L.) in the state of Tabasco, Mexico and its contribution to food sovereignty

Tecnología de potencial productivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el estado de Tabasco, México y su aportación a la soberanía alimentaria

Georgel Moctezuma López; Ramiro Pérez Miranda;

Antonio González Hernández; Eric Uriel Ramírez Sánchez

25 Potential areas to establish rubber plantations (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.) in Oaxaca, Mexico

Áreas potenciales para establecer plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.) en Oaxaca, México

Ramiro Pérez Miranda; Martín Enrique Romero Sánchez;

Antonio González Hernández; Efraín Velasco Bautista;

Adán Guillermo Ramírez García

41 Parasitological response of hair sheep to an experimental infection with gastrointestinal nematodes.

Respuesta parasitológica de ovinos de pelo a una infección experimental con nematodos gastrointestinales

Rubén Morteo-Gómez¹; Glaforo Torres-Hernández; Roberto González-Garduño;

Carlos Miguel Becerril-Pérez; Juan Manuel González-Camacho;

Pablo Díaz-Rivera; Jaime Gallegos-Sánchez; Javier Arece-García

57 Cachichín seed (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.): Source of nutrients and bioactive compounds

La semilla de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.): Fuente de nutrimentos y compuestos bioactivos

Alejandro Esli Hernández-Mora; Libia Iris Trejo-Téllez;

Aleida Selene Hernández-Cázares; Adriana Contreras-Oliva;

Fernando Carlos Gómez-Merino

EN

Effect of storage on leaf bromatology and seed quality of *Moringa oleifera* Lam.

ES

Efecto del almacenamiento en la bromatología de hoja y calidad de semillas de *Moringa oleifera* Lam.

Alexis Domínguez-Liévano¹; Saúl Espinosa-Zaragoza^{2*}; Rodrigo Romero Tirado²; Arnoldo Wong-Villarreal³; Juan Francisco Aguirre-Medina²; Sandra Isabel Ramírez González⁴

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México, C.P. 56230

²Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, Entronque Carretera Costera y Pueblo de Huehuetán, Huehuetán, Chiapas. México, C.P. 30660.

³Universidad Tecnológica de la Selva, División Agroalimentaria, Ocosingo, Chiapas, México.

⁴Universidad Autónoma de Chiapas. Centro Universidad Empresa, Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México. C.P. 29050.

*Corresponding author:

saulez1@gmail.com

Orcid: 0000-0001-7683-7382

Received: December 22, 2020 /

Accepted: June 19, 2021

DOI:

10.5154/r.chsat.2021.02.01

Abstract

Moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves are harvested and stored prior to marketing. There are doubts about the bromatological quality after storing the leaves. The aim of this research was to compare the bromatological properties of the leaves of this species stored in a period of time to verify if there are biochemical changes in the evaluated period. There were collected mature moringa leaves in successive samples in the orchard "Kio-Komukai" in Escuintla, Chiapas, Mexico. It was determined the content of humidity, protein, fat, crude fiber and ash in each sample for each one of the harvest dates. The results of the analysis of the Student *t*-test indicate that there is no difference in the nutritional quality ($P > 0.05$) of the leaves on the harvest dates with respect to the storage time. The values obtained from the leaf crops in the bromatological analysis are similar to those reported in previous works; fat (%): 9.36 ± 1.05 , crude fiber (%): 19.94 ± 4.2 , protein: 20.35 ± 2.26 , humidity (%): 7.22 ± 9.79 and ash (%): 10.14 ± 1.68 .

Keywords: Brassicales, Moringaceae, bromatological analysis, nutritional quality, leaf quality.

Resumen

Las hojas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) se cosechan, y almacenan previo a su comercialización. Hay dudas respecto a la calidad bromatológica después de almacenar las hojas. El objetivo de la presente investigación fue comparar las propiedades bromatológicas de las hojas de esta especie almacenadas en un periodo, para verificar si ocurren cambios bioquímicos durante el almacenamiento. Se colectaron hojas maduras de moringa en muestreos sucesivos en la huerta "Kio-Komukai" en Escuintla, Chiapas, México. Se determinó el contenido de humedad, proteína, grasa, fibra cruda y cenizas en cada muestra para cada una de las fechas de cosecha. Los resultados del análisis de la prueba *t* de Student, indican que no hubo diferencias en la calidad nutrimental ($P > 0.05$) de las hojas en las fechas de



Please cite this article as follows (APA 6): Domínguez-Liévano, A., Espinosa-Zaragoza, S., Romero Tirado, R., Wong-Villarreal, A., Aguirre-Medina, J.F., & Ramírez González, S. I. (2021). Effect of storage on leaf bromatology and seed quality of *Moringa oleifera* Lam. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 1(2), 1-8. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.chsat.2021.02.01>

cosecha respecto al tiempo de almacenamiento. Los valores obtenidos de las cosechas de hoja en el análisis bromatológico son similares a los reportados en trabajos previos; grasa (%): 9.36 ± 1.05 , fibra cruda (%): 19.94 ± 4.2 , proteína: 20.35 ± 2.26 , humedad (%): 7.22 ± 9.79 y cenizas (%): 10.14 ± 1.68 .

Palabras clave: Brassicales, Moringaceae, análisis bromatológico, calidad nutricional, calidad hoja.

Introduction

Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) belongs to the Moringaceae family, Brassicales order, and it is native to the southern foothills of Himalaya (García, 2003; Olson & Fahey, 2011). However, its harvest and its different forms of exploitation are expanding in tropical, subtropical and semi-arid regions around the world (Alfaro, 2008; Del Toro, 2011; Olson & Fahey, 2011). In addition, moringa is a plant that grows under conditions of water scarcity (Morton, 1991; Croess & Villalobos, 2008). In intensive harvesting, with irrigation and fertilization, the biomass yield exceeds $100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Foidl, N., Makkar, H. P. S. & Becker K., 2001). There is evidence that native populations in several regions of the world have exploited the leaves of this plant for food (Folkard & Sutherland, 1996; Fuglie, 2001), in addition to their use in flour and oil form in order to obtain a large quantity of valuable products. Folkard and Sutherland (1996) point out that the green pod, flowers and toasted seeds are nutritive and they are consumed in several parts of the world. The seed oil can be used for cooking, to produce soaps and some cosmetics and even as lamp fuel. The different parts of trees have been used for natural medicine. Fuglie (2001) adds that leaves are exceptionally rich in vitamins and different amino acids and they are recommended to treat malnutrition problems in children.

Moringa has been recognized in the scientific field as a plant with useful properties for environmental and drug products. Indisputably, this plant has a nutritional profile able to substitute the micronutrients requirements needed for a healthy diet by giving it the possibility of being a useful alternative to fight food insecurity (Anwar F., Ashraf, M., & Bhangar, M. I., 2005).

In recent years, the moringa tree in Mexico has become very popular. Particularly, the dry leaf is used to prepare infusions (teas), antisclerotic properties are attributed to it (Chumarka et al., 2008) and it works as antioxidant (Verma, A. R., Vijayakumar, M., Mathela, C. S., & Rao, C. V., 2009). In the same way, the key properties of the moringa are found in the leaves due to

Introducción

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.) pertenece a la familia Moringaceae, orden Brassicales, y es nativa de las estribaciones meridionales del Himalaya (García, 2003; Olson & Fahey, 2011). Sin embargo, en las regiones tropicales, subtropicales y semiáridas del mundo se está expandiendo su cultivo y sus diferentes formas de aprovechamiento (Alfaro, 2008; Del Toro, 2011; Olson & Fahey, 2011). Además, la moringa es una planta que crece en condiciones de escasez de agua (Morton, 1991; Croess & Villalobos, 2008). En cultivo intensivo, con irrigación y fertilización, el rendimiento en biomasa supera las $100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Foidl, N., Makkar, H. P. S. & Becker K., 2001). Existe evidencia que las poblaciones nativas en diversas regiones del mundo han aprovechado las hojas de esta planta para su alimentación (Folkard & Sutherland, 1996; Fuglie, 2001), además de su utilización en harina y aceite para la obtención de una gran cantidad de productos valiosos. Folkard y Sutherland (1996) indican que las vainas verdes, las flores y las semillas tostadas son nutritivas y se consumen en diversas partes del mundo. El aceite de la semilla puede utilizarse en la cocina, para la producción de jabones, algunos cosméticos e incluso combustible para lámparas. Las diferentes partes del árbol se han utilizado en medicina naturalista. Fuglie (2001) agrega que las hojas son excepcionalmente ricas en vitaminas y diferentes aminoácidos y se recomienda para tratar problemas de desnutrición en niños.

La moringa ha sido reconocida en el entorno científico como una planta con propiedades de utilidad para productos farmacológicos y ambientales. Indiscutiblemente esta planta cuenta con un perfil nutritivo que tiene la capacidad de suplir los requerimientos de micronutrientes necesarios en una dieta saludable, dando la posibilidad de ser una alternativa útil para combatir la inseguridad alimentaria (Anwar F., Ashraf, M., & Bhangar, M. I., 2005).

En los últimos años, el árbol de moringa en México se ha vuelto muy popular. Particularmente la hoja seca se utiliza para preparar infusiones (tés), atribuyéndole

the presence of macro and micronutrients. However, this plant is entirely consumed, for this, it constitutes a complete meal when exploiting fresh pods and fruits (Alfaro, 2008). In this context, it is important to assess the harvest season of moringa leaves in order to correlate the bromatological components content with the storage time. Leaves are a source of high protein and antioxidant value in daily diet, for this reason, it is essential to know if there is a chemical property loss in the leaf. The aim of this study is focused on moringa leaf quality in different cutting days, through a bromatological comparison and quality analysis of the seed.

Materials and methods

Localization

The fieldwork and the harvest job of moringa leaf was carried out from November 2017 to May 2018. Planting is established in the municipality of Escuintla, Chiapas, México at an altitude of 90 meters above sea level. Geographically, it is localized at 15°20' north latitude and 92° 40' west longitude. The agro-climatic conditions showed in the study site are an average annual temperature of 27 °C, rainfall of 3 638 mm annually, and average relative humidity between 75 to 80 % (INAFED, 2013). The climate varies according to the altitude, from humid-hot to humid-semi-warm; the vegetation is high jungle (CEIEG Chiapas, 2017). Geologically, the municipality has Paleozoic and Quaternary lands, the predominant soil types are: Acrisol and Cambisol, the main use is for livestock and jungle, the 45 % belongs to the extension to ejidal lands, 30 % national and 25 % private property (INAFED, 2013).

Sampling

Trees were randomly selected by taking into account their good appearance, pod production without damage, pests nor diseases. In each selected tree, leaves were harvested on different dates. Leaves were recollected in two-time series: the first one, every two months from November 2017 to May 2018, and the second series on four different dates in August 2018 (Table 1), early in the morning as it was used by local producers.

Leaves were storage for one year, subsequently, bromatological analyses and analyses of the data obtained were carried out, results were compared between sampling dates and series in order to identify possible changes. Dry leaves were storage in clear plastic bags of 98 L placed on the shelf. The material

propiedades antiescleróticas (Chumarka et al., 2008) y como antioxidante (Verma, A. R., Vijayakumar, M., Mathela, C. S., & Rao, C. V., 2009). De igual forma, en las hojas es donde se encuentran las principales propiedades de la moringa por la presencia de macro y micronutrientes. Sin embargo, esta planta es consumida en su totalidad, por lo que constituye un alimento completo al aprovecharse vainas frescas y frutos (Alfaro, 2008). En este contexto, es importante evaluar los tiempos de cosecha de las hojas de moringa, para poder correlacionar el contenido de los componentes bromatológicos con el tiempo de almacenamiento. Las hojas son una fuente de alto valor proteico y antioxidante en la alimentación diaria, es por ello que, es fundamental conocer si hay una pérdida de las propiedades químicas en la hoja. El objetivo del trabajo está enfocado en evaluar la calidad de la hoja de moringa en distintos días de corte, mediante una comparación bromatológica y análisis de calidad de semilla.

Materiales y métodos

Localización

El trabajo de campo y cosecha de hoja de moringa se llevó a cabo de noviembre 2017 a mayo de 2018. La plantación se encuentra establecida en el municipio de Escuintla, Chiapas, México a una altitud de 90 msnm. Geográficamente se localiza a 15° 19' latitud norte y 92° 00' longitud oeste. Las condiciones agroclimáticas que presenta el sitio de estudio son temperatura media anual 27 °C, precipitación pluvial de 3 638 mm anuales, y humedad relativa media entre 75 a 80 % (INAFED, 2013). El clima varía según la altitud, de cálido-húmedo a semicálido-húmedo; la vegetación es selva alta (CEIEG Chiapas, 2017). El municipio geológicamente cuenta con terrenos paleozoicos y cuaternarios, los tipos de suelo predominantes son: Acrisol y Cambisol, siendo el uso principal pecuario y selva, perteneciendo el 45 % de la extensión a terrenos ejidales, 30 % nacionales y 25 % propiedad privada (INAFED, 2013).

Muestreo

Los árboles se seleccionaron aleatoriamente, considerando que tuvieran buen porte, producción de vainas, sin daños, sin plagas ni enfermedades. En cada uno de los árboles seleccionados, se cosecharon hojas en diferentes fechas. Las hojas fueron colectadas en dos series de tiempo: la primera cada dos meses a partir del mes de noviembre de 2017 a mayo de 2018, y la segunda serie en cuatro fechas diferentes en el mes de agosto de 2018 (Cuadro 1), a primera hora de la mañana como acostumbra los productores locales.

Table 1. Harvest date of moringa leaves (*Moringa oleifera* Lam.).
Cuadro 1. Fechas de cosecha de hojas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.).

Treatment / Tratamiento	Sample number / Número de muestra	Harvest / Cosecha
Leaf crop every two months / Cosecha de hojas cada dos meses	1	November/01/2017 / 01/noviembre/2017
	2	January/01/2018 / 01/enero/2018
	3	March/01/2018 / 01/marzo/2018
	4	May/01/2018 / 01/mayo/2018
Leaf crop every week / Cosecha de hojas cada semana	5	August/01/2019 / 01/agosto/2019
	6	August /07/2019 / 07/agosto/2019
	7	August/14/2019 / 14/agosto/2019
	8	August/21/2019 / 21/agosto/2019

drying for its analysis was carried out in the VWR International™ drying oven with forced convection model 1390FM (VWR International, Llinars del Vallés, Spain) at a constant temperature of 70 °C during 72 h. After the drying, leaves were milled with a hammer mill for their analysis.

Bromatological analysis and seed quality

The methods used for the bromatological analysis were the following; Fat: Soxhlet method (ether extract); Crude fiber: Acid and Alkaline Digestion Method; Humidity: Gravimetric method; the VWR International™ drying oven with forced convection, model 1390FM, VWR International was used, temperature range of 0 – 200 °C; Ashes: Gravimetric method; a Barnstead International muffle, model FB1315M was used, temperature level 0 – 3000 °C; and Nitrogen (N): Microkjeldahl method; the total conversion factor from nitrogen to protein was of 6.25 (N x 6.25). All the methodologies described by the AOAC (2000).

In order to determine the seed quality, a homogeneous simple size was used according to the regulations of the International Seed Testing Association (ISTA, 2014). Tests were established in an experimental design completely random with four repetitions of seed lots. Each lot belonged to a date of each series. The seed lot of each selected tree was uniformly mixed in order to obtain a composite sample to determine

Las hojas se almacenaron durante un año, posteriormente se realizaron análisis bromatológicos y de los datos obtenidos, los resultados se compararon entre fechas de muestreo y entre series para identificar cambios posibles. Las hojas secas se almacenaron en bolsas de plástico transparentes de 98 L puestas en anaquel. El secado del material para su análisis se realizó en la estufa de secado de convección forzada marca VWR International™ modelo 1390FM (VWR International, Llinars del Vallés, España) a una temperatura constante de 70 °C durante 72 h. Después del secado, las hojas se molieron en un molino de martillos para su análisis.

Análisis bromatológico y calidad de la semilla

Los métodos utilizados en el análisis bromatológico fueron los siguientes; Grasa: Método Soxhlet (extracto etéreo); Fibra cruda: Método Digestión Ácida y Alcalina; Humedad: Método Gravimétrico; se utilizó una estufa de secado de convección forzada marca VWR International™, modelo 1390FM, VWR International, intervalo de temperatura de 0 – 200 °C; Cenizas: Método Gravimétrico; se utilizó una mufla Barnstead International, modelo FB1315M, nivel de temperatura 0 – 3000 °C; y Nitrógeno (N): Método Microkjeldahl; el factor de conversión de nitrógeno a proteína total fue de 6.25 (N x 6.25). Todas las metodologías descritas por la AOAC (2000).

the quality of the recollected germplasm. The purity was randomly determined with 100 seeds (ISTA, 2014). Subsequently, to determine the germination rate, 100 seeds were randomly prepared. A germination test on paper ('talco' test) was carried out and the following formula was used to obtain the germination rate (ISTA, 2014): $\text{germination \%} = (\text{Number of sprouted seeds} / \text{Number of seeds sown}) * 100$. In order to determine the humidity content of seeds, 100 seeds were randomly taken and weighted (initial weight), these had to undergo a drying gradual process in an oven with forced convection at 65 °C for 72 h, until getting a constant weight. In order to get the humidity content, the following formula was used (ISTA, 2014): $\% \text{ HC} = ((\text{Initial weight} - \text{final weight}) / \text{initial weight}) * 100$. Seeds were continuously moistened with water in a sprinkler without letting the wipes dry. Daily counts were carried out during 15 days beginning two days after being placed in the germination test on paper.

Statistical analysis

The average of four repetitions (n= 4) was carried out in all tests as an experimental unit. The statistical analysis results were obtained with the Student's t-test with a significance level of $P < 0.05$. The statistical package R for Windows v3.6.3 was used (R Core Team, 2020).

Results and discussion

The bromatological composition of moringa leaf is show in the Table 2.

There was no any difference in storage samples ($P > 0.05$). The fat content (ether extract) varied in a range of 8.95 to 10 %. The values found match with those reported by the Animal Nutrition Division of the INIA-CENIAP; 8.12 % (Araujo González, M. A., Araujo González, J. P., & Ramones Méndez, J. E., 2014) and outweigh those obtained by (Guzmán Maldonado, S. H., Zamarripa Colmenares, A., & Hernández Duran, L. G., 2015) and Garavito (2008) who point out a fat content of 7.4 ± 0.14 %.

The crude fiber ranges were between 17.80 and 22 %. The values obtained accord with what was reported by Garavito (2008) who pointed out 23.60 % and a low value compared with the value reported by Guzmán et al. (2015) who pointed out 30.6 ± 0.71 %. The highest result of the protein content of moringa leaves analyzed was 21.46 %, less than those reported by Dhakar, R. C., Maurya, S. D., Pooniya, B. K., Bairwa, N., and Sanwormal, M. G., (2011) 27.1 % and Guzmán et al. (2015); 22.3 ± 0.94 %.

The humidity content showed percentages between 2.23 and 10.29 %, less than those cited by Araujo et

Para determinar la calidad de semilla, se utilizó un tamaño de muestra homogéneo según las reglas de la Asociación Internacional de Prueba de Semillas (ISTA, 2014). Se establecieron los ensayos en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones de lotes de semillas. Cada lote correspondió a una fecha de cada serie. Se mezcló uniformemente el lote de semillas de cada uno de los árboles seleccionados con el fin de obtener una muestra compuesta para determinar la calidad del germoplasma colectado. Se determinó la pureza con 100 semillas al azar (ISTA, 2014). Posteriormente para determinar el porcentaje de germinación, se separaron aleatoriamente 100 semillas. Se realizó una prueba de germinación en papel (prueba del taco) y se utilizó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de germinación (ISTA, 2014): $\% \text{ de germinación} = (\text{Número de semillas germinadas} / \text{Número de semillas sembradas}) * 100$. Para determinar el contenido de humedad de las semillas, se tomaron aleatoriamente y se pesaron 100 semillas (peso inicial), las cuales se sometieron a un proceso gradual de secado en una estufa de convección forzada a una temperatura de 65 °C por 72 h, hasta obtener un peso constante. Para obtener el porcentaje de humedad se empleó la siguiente formula (ISTA, 2014): $\% \text{ CH} = ((\text{Peso inicial} - \text{peso final}) / \text{peso inicial}) * 100$. Las semillas fueron humedecidas con agua con un aspersor recurrentemente sin dejar que las toallitas se secan. Se realizaron conteos diarios durante 15 días comenzando dos días después de colocarse en la prueba de germinación en papel.

Análisis estadístico

En todas las pruebas se utilizó la media de cuatro repeticiones (n= 4) como unidad experimental. Los resultados del análisis estadístico se obtuvieron mediante la prueba de t de Student con un nivel de significancia de $P < 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico R para Windows v3.6.3 (R Core Team, 2020).

Resultados y discusión

La composición bromatológica de la hoja de moringa se muestra en el Cuadro 2.

No se encontraron diferencias entre las muestras almacenadas ($P > 0.05$). El contenido de grasa (extracto etéreo) varió en un intervalo de 8.95 a 10 %. Los valores encontrados coinciden con los reportados por el Laboratorio de Nutrición Animal del INIA-CENIAP; 8.12 % (Araujo González, M. A., Araujo González, J. P., & Ramones Méndez, J. E., 2014) y superan a los obtenidos por (Guzmán Maldonado, S. H., Zamarripa Colmenares, A., & Hernández Duran, L. G., 2015) y Garavito (2008) quienes indican un contenido de grasa de 7.4 ± 0.14 %.

Table 2. Bromatological composition of moringa leaf (*Moringa oleifera* Lam.) on different harvest dates. Cuadro 2. Composición bromatológica de la hoja de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en diferentes fechas de cosecha.

Harvest / Cosecha	Fat (%) / Grasa (%)	Constituent / Constituyente			
		Crude fiber (%) / Fibra Cruda (%)	Protein (%) / Proteína (%)	Humidity (%) / Humedad (%)	Ashes (%) / Cenizas (%)
Leaf crop every two months / Cosecha de hoja cada dos meses	9.36 ± 1.05	19.94 ± 4.2	20.35 ± 2.26	7.22 ± 9.79	10.14 ± 1.68
Leaf crop every week / Cosecha de hoja cada semana	9.47 ± 0.6	20.23 ± 3.2	20.78 ± 1.62	6.33 ± 7.96	9.78 ± 0.84
Value T/ p-Value / Valor T/ p-Valor	-0.39/0.70	-0.26/0.80	-0.69/0.51	0.16/0.88	0.89/0.41

al. (2014) who reported 13.63 %. In the ashes content analysis, values were between 9.35 and 10 %, exceeding those obtained by the Animal Nutrition Division of the INIA-CENIAP (Araujo et al., 2014).

Additionally, it was noted that the milling (Table 3) caused a decrease in the weight of moringa leaves, between 10 and 20 %, because the change of the humidity content of storage leaves until the packaging process for teas or capsules.

The seed quality is shown in the Table 4.

Seed purity. The result of the purity test was 72 % of viable seeds, while the 28 % were useless seeds, this dampened the final weight and the number of seeds. The humidity content (% HC) in seeds was 10.54 %. Of the values obtained from the total number of seeds counted and grown in the germination paper test, 68 % of germinated seeds were obtained during a period of 15 days. Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., and Reyes, F. (2010) report 96 % of germinated seeds with manual scarification 10 days after sowing, while seeds without scarification complete their germination 17 days later. In general, it has been reported that the germination rates of fresh moringa seeds are between 60 and 90 % (Sharma & Raina, 1982; Jahn Samia, A. A., Musnad Hassan, A., & Burgstaller, H., 1986).

Nowadays, moringa has increased its consumption demand due to its multiple uses, medicinal and feeding. Pérez et al. (2010), Olson & Fahey (2011), Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011), Araujo et al. (2014), to name a few, agree with the fact that moringa is an acceptable alternative and a possible aid to reduce malnutrition levels in the human population for its nutritional level, biomass yield and adaptive capacity, becoming it an extremely important element

La fibra cruda osciló entre 17.80 y 22 %. Los valores obtenidos coinciden con lo reportado por Garavito (2008) quien reportó 23.60 % y valor bajo respecto al valor reportado por con Guzmán et al. (2015) quienes reportan 30.6 ± 0.71 %. El resultado más alto del contenido de proteína de las hojas de moringa analizadas fue de 21.46 %, menor a los reportados por Dhakar, R. C., Maurya, S. D., Pooniya, B. K., Bairwa, N., y Sanwarmal, M. G., (2011) 27.1 % y Guzmán et al. (2015); 22.3 ± 0.94 %.

El contenido de humedad presentó porcentajes entre 2.23 y 10.29 %, menores a los citados por Araujo et al. (2014) quienes reportaron 13.63 %. En el análisis de contenido de ceniza, los valores fueron de entre 9.35 y 10 %, siendo superiores a los obtenidos por el Laboratorio de Nutrición Animal del INIA-CENIAP (Araujo et al., 2014).

Adicionalmente se observó que la molienda (Cuadro 3) originó una merma en el peso de las hojas de moringa, entre 10 y 20 %, debido al cambio del contenido de humedad de las hojas del almacenamiento hasta el proceso de envase para los tés o cápsulas.

La calidad de la semilla se muestra en el Cuadro 4.

Pureza de semilla. El resultado de la prueba de pureza fue del 72 % de semillas viables, mientras que el 28 % fueron semillas vanas, mermando el peso final y número de semillas. El contenido de humedad (% CH) en las semillas fue de 10.54 %. De los valores obtenidos del total de semillas contabilizadas y puestas a germinar en la prueba de papel, se obtuvieron 68 % de semillas germinadas en un periodo de 15 días. Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., y Reyes, F. (2010) reportan 96 % de germinación en semillas con escarificación manual a los 10 días post-siembra, mientras que las semillas sin escarificación completaron su germina-

Table 3. Humidity content of moringa leaves (*Moringa oleifera* Lam.) and milling yield.**Cuadro 3. Contenido de humedad de hojas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) y rendimiento en molienda.**

Sample / Muestra	Leaf crop / Cosecha de hoja	Leaf drying / Secado de hoja	Initial weight (wet leaf) (g) / Peso inicial (hoja húmeda) (g)	Final weight (dry leaf) (g) / Peso final (hoja seca) (g)	Milled leaf (g) / Molido de hoja (g)
M1	01/11/2018	06/11/2018	2 108.7	1 891.7	1 768.6
M2	01/05/2019	04/08/2019	1 613.6	1 509.1	1 450.9
M3	21/08/2019	25/08/2019	2 345.0	2 060.9	1 964.6

Table 4. Average obtained for four samples of moringa seeds (*Moringa oleifera* Lam.).**Cuadro 4. Promedio obtenido de cuatro muestras de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.).**

Initial weight of 100 seeds (g) / Peso inicial de 100 semillas (g)	Number of useless seeds / Número de semillas vanas	Number of viable seeds / Número de semillas viables	Final weight of the pure seed (g) / Peso final de semilla pura (g)
23.7	28.33	71.66	18.96

to establish sustainable communities, in both, rural areas and cities. Therefore, the nutritional derivatives of the leaf are valuable for human nutrition, for this, to preserve and improve the quality of their nutritional properties is crucial to improve the moringa marketing, mainly in communities with economic constraints.

Conclusions

The moringa leaf maintains its quality and nutritional properties in different cutting times and after the one-year storage. The nutritional stability of moringa leaf is an important indicator for its food use. The seed quality is useful as direct consumption material after the separation of useless seeds.

Acknowledgment

To Kioshiro Komukai for the facilities provided with regard to the vegetal material harvest in the orchard and to the chemist Salvador for supporting the conduct of the bromatological analysis.

End of English version

References / Referencias

Alfaro, N. C. (2008). Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-

ción a los 17 días. En general, se ha reportado que las tasas de germinación en semillas de moringa recién colectadas o frescas están entre un 60 y 90 % (Sharma & Raina, 1982; Jahn Samia, A. A., Musnad Hassan, A., & Burgstaller, H., 1986).

En la actualidad la moringa ha incrementado su demanda de consumo por sus múltiples usos, medicinales y alimentación. Pérez et al. (2010), Olson & Fahey (2011), Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011), Araujo et al. (2014), por mencionar algunos, coinciden en que moringa es una alternativa aceptable y una posible contribuyente para reducir los niveles de desnutrición en la población humana por su valor nutricional, su rendimiento de biomasa y su capacidad de adaptación, volviéndolo un elemento sumamente importante para el establecimiento de comunidades sostenibles, tanto en áreas rurales como en ciudades. Por lo tanto, los derivados nutricionales de la hoja son valiosos para la alimentación humana, por lo que, preservar y mejorar la calidad de sus propiedades nutritivas es de mucha importancia para conseguir mejorar la comercialización de moringa, especialmente en comunidades con limitaciones económicas.

Conclusiones

La hoja de moringa mantiene su calidad y propiedades nutritivas en diferentes tiempos de corte y después del almacenamiento de un año. La estabilidad nutricional de la hoja de moringa es un indicador importante para su uso alimenticio. La calidad de la semilla es útil

- nutricional de Guatemala. *INCAP Guatemala, CONCYT, SENACYT, FONACYT. No. 26-2006*, 1-135.
- Anwar F., Ashraf, M., & Bhanger, M. I. (2005). Interprovenance variation in the composition of *Moringa oleifera* oilseeds from Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82(1):45-51.
- AOAC (The Association of Official Analytical Chemists). (2000). Official methods, Assoc. Off. Anal. Chem. Int. (AOAC), Arlington, VA, U.S.A.
- Araujo González, M. A., Araujo González, J. P., & Ramones Méndez, J. E. (2014). La moringa: bondades y usos. *INIA Divulga*. 46 – 50.
- CEIEG Chiapas. (2017). "Escuintla – Gobierno del Estado de Chiapas" en <http://www.chiapas.gob.mx/gobierno-municipales/escuintla>
- Chumarika, P. P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N. P.,..., Pongrapeeporn K. S. (2008). The *in vitro* and *ex vivo* antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam. Leaves. *Journal Ethnopharmacol* 116:439-446.
- Croess, R., & Villalobos, N. (2008). Caracterización en cuanto a edad y altura de corte del moringo (*Moringa oleifera*) como uso potencial en la alimentación animal. Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo. Trabajo especial de grado para optar al Título de Técnico Superior Universitario en Ciencias Agropecuarias. Mención Agropecuaria. Maracaibo. [En línea]. http://www.moringa.es/pageID_7271377.html
- Del Toro, M. J. (2011). Valoración de las propiedades nutricionales de *Moringa oleifera* en el departamento de Bolívar. *Rev. Cienc.* 1:23-30.
- Dhakar, R. C., Maurya, S. D., Pooniya, B. K., Bairwa, N., & Sanwermal, M. G. (2011). Moringa: the herbal gold to combat malnutrition. *Chron. Young Scient* 2(3):119-125.
- Foidl, N., Makkar, H. P. S., & Becker K. (2001). The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: The miracle tree: The multiple attributes of Moringa in CTA Publication. Ed. J. Lowell Fuglie. Wageningen, The Netherlands. P. 45.
- Folkard, G., & Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. Traducido por Ariadne Jiménez U.C.R., Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Today* 8(3):5-8.
- Fuglie, L. J. (2001). Combating malnutrition with Moringa. In: The miracle tree: the multiple attributes of Moringa in CTA Publication. Wageningen, The Netherlands. Ed. L.J. Fuglie. 1-117.
- Garavito, U. (2008). *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel en http://www.engormix.com/moringa_oleifera_alimento_ecologico_s_articulos_1891_AGR.htm
- García Roa, M. (2003). Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizados en sistemas silvopastoriles. *INAFOR*, 1-37. <http://www.inafor.gob.ni/index.php/publicaciones>.
- Guzmán Maldonado, S. H., Zamarripa Colmenares, A., & Hernández Duran, L. G. (2015). Calidad nutrimental y como material de consumo directo previa separación de semillas vanas.

Agradecimientos

Por las facilidades brindadas por el Lic. Kioshiro Kikumai en la cosecha del material vegetal en la huerta y al Quím. Salvador por su apoyo en la realización del análisis bromatológico.

Fin de la versión en español

- nutracéutica de hoja de moringa proveniente de árboles de diferente altura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(2):317-330.
- INAFED. (2013). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México – Estado de Chiapas – Escuintla. en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07032a.html>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2014). International Rules for Seed Testing 2014. Bassersdorf, Suiza: ISTA, 1-272.
- Jahn Samia, A. A., Musnad Hassan, A., & Burgstaller, H. (1986). The tree that purifies water: cultivating multipurpose Moringaceae in the Sudan. *Unasylya* 38(2):23-28.
- Morton, J. F. (1991). The horseradish tree, *Moringa pterigosperma* (Moringaceae) A boon to arid lands? *Economic Botany*, 45(3):318.
- Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011). Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *Afr. J. Biotechnol.* 10(60):12925-12933.
- Olson, M. E., & Fahey, J. W. (2011). *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Rev. Mex. Biod.* 82:1071-1082.
- Olson, M., & Fahey, J. (2011). *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(4):1071-1082.
- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., & Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes* 33(4):1-9.
- R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Sharma, G. K., & Raina V. (1982). Propagation techniques of *Moringa oleifera* Lam. Khosla, P.K., ed. Improvement of forest biomass: Proceedings of a Symposium, Solan. *India Indian Society of Tree Scientists*, 175-181.
- Verma, A. R., Vijayakumar, M., Mathela, C. S., & Rao, C. V. (2009). *In vitro* and *in vivo* antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food Chem. Toxicol* 47:2196-2201.

EN

Rice production potential technology (*Oryza sativa* L.) in the state of Tabasco, Mexico and its contribution to food sovereignty.

ES

Tecnología de potencial productivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el estado de Tabasco, México y su aportación a la soberanía alimentaria.

Georgel Moctezuma López^{1*}; Ramiro Pérez Miranda¹; Antonio González Hernández¹; Eric Uriel Ramírez Sánchez²

¹INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Programas de Socioeconomía y Geomática. Av. Progreso núm. 5 C. P. 04110, Ciudad de México, CDMX

²Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Trabajo Social de la UNAM. Ave. Universidad 3000, C. U. Coyoacán, 04350, Ciudad de México, CDMX

*Corresponding author:
moctezuma.georgel@inifap.gob.mx
Orcid: 0000 0002 5605 7263

Received: July 13, 2021 /
Accepted: September 14, 2021

DOI:
10.5154/r.rchsat.2021.02.02

Abstract

INIFAP's institutional mandate is to generate agricultural, livestock and forestry technologies to increase productivity through the productive potential (PP) technique. Rice was chosen because it is an important crop in the Mexican diet, there is also a deficit in the production of this grain, which is remedied with imports that represent an outflow of foreign exchange for Mexico and Tabasco for having a strategic geographical location. The Rural Development Districts (RDD) of interest for rice cultivation are: Cárdenas, Villahermosa and Emiliano Zapata. Two types of productive potential were considered: medium and high. The objective of the work was to determine the productive potential for rice cultivation in thousands of hectares to contribute to the food sovereignty of rice in the basic basket of the country's consumers, as well as to contribute to a less deficit trade balance. The method for determining the productive potential was based on the detection of three categories and nine variables: i) climate (maximum, average and minimum temperatures and rainfall); ii) soil (depth, texture and edaphology) and iii) topography (altitude and slope). The amount of 257.9 thousand hectares that could be planted was identified with medium and high productive potential. The main DDR with high productive potential was Cárdenas with 69.7 %, which means 74.5 thousand hectares with rice. Finally, the detections of these agricultural areas can be included in government programs to support rice producers and thus increase their income levels to contribute to greater social welfare.

Keywords: Trade balance, welfare, deficit, average annual growth rate, trend.

Resumen

El mandato institucional del INIFAP (2018), es generar tecnologías agropecuarias y forestales para incrementar la productividad mediante la técnica de potencial productivo (PP).



Please cite this article as follows (APA 6): Moctezuma López, G., Pérez Miranda, R., González Hernández, A., & Ramírez Sánchez, E. U. (2021). Rice production potential technology (*Oryza sativa* L.) in the state of Tabasco, Mexico and its contribution to food sovereignty. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 1(2), 9-24. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsat.2021.02.02>

Se eligió al arroz por ser un cultivo importante en la dieta mexicana, además, existe un déficit en la producción de esta gramínea, el cual se subsana con importaciones que representan salida de divisas para México. Se escogió Tabasco por tener una ubicación geográfica estratégica. Los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) de interés para el cultivo de arroz son: Cárdenas, Villahermosa y Emiliano Zapata (se tomó como ejemplo Cárdenas). Se consideraron dos tipos de potencial productivo: medio y alto. El objetivo del trabajo fue determinar el potencial productivo medio y alto para el cultivo del arroz cuantificado en miles de hectáreas para contribuir a la soberanía alimentaria del arroz en la canasta básica de los consumidores del país, así como contribuir a una balanza comercial menos deficitaria. El método para la determinación del potencial productivo se basó en la detección de tres categorías y nueve variables: i) clima (temperaturas máxima, media y mínima, y precipitación pluvial); ii) suelo (profundidad, textura y edafología) y iii) topografía (altitud y pendiente). Se identificaron con potencial productivo medio y alto, la cantidad de 257.9 miles de hectáreas susceptibles de ser sembradas. El principal DDR con potencial productivo alto fue Cárdenas con 69.7 % de la superficie que significan 74.5 miles de hectáreas de arroz. Finalmente, las detecciones de estas superficies agrícolas pueden ser incluidas dentro de los programas gubernamentales de apoyo a los productores arroceros y así incrementar sus niveles de ingreso para contribuir a un mayor bienestar social.

Palabras clave: Balanza comercial, bienestar, déficit, tasa media de crecimiento anual, tendencia.

Introduction

According to Rosset (2004): *“The food sovereignty is the right of each people to define its own agricultural policies and, in terms of food, to protect and regulate the national agricultural production and the domestic market in order to reach sustainable development goals, to decide how much they want to be self-sufficient, to prevent their markets from being flooded by surplus products from other countries that dump them onto the international market through the “dumping” practice...The food sovereignty does not withhold the international market, rather, it depends on the option to formulate those commercial practices and policies that can be more appropriate for the rights of people in order to have methods and safe, nutritional and ecologically sustainable food products”*. On the other side, Heinisch (2013) points out that, the concept of food sovereignty introduced the Via Campesina in the Anti-hunger submit of the FAO in 1996, and he says that it is a complement for that of food security, term that appeared in the seventies under quantitative and qualitative aspects.

Based on the Rural Development Districts (RDD) Law (DOF, 1988), these are the economic and social development units confined to a territorial space determined to: articulate and provide regional consistency to the rural development policies and develop the operational programs of the Secretariat and Coordination with the agencies and entities of the Federal Public Administration; for municipal and state governments and, for

Introducción

De acuerdo a Rosset (2004): *“La soberanía alimentaria es el derecho de cada pueblo a definir sus propias políticas agro-pecuarias y en materia de alimentación, a proteger y reglamentar la producción agropecuaria nacional y el mercado doméstico a fin de alcanzar metas de desarrollo sustentable, a decidir en qué medida quieren ser autosuficientes, a impedir que sus mercados se vean inundados por productos excedentarios de otros países que los vuelcan al mercado internacional mediante la práctica del “dumping”... La soberanía alimentaria no niega el comercio internacional, más bien depende de la opción de formular aquellas políticas y prácticas comerciales que mejor sirvan a los derechos de la población para disponer de métodos y productos alimentarios inocuos, nutritivos y ecológicamente sustentable”*. Por otra parte, Heinisch (2013) señala que, el concepto de soberanía alimentaria lo introdujo la Vía Campesina en la Cumbre contra el Hambre de la FAO en 1996, y menciona que es complementario al de seguridad alimentaria, término que apareció en la década de los años 70's bajo aspectos cuantitativos y cualitativos.

Con base en la Ley de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) (DOF, 1988), estas son las unidades de desarrollo económico y social circunscritas a un espacio territorial determinado para: articular y dar coherencia regional a las políticas de desarrollo rural y realizar los programas operativos de la Secretaría y la Coordinación con las dependencias y entidades de

the agreement with producer organizations and social and private sectors; as well as to make possible the convergence of actions, services and resources aimed at promoting the agricultural, forestry, agro-industrial, aquaculture production and in general, the comprehensive development of rural people.

Rice is important for the nutrition of Mexican people and it constitutes part of their daily diet along with maize, bean and chili, and is part of the basic basket for determining prices and quantifying inflation. Its scientific name is *Oriza sativa* L. and belongs to the Poaceae family, it is an edible grain, according to Díaz (2016) and Franquet and Borrás (2004), its origin is considered uncertain because researchers still do not agree and mention India, China, Formosa, Philippines and Java, however, in the province of Zheijian, China, traces of rice were found, which with the carbon 14 dating it dates back to 6000 years B.C. According to the SIAP (2020), Mexico is in the 55th place in the global context of rice production because 41 thousand hectares are sown in the country, with a production of 245 thousand tons. In terms of trade balance, Mexico has a deficit of 323.3 million American dollars, as a product of importing 332 million dollars and it only exports 8.7 million dollars, its main supplier is the United States that represents 86.5 % of the imported rice.

According to the INEGI (2020), Mexico has a total population of 126 014 024 inhabitants distributed in 32 states, the Estado de México, Mexico City, Jalisco and Veracruz stand out, these concentrate slightly more than one-third (33.8 %) of its consumers, this is 42 613 092 of its inhabitants, and the possibility to feed them is a fact that means a challenge to the agricultural sub-sector.

In Mexico, rice is grown within an approximate area of 50 thousand hectares, as the production evolution is shown from 2003 to 2020 (Table 1).

la Administración Pública Federal, así como de gobiernos estatales y municipales y, para la concertación con las organizaciones de productores y los sectores social y privados; y hacer converger las acciones, servicios y recursos destinados a fomentar la producción agropecuaria, forestal, de la agroindustria, la acuicultura y en general el desarrollo integral de los habitantes del campo.

El arroz es fundamental para la alimentación del pueblo mexicano y es parte de su dieta diaria junto con el maíz, frijol y chile, y forma parte de la canasta básica para determinar precios y cuantificar la inflación. Su nombre científico es *Oriza sativa* L. y pertenece a la familia de las Poaceae y es un cereal comestible, su origen de acuerdo con Díaz (2016) y Franquet y Borrás (2004), se considera incierto, ya que los investigadores aún no se ponen de acuerdo y citan a la India, China, Formosa, Filipinas y Java, sin embargo, en la provincia de Zheijian, China, encontraron restos de arroz que con la prueba de carbono 14 se remonta a 6000 años A.C. De acuerdo con el SIAP (2020) señala que México ocupa el lugar número 55 en el contexto mundial de producción de arroz, ya que se siembran 41 mil hectáreas en el país, con una producción de 245 mil toneladas. En relación con la balanza comercial, México tiene un déficit de 323.3 millones de dólares americanos, producto de importar 332 millones de dólares y solamente exporta 8.7 millones de dólares y su principal abastecedor son los Estados Unidos de América que representa el 86.5 % del arroz importado.

De acuerdo con el INEGI (2020), México tiene una población total de 126 014 024 habitantes distribuidos en 32 estados, entre los que sobresalen en orden de importancia el Estado de México, la Ciudad de México, Jalisco y Veracruz, los cuales concentran poco más de la tercera parte (33.8 %) de sus consumidores, que significan 42 613 092 de sus pobladores, lo cual es todo un reto para el subsector agrícola, el poder alimentarlos.

Table 1. Sown area (hectares) with rice in the municipality of Cárdenas, in the state of Tabasco and at national level during the period 2003 – 2020.

Cuadro 1. Superficie sembrada (hectáreas) de arroz en el municipio de Cárdenas, en el estado de Tabasco y a nivel nacional durante el periodo 2003 – 2020.

Year / Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Cárdenas	3 938.0	4 164.5	4 129.5	4 277.0	4 442.0	4 243.0	5 316.5	449.0	826.0
Tabasco	11 521.0	12 469.5	12 725.5	14 774.5	17 488.0	8 919.0	10 908.5	5 846.0	4 343.0
National	63 929.2	67 075.6	64 610.5	73 824.6	73 535.7	51 654.2	60 771.9	50 204.0	36 811.4

Year / Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cárdenas	357.0	1 624.0	1 143.5	1 119.0	93.0	0.0	346.0	90.0	145.0
Tabasco	1 993.0	3 551.0	3 041.0	3 518.0	1 636.5	1 535.0	1 480.0	1 154.0	1 260.0
National	32 710.3	34 018.9	41 078.9	42 310.6	41 455.3	41 935.5	45 150.4	41 128.4	49 058.0

Source: SIAP. SIACON. SADER. Database 2003 – 2020.

Fuente: SIAP. SIACON. SADER. Base de datos 2003 – 2020.

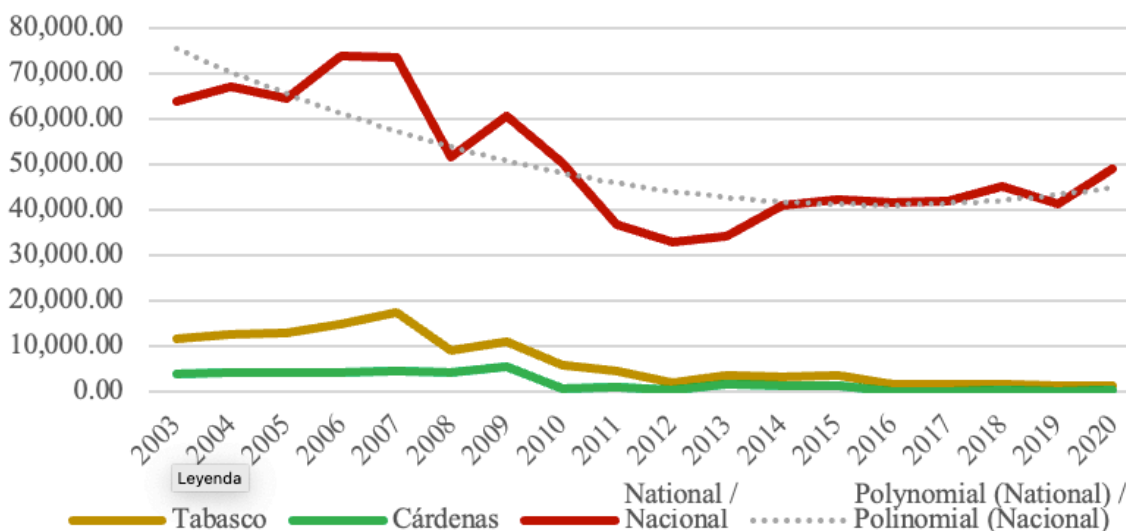


Figure 1. Sown area (ha) with rice in Mexico, in the state of Tabasco and Cárdenas during the period 2003 – 2020 and trend line.

Source: Own elaboration with data from the SIAP. SIACON. SADER, database 2003 – 2020.

Figura 1. Superficie sembrada de arroz (ha) en México, en el estado de Tabasco y Cárdenas durante el periodo 2003 – 2020 y línea de tendencia.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP. SIACON. SADER, base de datos 2003 – 2020.

Cárdenas was selected at municipal level because shows the highest and, medium productive potential for rice and at state level, it is Tabasco because is the studied state and it was used to know the contribution and impact of this crop in the state, and at national level, to quantify the reference and magnitude of the state participation in the contribution to the food sovereignty of rice. A clear degradation on the surface aimed at sowing rice was observed at those three geographical levels because at national level, it was reduced during the 18-year period (2003-2020) by 14.9 thousand hectares that meant a loss of 23.3 % in those years, the evolution of this situation is shown in the Figure 1.

En México, se cultiva arroz en una superficie cercana a las 50 mil hectáreas, tal como se muestra la evolución de la producción desde 2003 a 2020 (Cuadro 1).

A nivel municipal se seleccionó Cárdenas por ser el que presenta el mayor y, medio potencial productivo para el arroz, y a nivel estatal, Tabasco por ser la entidad motivo de estudio y para conocer la contribución e impacto de este cultivo en la entidad y nacional, para cuantificar la referencia y magnitud de la participación estatal en la contribución a la soberanía alimentaria del arroz. Se observó a los tres niveles geográficos un franco deterioro en la superficie que se destina a la siembra de arroz, ya que, a nivel nacional se redujo

A trend with a negative slope is shown in the Figure 1, and the curve that best matches at a country level is one of a polynomial-type¹ $y = 211.296x^2 - 5821x + 81174$, the curve shows nine increases in the sown area (years 2004, 2006, 2009, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 and 2020), these were not enough to stop the strong decrease throughout the period. The decrease in the sown area with rice, when applying the statistical function of the average annual growth rate (AAGR), showed a negative-type rate with -1.46 % at national level, -11.57 % for the state and -16.76 % in the municipality during the analysis period.

Of the areas recorded, the rice production (in tons) reached the amounts shown in the Table 2.

The situation presented between the sown area with rice and the production of this basic food, is very similar, because, with 14.9 thousand hectares that were not longer produced, the drop in the rice tons in 2003 compared with 2020, did not mean a reduction in the amount of tons of rice because that drop was stopped, and an increase of 22.1 thousand tons was even achieved, which meant an increase of 8.1 %, this was not observed at state and municipal level Figure 2.

en el periodo de los 18 años (2003-2020) en 14.9 miles de hectáreas que significaron una pérdida del 23.3 % durante el periodo, la evolución de esta situación se puede apreciar en la Figura 1.

En la Figura 1 se muestra una tendencia con pendiente negativa y la curva que más se ajusta a nivel país es una de tipo polinómica¹ $y = 211.296x^2 - 5821x + 81174$, la curva presenta nueve incrementos en la superficie sembrada (años de 2004, 2006, 2009, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 y 2020), mismos que no fueron suficientes para detener la fuerte caída a lo largo del periodo. El decremento en la superficie sembrada de arroz, al aplicar la función estadística de la tasa media de crecimiento anual (tmca) arrojó en el periodo de análisis, una tasa de tipo negativa con -1.46 % a nivel nacional, de -11.57 % para el estado y -16.76 % en el municipio.

De las superficies registradas, la producción (en toneladas) de arroz alcanzó las cifras que se muestran en el Cuadro 2.

La situación que se presenta entre la superficie sembrada de arroz y la producción de este alimento básico, es muy similar, ya que, con las 14.9 miles de hectáreas

Table 2. Rice production (tons) in the municipality of Cárdenas, in the state of Tabasco and at national level during the period 2003 – 2020.

Cuadro 2. Producción de arroz (toneladas) en el municipio de Cárdenas, en el estado de Tabasco y a nivel nacional durante el periodo 2003 – 2020.

Year / Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Cárdenas	10 699.0	8 844.0	11 104.0	10 169.0	7 188.0	6 726.4	6 374.0	697.0	1 050.0
Tabasco	31 375.0	26 305.0	38 941.0	49 683.0	51 108.4	21 038.4	18 043.0	9 900.0	8 093.0
National	273 266.2	278 540.0	291 149.0	337 240.6	294 697.2	224 370.7	263 027.5	21,676.5	173 460.8
Year / Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cárdenas	80.0	3 260.0	2 693.0	153.0	308.1	0.0	1 214.0	324.0	n/d
Tabasco	6 276.0	11 309.0	12 575.2	12 833.7	11 548.8	11 507.9	9 088.0	7 944.2	7 421.4
National	178 787.2	179 775.8	232 158.6	236 017.9	254 043.3	265 567.3	283 763.4	245 217.4	29,337.8

Source: SIAP. SIACON. SADER. Base de datos 2003 – 2020.

Fuente: SIAP. SIACON. SADER. Base de datos 2003 – 2020.

¹ It is a quadratic equation that formulates the equality of two expressions, where, at least one of them is a polynomial and the finite sums of multiplications of unknown values (variables) and fixed numbers (coefficient) and the variables have exponents (in this quadratic function), (D'Alessio T.V. J., 2021)

¹ Se trata de una ecuación cuadrática que planteó la igualdad de dos expresiones en donde por lo menos uno es un polinomio y las sumas finitas de multiplicaciones entre los valores desconocidos (variables) y números fijos (coeficientes) y las variables tienen exponentes (en este caso cuadrático), (D'Alessio T.V. J., 2021)

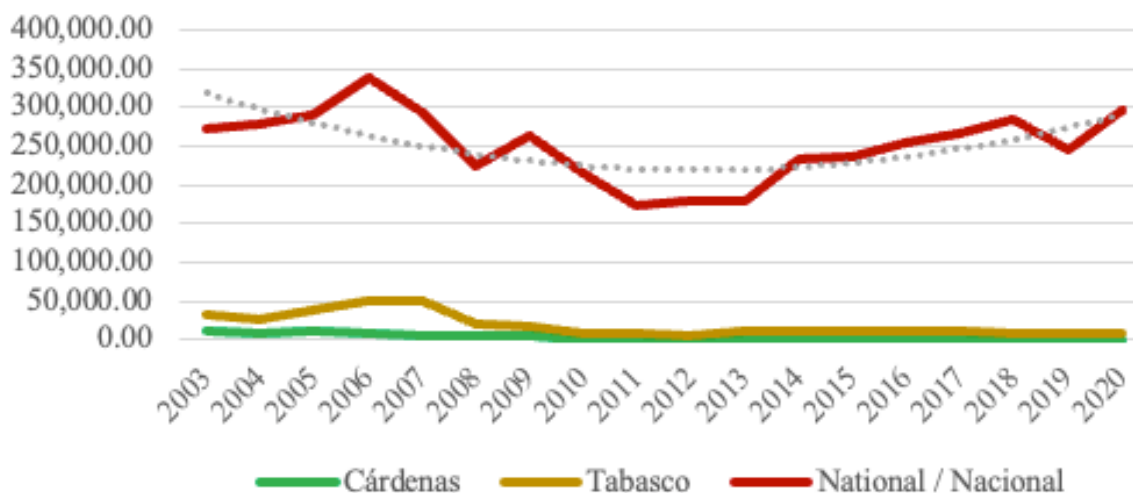


Figure 2. Rice production in tons at national level, in the state of Tabasco and the municipality of Cárdenas during the period 2003 – 2020.

Source: Own elaboration with data from the SIAP. SIACON. SADER, database 2003 - 2020.

Figura 2. Producción de arroz en toneladas a nivel nacional, en el estado de Tabasco y municipio de Cárdenas durante el periodo 2003 – 2020.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP. SIACON. SADER, base de datos 2003 – 2020.

With the previous figure, it is shown that the rice production at municipal and state level has a negative trend and, at national level we can see a trend with a positive slope and the curve that best matches at country level is one of a polynomial-type $y=175.3x^2 - 23934x + 340948$. The graph had four decreases for the rice production (years 2007, 2008, 2010 and 2019), which were compensated with the increases during the remaining years of that period. Throughout the analysis period, the increase in rice production, when using the statistics function of the average annual growth rate (AAGR) showed a positive rate with 0.43 %, while at municipal and state level was negative in -18.5 and -7.70 % respectively for the rice production, however, the state has acceptable productive potential conditions to cultivate this gramineae.

With information from the FIRA (2019) and SIAP (2020) it can be noted that the rice per capita consumption is of 9.0 kg·hab⁻¹; with the previously showed data about population and production of this gramineae in Mexico, the estimated rice consumption in the country is 1 134.1 thousand tons, and the production nationally generated, only covers the 26.04 % of the national consumption, the difference is imported from the main national producers and due to its geographic proximity, it is supplied in its vast majority from the United States.

The aim of this study was to determine the productive potential in number of thousand hectares of the rice

que se dejaron de producir, la caída en las toneladas de arroz entre el año 2003 con respecto al de 2020, no significaron una reducción en la cantidad de toneladas de arroz, ya que la caída se logró detener e inclusive se logró un incremento de 22.1 miles de toneladas que significaron un incremento del 8.1 %, situación que no se observó a nivel estatal y municipal. La evolución en la producción de arroz en el país, entidad y municipio se muestra en la Figura 2.

Con la figura anterior se demuestra que la producción arrocer a nivel municipal y estatal tiene una tendencia negativa y a nivel nacional se observa una tendencia con pendiente positiva y la curva que más se ajusta a nivel país es una de tipo polinómica $y = 175.3x^2 - 23934x + 340948$. La gráfica tuvo cuatro decrementos en la producción de arroz (años de 2007, 2008, 2010 y 2019), los cuales se compensaron con los incrementos en los años restantes del periodo. El aumento en la producción de este cereal, al utilizar la función estadística de la tasa media de crecimiento anual (tmca) presentó durante el periodo de análisis, una tasa de tipo positiva con 0.43 %, en tanto que a nivel de municipio y estado fueron de tipo negativo en -18.5 y -7.70 % respectivamente en la producción de arroz, no obstante que la entidad cuenta con condiciones de potencial productivo aceptables para el cultivo de esta gramínea.

Con información de FIRA (2019) y SIAP (2020) se nota que el consumo per capita de arroz es de 9.0 kg·hab⁻¹;

coming from the state of Tabasco, in order to contribute to the food sovereignty of this gramínea of the basic consumer basket and help reduce the import of this cereal.

Methodological approach

The methodological approach began with the creation of a multidisciplinary team of four researchers who covered the required profile to carry out the research activities of this Project; three of them from the Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales of the INIFAP, with expertise in productive potential areas, agroecology, agronomy, soils, forestry, agribusiness and economy, and one research assistant from the Escuela Nacional de Trabajo Social of the UNAM with expertise in agricultural development planning.

In order to determine the spatial location of the productive potential, the methodological approach of agricultural zoning was used for the state of Tabasco. Smaller land units were defined with possible homogeneous characteristics compared to their aptitude and productive potential. This method is implemented towards the risk reduction and environmental impacts to produce agricultural species in favorable conditions, with this, the technological package of production decreases, the yield and quality of harvested products of different agricultural, livestock or forestry species increases, with little or no deterioration to the environment. The agro-ecological areas of *Oriza sativa* L. were those that showed conditions and characteristics of positive biophysical potential for its production with optimum yield. The regionalization of the productive potential of the rice cultivation required working with digital cartographic information on different climatic, topographic, edaphological and land use subjects. The systemic approach and the automated processing of information, favored the identification of the areas with high, medium and not suitable potential (González & Hernández, 2016).

The study of the productive potential allows to establish the agro-ecological requirements for rice cultivation, for this, the global database ECOCROP of the FAO (2011) was used, it is available on internet. The information about the agro-ecological requirements concluded with the review of the literature related to this specie and according to Ruiz *et al.* (2013) and Ruiz *et al.* (1999). The agro-ecological requirements, as well as the threshold values of the rice cultivation are shown in the Figure 3.

The digital coverage to define the agro-ecological variables taken into account for the rice cultivation

con los datos que se mostraron anteriormente de población y producción de esta gramínea en México, el consumo estimado de arroz en el país es de 1 134.1 miles de toneladas y con la producción que se genera nacionalmente solo se cubre el 26.04 % del consumo nacional, la diferencia se importa de las principales naciones productoras y que por cercanía geográfica se abastece en su gran mayoría de Estados Unidos de América.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el potencial productivo en número de miles de hectáreas de arroz proveniente del estado de Tabasco para contribuir a la soberanía alimentaria de la entidad de esta gramínea de la canasta básica de los consumidores y ayudar a la reducción de la importación de este cereal.

Enfoque metodológico

El proceso metodológico se inició con la conformación de un equipo multidisciplinario de cuatro investigadores que cubrieron los perfiles necesarios para llevar las actividades de investigación del proyecto; tres de ellos adscritos en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del INIFAP, con experiencia en áreas de potencial productivo, agroecología, agronomía, suelos, forestería, agroindustrias y economía, y un auxiliar de investigación de la Escuela Nacional de Trabajo Social de la UNAM con experiencia en planificación del desarrollo agropecuario.

Para determinar la ubicación espacial del potencial productivo, se utilizó el enfoque metodológico de zonificación agroecológico para el estado de Tabasco. Se definieron unidades de tierra más pequeñas con características homogéneas posibles con respecto a su aptitud y potencial productivo. Este método se implementa hacia la reducción de riesgos e impactos ambientales para producir especies agrícolas en condiciones favorables, con ello, disminuye el paquete tecnológico de la producción, incrementa el rendimiento y calidad de los productos cosechados de diferentes especies agrícolas, pecuarias o forestales, con poco o ningún deterioro al medio ambiente. Las zonas agroecológicas de *Oriza sativa* L. fueron aquellas que presentaron las condiciones y características del potencial biofísico favorables para su producción con óptimos rendimientos. La regionalización del potencial productivo del cultivo de arroz requirió trabajar con información cartográfica digital de diferentes temáticas de tipo climático, topográfico, edafológico y uso de suelo. El enfoque sistémico y el procesamiento automatizado de la información, propició la identificación de las áreas

were the following: climate, (average annual temperature and total precipitation), topographical (altitude), use and type of soil, Table 3.

Prosecutions and operations for the coverages were developed with the geographic information system Arc Map™ 10.2. The coordinate system was used into geographic units (tenths of a degree).

con potencial alto, medio, no apto (González & Hernández, 2016).

El estudio del potencial productivo permite establecer los requerimientos agroecológicos del cultivo del arroz, para lo cual se utilizó la base de datos mundial ECOCROP de la FAO (2011), disponible en la internet. La información de los requerimientos agroecológicos se

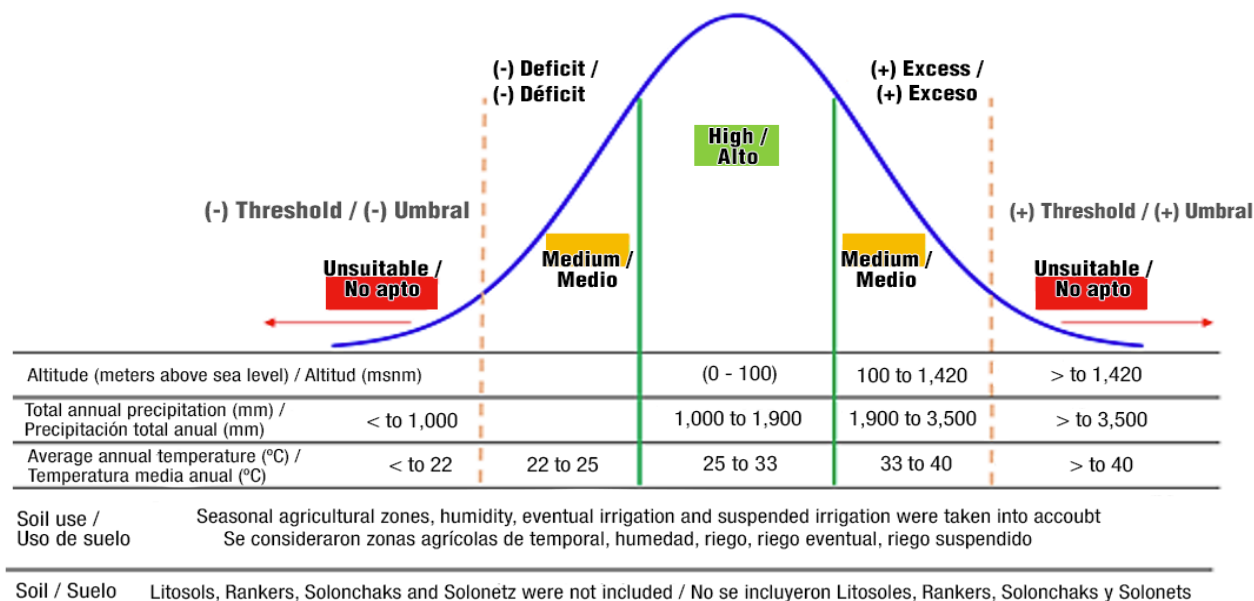


Figure 3. Agro-ecological requirements and threshold values per deficit and excess, to define the productive potential of the rice.

Source: Díaz *et al.* (2012) and Moctezuma *et al.* (2017).

Figura 3. Requerimientos agroecológicos y valores umbrales por déficit y exceso, para la delimitación del potencial productivo del arroz.

Fuente: Díaz *et al.* (2012) y Moctezuma *et al.* (2017).

Table 3. Coverage of the agro-ecological variables.

Cuadro 3. Cuadro 3. Coberturas de las variables agroecológicas.

Digital coverage / Cobertura digital	Resolution/Scale / Resolución/Escala	Type of information / Tipo de información	Source / Fuente
Altitude / Altitud	90 m ²	Raster	INEGI (1995)
Precipitation / Precipitación	90 m ²	Raster	INIFAP (2011a)
Average temperature / Temperatura media	90 m ²	Raster	INIFAP (2011b)
Soil use / Uso de suelo	1:25 000	Vectorial	INEGI (2016)
Edaphology / Edafología	1:25 000	Vectorial	INEGI (2004)

Source: Díaz *et al.* (2012)

Fuente: Díaz *et al.* (2012)

The scores of the potential areas of the raster coverages were carried out through the reclassification of values, by taking into account the agro-ecological requirements of the crop as a base to adjust the defined areas at three potential levels: high, medium and not suitable.

The score generation for the development area of the rice was created from the double entry-decision matrix (Table 4).

The result of this process created new layers, and were transformed into vector format to ease their management with map algebra.

The scores for the sectorial layers were carried out through intersections between pairs of the five coverages, the geographical areas that do not have a positive soil use and edaphological conditions for developing rice were discriminated, and, in order to avoid location errors, the areas obtained were cut with the layer of agricultural soil use. Finally, the reclassification process was carried out to obtain the productive areas with their potentials: high, medium and not suitable.

The scenario building was based on the establishment of assumptions of area allocation (hectares) which would be aimed at the rice cultivation in the state of Tabasco, these were: first assumption, the 100 % of the surface with medium productive potential is intended to rice production; second, the 50 % of the surface with medium productive potential is assigned and the 50 % of the surface with high productive poten-

completó con la consulta de literatura relacionada a la especie de Ruiz *et al.* (2013) y Ruiz *et al.* (1999). En la Figura 3 se muestran los requerimientos agroecológicos y valores umbrales del cultivo de arroz.

La cobertura digital para definir las variables agroecológicas que se consideraron para el cultivo del arroz fueron las siguientes: clima, (temperatura media anual y precipitación total), topográficas (altitud), uso y tipo de suelo, Cuadro 3.

Los procesamientos y operaciones de las coberturas se realizaron en el sistema de información geográfica Arc Map™ 10.2. El sistema de coordenadas empleado fue en unidades geográficas (décimas de grado).

Las calificaciones de zonas potenciales de las coberturas raster se realizaron mediante reclasificación de valores tomándose como base los requerimientos agroecológicos del cultivo, para ajustar las zonas delimitadas en tres niveles de potencial: alto, medio y no apto.

La generación de la calificación para la zona de desarrollo del arroz se generó a partir de la matriz de decisión de doble entrada (Cuadro 4).

El resultado de este proceso generó nuevas capas, y fueron transformados a formato vectorial para facilitar su manejo con álgebra de mapas.

Las calificaciones de las capas vectoriales se realizaron mediante intersecciones entre pares de las cinco

Table 4. Double entry-matrix to rate the productive potential of rice.
Cuadro 4. Matriz de doble entrada para la calificación del potencial productivo del arroz.

		Variable B (Map) / Variable B (Mapa)			
		Potential /Potencial	High (A) / Alto (A)	Medium (M) / Medio (M)	Unsuitable (Na) / No apto (Na)
Variable A (Map) / Variable A (Mapa)	High (A) / Alto (A)		A-A	A-M	A-Na
	Medium (M) / Medio (M)		M-A	M-M	M-Na
	Unsuitable (Na) / No Apto (Na)		Na-A	Na-M	Na-Na

Source: Díaz *et al.* (2012)
Fuente: Díaz *et al.* (2012)

tial is added and third, the 100 % of the surface with high productive potential is used for the production of this gramineae.

Results and discussion

As a result of the quantification of the number of susceptible hectares to be sown with rice in the Rural Development Districts in the state of Tabasco, the productive potential of this gramineae is shown in the Table 5 and it is expressed as high and medium.

With regard to the medium productive potential, 147.3 thousand hectares able to be sown with rice, were detected in the state of Tabasco, the highlighted Rural Development District was the municipality of Cárdenas, where 105.2 thousand hectares that represent less than three quarters (71.43 %) of the medium productive potential in the state were found, in order of importance is the RDD of Villahermosa with 21.90 % and when adding both RDD we reach the 93.33 %, and the rest of the surface with medium potential represents the 6.67 % which corresponds to the RDD Emiliano Zapata.

In other less recent studies (INIFAP, 2011a, 2011b and 2012), a high productive potential of 112,181 hectares for its use with rice, was determined, while for the medium productive potential, 93 038 hectares able to be sown were quantified.

A map with the projection of the medium and high productive potential of the Rural Development District Cárdenas of the state of Tabasco is shown in the Figure 4.

coberturas, se discriminaron áreas geográficas que no tuvieran condiciones de uso de suelo y edafológicas favorables para el desarrollo del arroz y para evitar errores de ubicación, las áreas obtenidas se recortaron con la capa de uso de suelo agrícola. Finalmente, se llevó cabo el proceso de reclasificación para obtener las zonas productivas con sus potenciales: alto, medio y no apto.

La construcción de los escenarios se basó en el establecimiento de supuestos de asignación de la superficie (hectáreas) que se destinarían al cultivo del arroz en el estado de Tabasco, mismos que fueron: primer supuesto, se destina el 100 % de la superficie con potencial productivo medio a la producción del arroz; segundo, se asigna el 50 % de la superficie con potencial productivo medio y se le suma el 50 % de la superficie con potencial productivo alto y tercero, se utiliza el 100 % de la superficie con potencial productivo alto a la producción de esta gramínea.

Resultados y discusión

Como producto de la cuantificación del número de hectáreas susceptibles de ser cultivadas con arroz en los Distritos de Desarrollo Rural del estado de Tabasco, se presenta en el Cuadro 5 el potencial productivo de esta gramínea el cual se expresa como alto y medio.

Con relación al potencial productivo medio, se detectaron 147.3 mil hectáreas susceptibles de sembrarse con arroz en el estado de Tabasco, el Distrito de Desarrollo Rural que destacó fue el del municipio

Table 5. High and medium productive potential (PP) in number of hectares of rice per Rural Development District in the state of Tabasco.

Cuadro 5. Potencial productivo (PP) alto y medio en número de hectáreas de arroz por Distrito de Desarrollo Rural del estado de Tabasco.

RDD / DDR	Medium PP / PP Medio	%	High PP/ PP Alto	%
Villahermosa	32,254.69	21.90	18,145.84	16.41
Cárdenas	105,202.86	71.43	74,515.92	67.39
Emiliano Zapata	9,827.85	6.67	17,916.19	16.20
Total State of Tabasco / Total Estado de Tabasco	147,285.40	100.00	110,577.95	100.00

Source: own elaboration with the database of the CENID COMEF. INIFAP. Agricultural Technical Agenda. State of Tabasco. 2017. INIFAP. Fuente: elaboración propia con la base de datos del CENID COMEF. INIFAP. Agenda Técnica Agrícola. Estado de Tabasco. 2017. INIFAP.

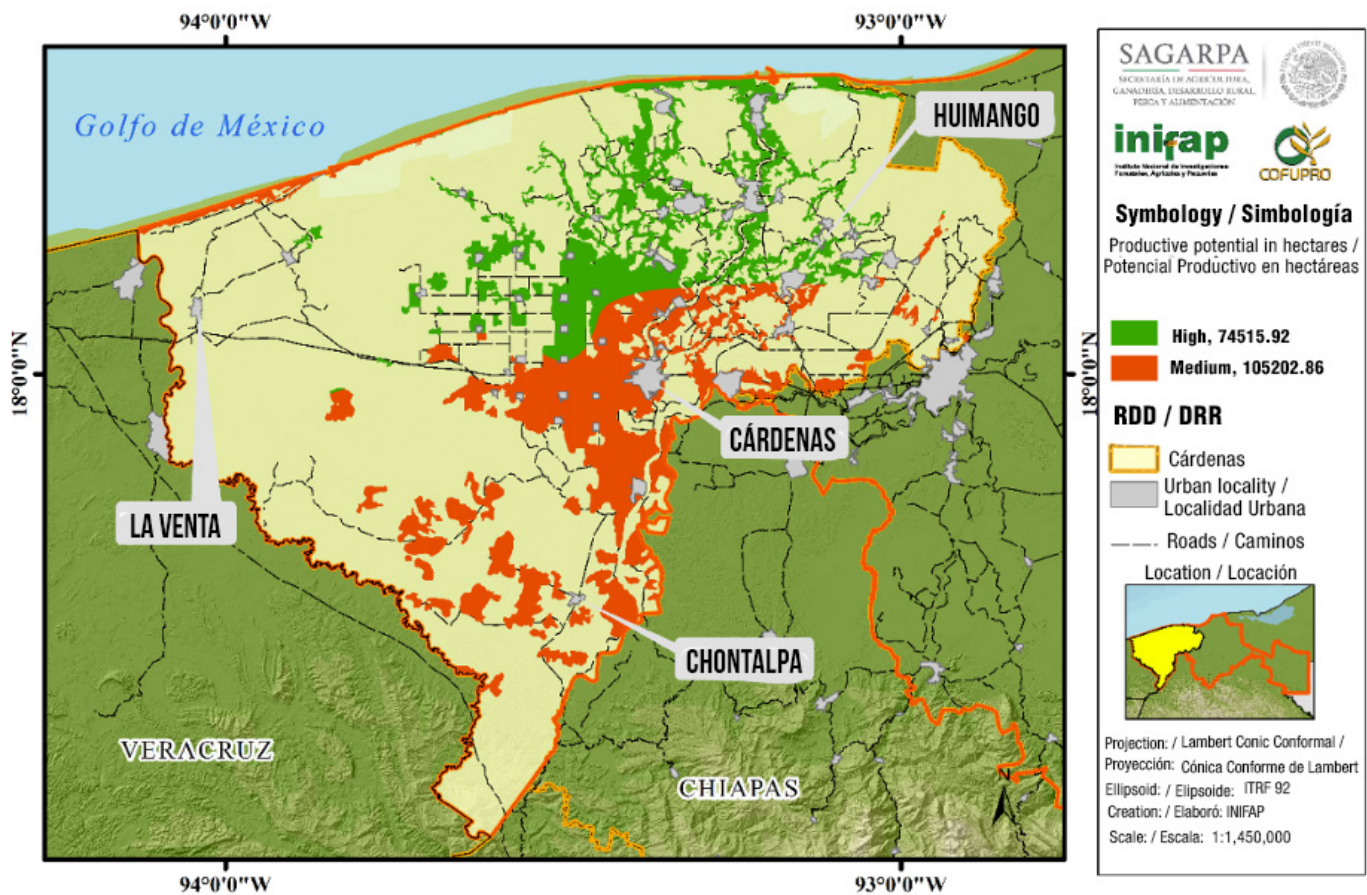


Figure 4. Map of the medium and high productive potential of rice in the Rural Development District, Cárdenas of the state of Tabasco.

Source: Agricultural Technical Agenda. State of Tabasco. 2017. INIFAP.

Figura 4. Mapa de potencial productivo medio y alto del arroz del Distrito de Desarrollo Rural, Cárdenas del estado de Tabasco.

Fuente: Agenda Técnica Agrícola. Estado de Tabasco. 2017. INIFAP.

With regard to the high productive potential, 110.6 thousand hectares to be sown with rice were quantified, the RDD of Cárdenas highlights with 74.5 thousand hectares that represent the 67.4 % (little more than two thirds) which are considerable able to grow this basic food in Mexico, the next RDD, in order of importance, is Villahermosa with 18.1 thousand hectares that represent the 16.4 % and the remaining 16.2 % mean that the 17.9 thousand hectares are located within the RDD Emiliano Zapata.

The medium yields per hectare (tons/hectare) of rice at their minimums and maximums presented in the state of Cárdenas, state of Tabasco and Mexico during the period 2003 – 2019, are shown in the Table 6.

At municipal, state and national level the minimum yield in $t\cdot ha^{-1}$ of rice was presented in the municipi-

de Cárdenas, en el que se encontraron 105.2 miles de hectáreas que representan algo menos de tres cuartas partes (71.43 %) del potencial productivo medio en la entidad, sigue en orden de importancia el DDR de Villahermosa con 21.90 % y al sumar ambos DDR se llega al 93.33 % y el resto de la superficie con potencial medio ocupa el 6.67 % que corresponde al DDR Emiliano Zapata.

En otros estudios menos recientes (INIFAP, 2011a, 2011b y 2012) se determinó un potencial productivo alto de 112,181 hectáreas para uso en arroz, en tanto que para el potencial productivo medio se cuantificaron 93 038 hectáreas susceptibles de siembra.

En la Figura 4 se muestra un mapa con la proyección del potencial productivo medio y alto del Distrito de Desarrollo Rural Cárdenas del estado de Tabasco.

Table 6. Medium yields per hectare ($t\cdot ha^{-1}$) of rice in the municipality of Cárdenas, state of Tabasco and Mexico during the period 2003 – 2019.**Cuadro 6. Rendimientos medios por hectárea ($t\cdot ha^{-1}$) de arroz en el municipio de Cárdenas, estado de Tabasco y México en el periodo 2003 – 2019.**

RDD / DDR	Minimum yield / Rendimiento mínimo	Year / Año	Maximum yield / Rendimiento máximo	Year / Año	Average yield / Rendimiento Promedio
Cárdenas	1.06	2015	3.60	2019	2.56
Tabasco	2.22	2011	7.98	2020	4.49
National / Nacional	4.15	2007	6.39	2019	5.37
Overall average / Promedio General	2.47		5.99		4.14

Source: own elaboration with the database of the CENID COMEF. INIFAP. Agricultural Technical Agenda. State of Tabasco. 2017. INIFAP.
Fuente: elaboración propia con la base de datos del CENID COMEF. INIFAP. Agenda Técnica Agrícola. Estado de Tabasco. 2017. INIFAP.

pality of Cárdenas in 2015 with only $1.06 t\cdot ha^{-1}$ and the maximum yield was at state level in Tabasco, in 2020 with $7.98 t\cdot ha^{-1}$. Data taken into account to infer the contribution to the food sovereignty of this gramineae were the average yields, for the high productive potential $5.99 t\cdot ha^{-1}$ were considerate and for the medium productive potential, $4.14 t\cdot ha^{-1}$. The low productive potential was not taken into account because it is unprofitable for the rice farmers of Tabasco.

With information derived from the INIFAP (INIFAP, 2011a, 2011b, 2017), some varieties generated by the Institute and validated in seasonal conditions, such as Huimanguillo A-88, Palizada A-86, Cárdenas A-80, Campeche A-80 and CICA-8, the yields obtained ranged between 3.5 and $6.0 t\cdot ha^{-1}$, and when they were tested under irrigation, the Filipino variety “miracle debugged rice” and the LHA-A13 reach levels of 4.6 to $7.8 t\cdot ha^{-1}$ and recently, the varieties INIFLAR RT and INIFLAR R produce $7.0 t\cdot ha^{-1}$. Also, SAGARPA, 2017 points out the state of Tabasco within the region 2 (Campeche and Tabasco) as a strategic area in terms of rice infrastructure, for both, the spring-summer cycle, and the autumn-winter one, and within its planning motor, this region is taken into account as a productivity with a profitability approach and as a specific action to promote the

Con respecto al potencial productivo de tipo alto, se cuantificaron 110.6 miles de hectáreas para cultivarse con arroz, sobresale el DDR de Cárdenas con 74.5 miles de hectáreas que representan el 67.4 % (poco más de las dos terceras partes) que se consideran aptas para el cultivo de este alimento básico en México, el siguiente DDR en orden de importancia es Villahermosa con 18.1 miles de hectáreas que representan el 16.4 % y el 16.2 % restante que significan 17.9 miles de hectáreas se localizan en el DDR Emiliano Zapata.

Los rendimientos medios por hectárea (toneladas/hectárea) de arroz en sus mínimos y máximos que se presentaron en el municipio de Cárdenas, estado de Tabasco y México durante el periodo 2003 – 2019 se presentan en el Cuadro 6.

A nivel municipal, estatal y nacional el rendimiento mínimo en $t\cdot ha^{-1}$ de arroz se presentó en el municipio de Cárdenas en el año 2015 con solo $1.06 t\cdot ha^{-1}$ y el rendimiento máximo se dio a nivel del estado de Tabasco en el año 2020 con $7.98 t\cdot ha^{-1}$. Los datos que se tomaron en cuenta para inferir la contribución a la soberanía alimentaria de esta gramínea fueron los rendimientos promedio, para el potencial productivo

diffusion and technical assistance in order to adopt certification and technology adoption schemes.

With the data from Tables 5 and 6 related to surfaces with medium and high productive potential in thousand hectares and to the medium yield per hectare in t·ha⁻¹, the contribution to the food sovereignty of rice, at national level, was proposed by the state of Tabasco under three scenarios, which are described in the Table 7.

With data from the INEGI (2020) about the total population and from the FIRA (2019) about the *per capita* consumption, the total of the rice requirement at national level would be:

$$C_{nal} = P_{tot} \times c_{pc}$$

Where: C_{nal} = national consumption; P = total population and c_{pc} = *per capita* consumption

$$(126,014,024 \times 9.0) = 1,134.1 \text{ thousand tons}$$

The above leads us to the fact that when determining the rice national consumption in 2020 in 1 134.1 thousand tons, the state of Tabasco, under the third scenario could contribute with 662.3 thousand tons of rice that would have represented the 58.5 % in the reduction of rice imports, and the trade balance of this gramineae would be benefit.

alto se consideró 5.99 t·ha⁻¹ y para potencial productivo medio se tomó 4.14 t·ha⁻¹. El potencial productivo bajo no se consideró por ser poco rentable para el productor arrocero de Tabasco.

Con información derivada de estudios del INIFAP (INIFAP, 2011a, 2011b, 2017), algunas de las variedades generadas por el Instituto y validadas en condiciones de temporal, tales como la de Huimanguillo A-88, Palizada A-86, Cárdenas A-80, Campeche A-80 y CICA-8, los rendimientos que se obtuvieron oscilaron entre 3.5 y 6.0 t·ha⁻¹ y cuando se probaron bajo riego, la variedad Milagro filipino depurado y LHA-A13 llegan niveles de 4.6 a 7.8 t·ha⁻¹ y recientemente las variedades INIFLAR RT e INIFLAR R producen 7.0 t·ha⁻¹. Además, SAGARPA, 2017 señala al estado de Tabasco dentro de la región 2 (Campeche y Tabasco) como una región estratégica en materia de infraestructura de arroz, tanto para el ciclo primavera-verano como para el otoño-invierno y dentro de sus motores de planeación, dicha región la ubican como productividad con enfoque de rentabilidad y como acción específica la de propiciar la difusión y asistencia técnica para la adopción de esquemas de certificación y de adopción de tecnologías.

Con los datos de los Cuadros 5 y 6 relativos a las superficies con potencial productivo medio y alto en miles de hectáreas y al rendimiento medio por hectárea en t·ha⁻¹, la contribución a la soberanía alimentaria

Table 7. Scenarios for the contribution of the state of Tabasco to the food sovereignty of rice in Mexico. Cuadro 7. Escenarios para la contribución del estado de Tabasco a la soberanía alimentaria del arroz en México.

Scenario / Escenario	Characteristics / Características	Additional production in thousand tons / Producción adicional en miles de toneladas
1	100 % of the surface with medium productive potential / 100 % de superficie con potencial productivo medio	609.8
2	50 % of the surface with medium productive potential + 50 % of the surface with high productive potential / 50 % de superficie con potencial productivo medio + 50 % de superficie con potencial productivo alto	636.1
3	100 % of the surface with high productive potential / 100 % de superficie con potencial productivo alto	662.3

Conclusions

Rice production in Mexico is not enough to cover the demand of this gramineae, for the reason that there is a deficit in this and under the determination of the productive potential in its high and medium modalities within the several Rural Development Districts in Tabasco, in which Cárdenas highlights and specifically, the western region of the RDD, because they were found in more than two thirds the total productive potential, in both, the medium and the high, as well as the fact that in this District there is an availability of inputs (seeds, fertilizers, agrochemicals), financial services (first level: FIRA and Financiera Rural, second level: commercial banking) and technical assistance (private offices and support from the SADER), marketing companies of gramineae and agribusiness in the benefit of rice, as well as the climatic, edaphological and hydraulic conditions, and past experiences of farmers and rice producer organizations who, in the past, demonstrated their ability to efficiently produce the rice cultivation, and the INIFAP has offices and experimental fields in the state of Tabasco which provide technical assistance and consultancy, in terms of technology packages with high yield rice varieties tested in the state and which have an acceptable financial profitability. The previous situation and its conditions would help to reach the possible food sovereignty of this cereal of the Mexican basic basket by using the area with high productive potential and a conservative medium yield per hectare, little more than a half of the demand needs would be covered and in this way, the flow of the capital would be avoided and a less unfavorable trade balance could be created.

End of English version

References / Referencias

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2004). Mapa nacional edáfico. Unidades de suelo clasificadas por FAO/UNESCO. Escala 1:250,000. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2020). Censo Nacional de Población y Vivienda. México. INEGI.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Publicación especial No. 8. México: INIFAP.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2011a). Precipitación anual histórica acumulada (mapa digital). Raster. 90 metros. México.

de arroz, a nivel nacional, por parte del estado de Tabasco se planteó bajo tres escenarios, mismos que se describen en el Cuadro 7.

Con el dato de INEGI (2020) de la población total y de FIRA (2019) del consumo *per capita*, el total de requerimiento de arroz a nivel nacional sería:

$$C_{\text{nal}} = \text{Pob tot} \times c_{\text{pc}}$$

Donde: C_{nal} = consumo nacional; P = Población total y c_{pc} = *consumo per capita*

$$(126,014,024 \times 9.0) = 1,134.1 \text{ miles de toneladas}$$

Lo anterior nos lleva a que, al determinar el consumo nacional de arroz en el año 2020 en 1 134.1 miles de toneladas, el estado de Tabasco, bajo el escenario tres podría contribuir con 662.3 miles de toneladas de arroz que hubiesen representado el 58.5 % en la reducción de las importaciones de arroz y se beneficiaría la balanza comercial de esta gramínea.

Conclusiones

La producción de arroz en México es insuficiente para cubrir la demanda de esta gramínea, ya que se identifica un déficit en la misma y bajo la determinación de potencial productivo en sus modalidades de medio y alto en los diversos Distritos de Desarrollo Rural Tabasco, en el cual destaca el de Cárdenas y en específico la parte occidente del DDR, en razón de que se detectaron en más de las dos terceras partes el total del potencial productivo, tanto el medio como el alto, así como el hecho de que en este Distrito se cuenta con disponibilidad de insumos (semillas, fertilizantes, agroquímicos), servicios financieros (de primer piso: FIRA y Financiera Rural de segundo piso: banca comercial) y de asistencia técnica (despachos privados y soporte de la SADER), empresas comercializadoras de gramíneas y agroindustria en el beneficio del arroz, así como condiciones climáticas, edafológicas e hidráulicas, así como la experiencia pasada de agricultores y organizaciones de productores arroceros que en el pasado demostraron su capacidad para producir de manera eficiente el cultivo del arroz y el INIFAP cuenta oficinas y campo experimental en el estado de Tabasco que otorgan asistencia técnica y asesoría en materia de paquetes tecnológicos con variedades arroceras de alto rendimiento probadas en la entidad y que tienen una rentabilidad financiera aceptable. La anterior situación y sus condiciones aportarían a que se alcance la posible soberanía alimentaria de este alimento de

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2011b). Mapa digital de temperatura media anual histórica (mapa digital). Raster. 90 metros. México.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2017). Agenda Técnica Agrícola. Estado de Tabasco. México: INIFAP.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2018). Programa de Desarrollo del INIFAP 2018 – 2030. Mayor productividad en armonía con el medio ambiente. México: INIFAP.
- Moctezuma, L. G., E., Ortiz, C., J. M., Hernández, C. V. H., Díaz, F. & L., Velázquez, F. (2017). Evaluación financiera de plantaciones de hule [*Hevea brasiliensis* (Wild ex A. Juss) Mull. Arg.] en el trópico húmedo mexicano. Folleto Técnico No. 25. México: INIFAP.
- Rosset, P. 2004. Soberanía Reclamo Mundial. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/267623543_Soberania_Alimentaria_Reclamo_Mundial_del_Movimiento_Campesino
- Ruiz C., J. A., G. Medina G., I. J. González A., H. E. Flores L., G. Ramírez O.,..., Martínez, R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Ruiz C., J. A., Medina G., G., González A., I. J., Ortiz T., C., Flores L., H. E.,..., Byerly M., K. F. (1999). Requerimientos agroecológicos de cultivos. INIFAP. CIRPAC. Libro Técnico Núm.3. Guadalajara, México. 324 p.
- Saaty, T. L. (1997). Toma de decisiones para líderes. El Proceso Analítico Jerárquico: La Toma de Decisiones en un mundo complejo. Estados Unidos de América: RWS.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Arroz Mexicano. Benito Juárez, CDMX. México. 20 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta (SIACON). Bases de Datos 2003 – 2020. México: SIAP.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Panorama Agroalimentario 2020. Datos de un campo que avanza sin dejar a nadie atrás. México: SIAP.

Fin de la versión en español

EN

Potential areas to establish rubber plantations (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.) in Oaxaca, Mexico

ES

Áreas potenciales para establecer plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.) en Oaxaca, México

Ramiro Pérez Miranda¹; Martín Enrique Romero Sánchez¹; Antonio González Hernández¹;
Efraín Velasco Bautista¹; Adán Guillermo Ramírez García^{2*}

¹INIFAP.Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, ave. Progreso núm. 96, Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México, C. P. 04010, CDMX.

²Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario del Noroeste, Ciudad Obregón, Sonora, México.

*Corresponding author:
gramirezg@taurus.chapingo.mx

Received: July 11, 2021 /
Accepted: October 15, 2021

DOI:
10.5154/r.rchsat.2021.02.03

Abstract

The development of commercial forest plantations in Mexico means a great opportunity to the forestry sector because of climatic and soil conditions in the country. Growing rubber as a commercial forest plantation offers many benefits; however, the potential of this crop has not been developed due to several factors, including the lack of planning to establish it on optimal lands for its best production. The objective of this study was to estimate the potential of the land in the state of Oaxaca for the cultivation of rubber by using multi-criteria techniques and a hierarchical analysis process. The modeling was carried out from the edaphoclimatic requirements of *H. brasiliensis* and weighting of variables in a Geographic Information Systems environment. The hierarchies between the criteria to be weighted were defined with the support of specialized technicians and farmers related to the cultivation of rubber. The results indicate that the most important criterion for modeling was the climate with a weighting of 0.30 in terms of precipitation, followed by the temperatures (0.17). Based on the principles of the Multi-criteria Analysis, it was possible to state that in the optimal potential development of *H. brasiliensis*, climatic, edaphic and topographic factors are determining factors. The optimal potential for the cultivation of rubber in the state are the municipalities of Matias Romero, Juan Lana, San Juan Bautista Tuxtepec, Santiago Jocotepec and Santiago Yaveo. The methodology used is expected to serve as the basis for similar applications with other species.

Keywords: Spatial analysis, analytic hierarchy, multi-criteria analysis, process land suitability, GIS.

Resumen

El desarrollo de plantaciones forestales comerciales en México es una gran oportunidad para el sector forestal, debido a las condiciones climáticas y edafológicas que presenta el país. El cultivo del hule como plantación forestal comercial, ofrece muchos beneficios; sin embargo, no se ha desarrollado el potencial de este cultivo debido a diversos factores, entre los que se encuentra la falta de planeación para establecerlo en tierras óptimas



Please cite this article as follows (APA 6): Pérez Miranda, R., Romero Sánchez, M. E. González Hernández, A., Velasco Bautista, E., & Ramírez García, A.G. (2021). Potential areas to establish rubber plantations (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.) in Oaxaca, Mexico. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 1(2), 25-40. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsat.2021.02.03>

para su mejor producción. El objetivo del presente estudio fue estimar la aptitud del terreno en el estado de Oaxaca para establecer el cultivo del hule mediante el uso de técnicas multicriterio y proceso de análisis jerarquizado. La modelación se realizó a partir de los requerimientos edafoclimáticos de *H. brasiliensis* y ponderación de variables en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica. Las jerarquías entre los criterios por ponderar se definieron con el apoyo de técnicos especializados y de agricultores relacionados con el cultivo del hule. Los resultados señalan que el criterio más importante para la modelación fue el clima con una ponderación de 0.30 en precipitación, seguido por las temperaturas (0.17). Con base en los principios del Análisis Multicriterio, fue posible manifestar que en el desarrollo potencial óptimo de *H. brasiliensis* son determinantes los factores climáticos, edáficos y topográficos. El potencial óptimo para el cultivo del hule en el estado, son los municipios de Matías Romero, Juan Lana, San Juan Bautista Tuxtepec, Santiago Jocotepec y Santiago Yaveo. Se espera que la metodología empleada sirva de base para aplicaciones similares con otras especies.

Palabras clave: Análisis espacial, análisis multicriterio, aptitud de terreno, proceso de análisis jerarquizado, SIG.

Introduction

The rubber tree [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.] is an endemic specie from the rainforests of the Amazonia (Rojo M., G. E., Martínez R., R., & Jasso M., J., 2011), it is naturally distributed in Bolivia, Brazil, Colombia, Ecuador, Perú, and Venezuela (Gonçalves, Ortolani, & Cardoso, 1997). It has been introduced in other tropical regions of the world, mainly, in the Asian continent, in nations such as Indonesia, India, Liberia, Malaysia, Sri Lanka, as well as in some parts of Latin America such as Guatemala and Mexico, among others (Shultes y Raffauf, 2009).

Hevea brasiliensis is characterized by the production of latex, a raw material for elaborating rubber or oil-cloth, a polymer with a high molecular weight used in various industries (De Dios C. O., Leshner G., J. M., Álvarez M. I., Molina M., R. F., & Jiménez G. F., 2015). The latex is a product that recently has increased its importance (Ray, D., Behera, M. D., & Jacob, 2018) because the by-products made with this material, do not have a synthetic substitute with the same quality.

Mexico has the optimum soil and climatic conditions to establish rubber plantings in the states of Veracruz, Oaxaca, Chiapas and Tabasco, which have been highlighted because of their potential to produce rubber (Rojo M., et al., 2011). However, despite that potential, rubber production has been very low compared to expectation (SIAP, 2020).

Despite the existence of optimal ecological conditions for growing rubber and its industrial and economic meaning, the information about the productive potential of this specie, is limited; for this, it is necessary to develop studies that allow to precisely discriminate

Introducción

El árbol de hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.)] es una especie endémica de las selvas tropicales de la Amazonia (Rojo M., G. E., Martínez R., R., & Jasso M., J., 2011) que se distribuye de forma natural en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, y Venezuela (Gonçalves, Ortolani, & Cardoso, 1997). Se ha introducido en otras regiones tropicales del mundo, principalmente, en el continente asiático, en naciones como Indonesia, India, Liberia, Malasia, Sri Lanka, y en algunas partes de América Latina como Guatemala y México, entre otros (Shultes y Raffauf, 2009).

Hevea brasiliensis se caracteriza por producir látex, materia prima para la elaboración de caucho o hule, un polímero de alto peso molecular muy utilizado en varias industrias (De Dios C. O., Leshner G., J. M., Álvarez M. I., Molina M., R. F., & Jiménez G. F., 2015). El látex resulta ser un producto cuya importancia se ha incrementado en los últimos años (Ray, D., Behera, M. D., & Jacob, 2018) ya que los subproductos que se elaboran con este material no tienen un sustituto sintético de igual calidad.

México posee las condiciones de suelo y clima óptimas para establecer plantaciones de hule en los estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Tabasco, que han sido señalados por su potencialidad para producción de hule (Rojo M., et al., 2011). Sin embargo, a pesar de ese gran potencial, la producción de hule ha sido muy pobre con respecto a lo esperado (SIAP, 2020).

A pesar de la existencia de condiciones ecológicas óptimas para el cultivo del hule y su importancia industrial y económica, la información sobre el potencial productivo de la especie es limitado; por lo que es necesario desarrollar estudios que permitan

areas with greater aptitude to establish plantations of this tree (Aguirre & Santoyo, 2013; Díaz et al., 2012; Moctezuma, 2019).

In the past, methods used for zoning and identifying optimum zones, were focused on the soil components of the land evaluation, this tradition procedure was the Boolean classification. Nowadays, the soil assessment models must consider new uses and factors that require the evaluation of the natural, economic and social resources. There are different methods, among them the Land Evaluation and Site Assessment (Wright, L. E., Zitzmann, W., Young, K., & Googins, R., 1983), Fertility Capability Classification (Sanchez, P. A., Palma, Ch. A., & Buolb, S. W., 2003); the method of the FAO that uses soil and climate variables and management practices; the Agro-Ecological Zoning methodology (FAO, 1978); or those based on dynamic crop simulation models, neuronal networks, expert systems or with multi-criteria evaluation methods, such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) (Santé & Crecente, 2005).

In recent years, the potential assessment or land suitability to develop tree species, have been carried out through simple mapping techniques, such as the Boolean method assisted with Geographic Information Systems (GIS) (Flores & Moreno, 1994). Recently, more complex methodologies have been implemented in several studies, these are based on the concept of the Multi-criteria Decision Analysis, among which are the studies of Delgado C., C. E., Valdez L., J. R., Fierros G., A. M., de los Santos P., H. M., & Gómez G., A. (2010); Pineda-Jaimes et al., (2012); Hernández-Zaragoza, P., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete, A., & Martínez-Trinidad (2019); Hernández et al. (2020); Bravo-Bello, J. C., Martínez-Trinidad, T., Romero-Sanchez, M. E. Valdez-Lazalde, J. R., & Benavides-Meza, H. (2020); Pham et al. (2021).

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a multi-criteria method, in which a technique to classify and weigh criteria, is developed regarding their relationship and meaning, through a Pairwise Comparison Matrix (Ceballos S., A., & López B. J., 2003; Brunelli, 2015; López-Upton, J., Valdez-Lazalde, J. R., Ventura-Ríos, A., Vargas-Hernández, J. J., & Guerra-de-la-Cruz, V., 2015). This tool is used in different areas, it is applied in the case of the land suitability, mainly, to identify potential areas (Van Ranst E., Tang H., Groennemans R., & Sinthurahat S., 1996; García N. H., García R., D. R., Moreno S., R., López B., J., & Villers R., M. L, 2001; Ceballos S., A., & López B. J., 2003).

In recent years, the interest in plantations of *H. brasiliensis* has emerged because, the physicochemical

discriminar, de manera precisa, las áreas con mayor aptitud para el establecimiento de plantaciones de este árbol (Aguirre & Santoyo, 2013; Díaz et al., 2012; Moctezuma, 2019).

Los métodos empleados para la zonificación e identificación de zonas óptimas, en el pasado, se centraban en el componente edafológico de la evaluación de tierras, cuyo procedimiento tradicional era la clasificación booleana. Actualmente, los modelos de evaluación de tierras deben considerar nuevos usos y factores que exigen la valoración de los recursos naturales, económicos y sociales. Existen diferentes métodos, entre ellos el Land Evaluation and Site Assessment (Wright, L. E., Zitzmann, W., Young, K., & Googins, R., 1983), Fertility Capability Classification (Sanchez, P. A., Palma, Ch. A., & Buolb, S. W., 2003); el método de la FAO que utiliza variables de clima, suelo y prácticas de manejo; la metodología de Zonificación Agroecológica (FAO, 1978); o bien, aquellos que se basan en modelos dinámicos de simulación de cultivos, redes neuronales, sistemas de expertos o por métodos de evaluación multicriterio, como el Analytic Hierarchy Process (AHP) (Santé & Crecente, 2005).

En los últimos años, la evaluación de la potencialidad o aptitud de terrenos para el desarrollo de especies arbóreas se ha realizado mediante técnicas cartográficas simples, como el método Booleano asistido con Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Flores & Moreno, 1994). Recientemente, en diversos estudios se han implementado metodologías más complejas, basadas en los conceptos del Análisis de Decisión Multicriterio, entre los que se mencionan los trabajos de Delgado C., C. E., Valdez L., J. R., Fierros G., A. M., de los Santos P., H. M., & Gómez G., A. (2010); Pineda-Jaimes et al., (2012); Hernández-Zaragoza, P., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete, A., & Martínez-Trinidad (2019); Hernández et al. (2020); Bravo-Bello, J. C., Martínez-Trinidad, T., Romero-Sanchez, M. E. Valdez-Lazalde, J. R., & Benavides-Meza, H. (2020); Pham et al. (2021).

El Proceso Analítico Jerarquizado (AHP, Analytic Hierarchy Process) es un método multicriterio, en el cual se desarrolla una técnica para la clasificación y ponderación de los criterios, con respecto a su relación e importancia, mediante una matriz de comparación por pares (Ceballos S., A., & López B. J., 2003; Brunelli, 2015; López-Upton, J., Valdez-Lazalde, J. R., Ventura-Ríos, A., Vargas-Hernández, J. J., & Guerra-de-la-Cruz, V., 2015). Esta herramienta se utiliza en distintas áreas, para el caso de la aptitud de tierra se aplica, principalmente, en la identificación de áreas potenciales (Van Ranst E., Tang H., Groennemans R., & Sinthurahat S., 1996; García N. H., García R., D. R., Moreno S., R., López B., J., & Villers R., M. L, 2001; Ceballos S., A., & López B. J., 2003).

characteristics of its latex are not yet been surpassed by synthetic materials available in the market to manufacture surgical items (Kerche-Silva, L. E., Cavalcante, Dalita, G. S. M., & Job, A. E., 2017; Aguirre & Santoyo, 2013).

In this context, the Mexican Southeast has suitable natural conditions to develop rubber plantations. However, the information available about the productive potential of this specie is insufficient to be used by planters; additionally, it is difficult to have the exact location of potentially suitable zones to grow at small work scales showed in the studies of Díaz J. J., Aguirre R. C., and Rendón M. R. (2013) and Rojo M., et al. (2011). Consequently, it is necessary to develop studies that allow a precise discrimination of the most suitable areas to establish plantations, as part of a strategy to maximize their chances of success. Therefore, this study was aimed at estimating the land potential in the state of Oaxaca to grow rubber with the use of multi-criteria techniques and hierarchical analysis process.

Methodological approach

Study area

It is located in the southern part of Mexico, with a territory of 93 757 km², which represents the 4.78 % of the national surface. In the north, it borders Veracruz and Puebla, in the south, it borders the Pacific Ocean, in the east, Chiapas and in the west, Guerrero. The state is composed of 570 municipalities (Figure 1).

Sub-humid climates predominate in the state (INEGI, 2008), with an average annual temperature higher than 18 °C; sub-humid warm with an average annual temperature between 12 and 18 °C. In the region of Papaloapan, in the main area with rubber cultivation in Oaxaca, the two first types of climates are the dominant ones. The average annual rainfall varies from 300 to 5 000 mm; although in general, values are localized between 1 000 and 3 000 mm. In the northern and southern part of the state, there are located the largest amount of rubber cultivations, the annual rainfall is of 2 000 to 3 500 mm (Fernández E., A., Romero C., R., & Zavala H., J. 2012).

The types of dominant vegetation are jungles, forests and grasslands, in addition to certain parts with agriculture, which are distributed in a dispersed manner, from them, the most representative ones are in the southeast, center and north of the state (INEGI, 2015a). The types of soils in the state are the Regosols that predominate in the western region; these are characterized because they are underdeveloped and

En los últimos años ha resurgido el interés por las plantaciones de *H. brasiliensis*, debido a que las características fisicoquímicas que posee su látex aún no son superadas por los materiales sintéticos que existen en el mercado para manufacturar productos quirúrgicos (Kerche-Silva, L. E., Cavalcante, Dalita, G. S. M., & Job, A. E., 2017; Aguirre & Santoyo, 2013).

En este contexto, el sureste mexicano goza de condiciones naturales adecuadas para el desarrollo de plantaciones de hule. No obstante, la información disponible sobre el potencial productivo de la especie es insuficiente para ser empleada por los plantadores; además, resulta complejo tener la ubicación precisa de las zonas potencialmente aptas para el cultivo por las escalas de trabajo pequeñas que presentan los trabajos como la de Díaz J. J., Aguirre R. C., y Rendón M. R. (2013) y Rojo M., et al. (2011). Por lo anterior, es necesario desarrollar estudios que permitan discriminar de manera precisa las áreas con mayor aptitud para el establecimiento de plantaciones, como parte de una estrategia para maximizar sus probabilidades de éxito. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo estimar la potencialidad de terreno en el estado de Oaxaca para el cultivo del hule mediante el uso de técnicas multicriterio y proceso de análisis jerarquizado.

Enfoque metodológico

Área de estudio

Se localiza en la parte sur de la república mexicana, con una extensión de 93 757 km², que representan 4.78 % del territorio nacional. Limita al norte con Veracruz y Puebla, al sur con el Océano Pacífico, al este con Chiapas y al oeste con Guerrero. La entidad está integrada por 570 municipios (Figura 1).

En la entidad predominan los climas semicálidos subhúmedos (INEGI, 2008), con temperatura media anual mayor a 18 °C; cálido subhúmedo con temperatura media anual superior a 22 °C; y templado subhúmedo, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C. En la región del Papaloapan, es la principal zona con cultivo de hule en Oaxaca, los dos primeros tipos de climas son los dominantes. La precipitación media anual varía de 300 a 5 000 mm; aunque, en general, los valores se ubican entre 1 000 y 3 000 mm. En el norte y noreste del estado, donde se localiza la mayor cantidad de cultivos de hule, la precipitación anual es de 2 000 a 3 500 mm (Fernández E., A., Romero C., R., & Zavala H., J. 2012).

Los tipos de vegetación dominantes son selvas, bosques y pastizales, además de ciertos parches con agricultura, los cuales se distribuyen de manera dispersa,

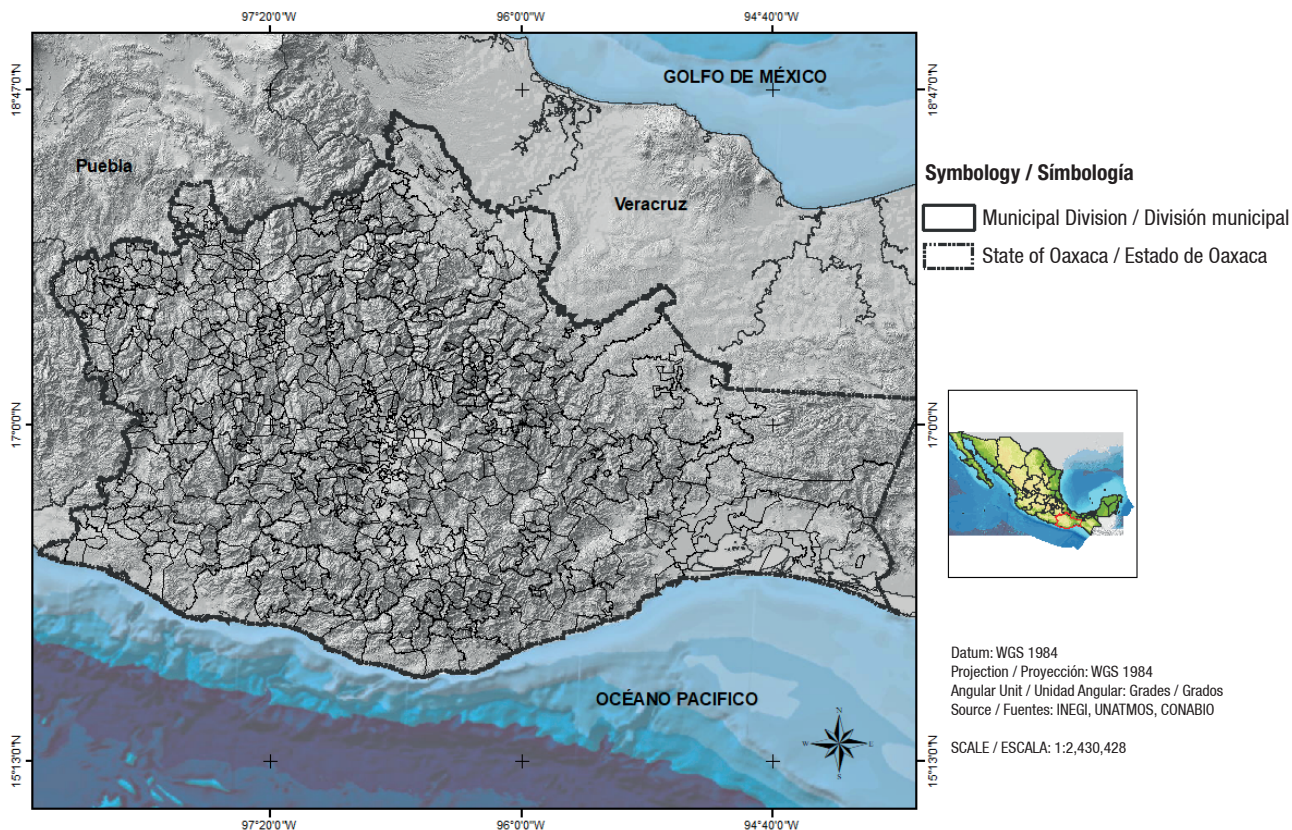


Figure 1. Geographic location of the state of Oaxaca.
Figura 1. Localización geográfica del estado de Oaxaca.

constituted by loose material similar to rocks: in the northern part and just to the east of the state, the Acrisols dominate, these are very acid, rich in clay into the subsoil and poor in nutrients; there are also parts with Litosols, very thin soils, with a thickness less than 10 cm and they are developed over a hard and continuous stratum (INEGI, 2015b).

Criteria to identify potential areas to establish rubber plantations

The methodology used was based on the previous studies of Hernández-Zaragoza, P., et al. (2019) and Bustillos-Herrera J. A., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete A., and González-Guillén. M. (2007). The agroecological requirements of *H. brasiliensis* were identified from the bibliographical sources of CONAFOR (2016), Díaz J. J., et al. (2013) and Rojo M., G. E., et al. (2011). A research in different sources of digital mapping variables (maps), was carried out from the definition of the agroecological requirements, these are shown in the Table 1. For analysis purposes, the areas of interest were grouped into three categories: climate (maximum temperature,

de ellos, los más representativos se encuentran en el sureste, centro y norte de la entidad (INEGI, 2015a). Los tipos de suelos en el estado comprenden a los Regosoles, que predominan en la región oeste; estos se caracterizan por ser poco desarrollados, constituidos por material suelto semejante a la roca: En la parte norte y un poco al este de la entidad dominan los Acrisoles, los cuales son muy ácidos, ricos en arcilla en el subsuelo y muy escasos en nutrientes; también se observan parches de Litosoles, suelos muy delgados, espesor menor de 10 cm y que se desarrollan sobre un estrato duro y continuo (INEGI, 2015b).

Criterios para la identificación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de hule

La metodología empleada se basó en estudios previos de Hernández-Zaragoza, P., et al. (2019) y Bustillos-Herrera J. A., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete A., y González-Guillén. M. (2007). Los requerimientos agroecológicos de *H. brasiliensis* se identificaron a partir de fuentes bibliográfica provenientes de CONAFOR (2016),

Table 1. Mapping of agroecological variables.
Cuadro 1. Cartografía de variables agroecológicas.

Layer / Capa	Scale / Escala	Source / Fuente
Minimum temperature / Temperatura mínima Maximum temperature / Temperatura máxima Medium temperature / Temperatura media	1: 1 000 000	UNIATMOS, 2019
Rainfall / Precipitación	1: 1 000 000	UNIATMOS, 2019
Edaphology / Edafología	1: 250 000	INIFAP-CONABIO, 1995
Type of climate / Tipos de clima	1: 1 000 000	García-CONABIO, 1998
Use of the soil and vegetation / Uso de suelo y vegetación	1: 250 000	INEGI, 2015a
Digital elevation model / Modelo de elevación digital	1: 50 000	INEGI, 2007

medium temperature, minimum temperature and rainfall); soil (depth, texture, edaphology); and topography (altitude and slope).

From the coverage defined to carry out the modeling, they were reclassified by using each interval corresponding to the agroecological requirements of rubber. The procedure was developed in the Geographic Information System environment ArcMap® version 10.6. Subsequently, these information layers were used in the Analytic Hierarchy Process (AHP).

Analytic Hierarchy Process (AHP) and weighted linear combination

The Multi-Criteria Evaluation (MCE) techniques to create proficiency levels to grow rubber, correspond to the combination of the AHP and the Weighted Linear Combination (WLC), whose continuous criteria (factors) are standardized within a common numeric interval, and then, are combined through a weighted average (Hernández-Zaragoza et al., 2019 and Bustillos-Herrera et al., 2007). The hierarchical structure of criteria and sub-criteria used, is shown in the Figure 2.

Hierarchies between the criteria to be weighted, were defined with the support of specialized technicians, researchers and farmers involved with the cultivation of *H. brasiliensis*. Surveys were conducted and were applied to experts during the visits mainly in development and production sites. The opinion, preferences and judgments of 17 people were considered, including researchers in the rubber system-product, producers and specialized technicians. These opinions were collected through a survey according to what was described by Malczewski (1999) and Olivas G., U. E., Valdez L., J. R., Aldrete A., González G., M. de J., and Vera, G. (2007). In these, participants pointed out their level of precedence for one criterion or sub-criterion over the other, after the side-by-side and individual

Díaz J. J., et al. (2013) y Rojo M., G. E., et al. (2011). A partir de la definición de los requerimientos agroecológicos, se realizó una búsqueda en diferentes fuentes de las variables cartográficas digitales (mapas), las cuales se pueden observar en el Cuadro 1. Para fines del análisis, las coberturas de interés se agruparon en tres categorías: clima (temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima y precipitación); suelo (profundidad, textura, edafología); y topografía (altitud y pendiente).

De las coberturas definidas para realizar la modelación, se reclasificaron empleando cada uno de los intervalos correspondientes a los requerimientos agroecológicos del hule. El procedimiento se realizó en el ambiente de sistemas de información geográfica ArcMap® versión 10.6. Posteriormente, estas capas de información fueron utilizadas en el Proceso Analítico Jerarquizado (AHP).

Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y combinación lineal ponderada

Las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) para generar los niveles de aptitud para el cultivo del hule, corresponden a la conjunción del AHP y la combinación lineal ponderada (WLC), cuyos criterios continuos (factores) se estandarizan en un intervalo numérico común, y enseguida se combinan por medio de un promedio ponderado (Hernández-Zaragoza et al., 2019 y Bustillos-Herrera et al., 2007). La estructura jerárquica de los criterios y subcriterios utilizados se muestra en la Figura 2.

Las jerarquías entre los criterios por ponderar se definieron con el apoyo de técnicos especializados, investigadores y agricultores relacionados con el cultivo de *H. brasiliensis*. Se elaboraron encuestas exprofeso, las cuales se aplicaron a los expertos en visitas a los predios en desarrollo y producción, principalmente.

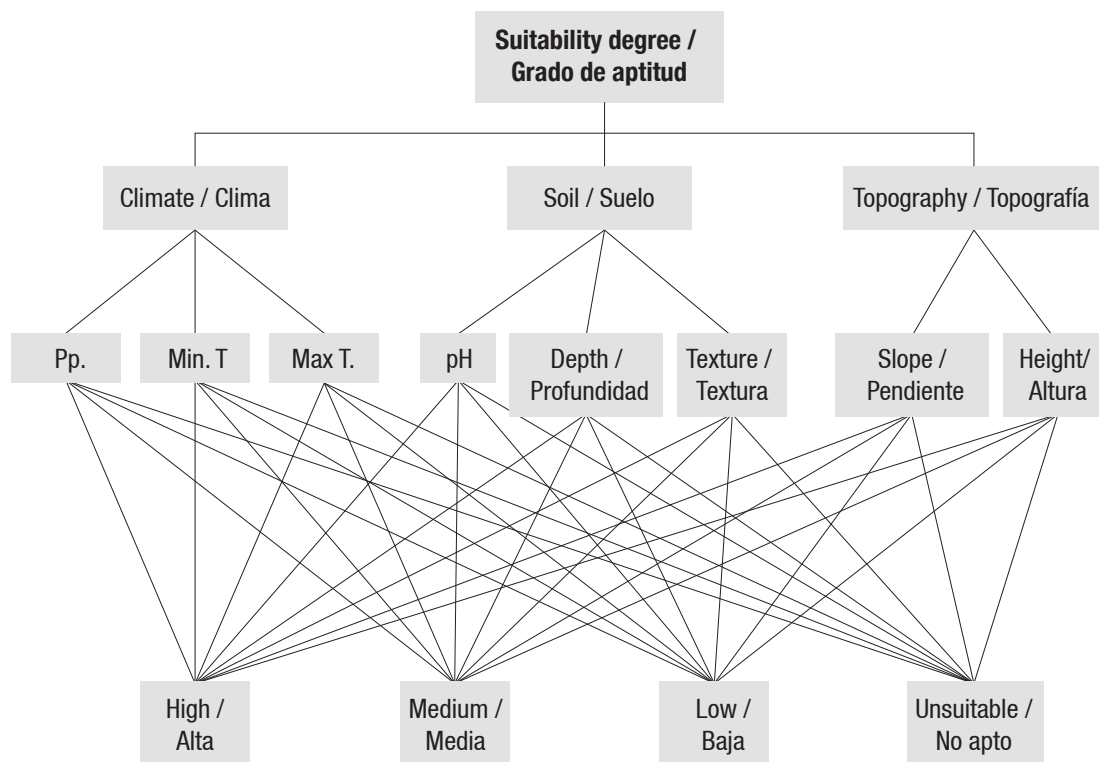


Figure 2. Hierarchical structure of criteria and sub-criteria.
Figura 2. Estructura jerárquica de criterios y subcriterios.

comparisons between the elements at one and two level of the hierarchy, by selecting a value between 1 and 9 of the fundamental scale (Saaty, 2001).

Weighted importance assignment

In order to analyze the questionnaires, these were turned into comparison matrices which were entered to the module: GIS Analysis/Decision Support/Weight of the program TerrSet® (Bravo-Bello, J. C., et al., 2020) and the respective weights for criteria and sub-criteria, were obtained, these came from each questionnaire of each participant. Once the total weight of each alternative was calculated, the AHP allowed to assess the inconsistency of the “decision-maker” at the time they shared their opinions.

Derived from the previous processing, the consistency index was also calculated to determine the robustness of the comparisons developed by the participants. From the result of this index for each questionnaire, only those whose result was equal to or less than 0.10 were considered (Saaty, 2001). Finally, in order to obtain the final weight of the criteria and sub-criteria, the arithmetic mean was used with the values from all questionnaires.

Se consideró la opinión, preferencias o juicios de 17 personas entre los que se encuentran investigadores en el sistema-producto hule, productores, y técnicos especializados. Dichas opiniones se recabaron a través de una encuesta de acuerdo con lo descrito por Malczewski (1999) y Olivas G., U. E., Valdez L., J. R., Aldrete A., González G., M. de J., y Vera, G. (2007). En ellas, los participantes indicaron su nivel de preferencia por un criterio o subcriterio sobre otro, luego de haber hecho comparaciones por pares entre los elementos de los niveles uno y dos de la jerarquía, esto de manera independiente, eligiendo un valor entre 1 y 9 de la escala fundamental (Saaty, 2001).

Asignación de importancia ponderada

Para analizar los cuestionarios, estos se transformaron en matrices de comparación que fueron ingresadas en el módulo GIS Analysis/Decision Support/Weight del programa TerrSet® (Bravo-Bello, J. C., et al., 2020) y se obtuvieron los pesos respectivos para los criterios y subcriterios provenientes de cada uno de los cuestionarios de cada participante. Una vez, calculado el peso total de cada alternativa, el AHP permitió evaluar la inconsistencia del “decisor” al momento de emitir sus juicios.

Application of the Multi-Criteria Evaluation (EMC)

The weighted coverage was built based on the methodology pointed out by Cruz B., G. M., and Sotelo R., D. E. (2013), for this, zoning maps were obtained, and these are the result of Boolean operations between the factors and each weight.

The maps generated are reclassified with the following categories: the highest suitability with a potential over 80 %, with a value of 3; the medium potential between 70-80 % with a value of 2; and the low potential corresponds to the 50-60 %, with value of 1. The areas with values lower to 50 % are omitted. Finally, the potential is limited only to the tropical humid climate and the inadequate areas for the rubber cultivation are excluded, the discarded areas were waterbodies, protected natural areas, forests, jungles and urban zones.

Results and discussion

The incorporation of the Multi-Criteria (MC) Evaluation in the decision making, offered different advantages over other methodologies to determine potential areas for rubber with the specific criteria used. For example, the criteria weighing shows the real process for the decision making in which, every factor to be considered has a different importance level (Asgarzadeh et al., 2014). Also, it allows the incorporation of important bibliographic information and accepted the participation of specialists in the different areas involved, according to Li Y., Y., Wang, X. R., and Huang, C. L. (2011) this is essential when the scientific literature is incomplete. The characteristics mentioned above, allowed to assess the alternatives with a qualification that reflects its suitability degree for this task. Finally, due to the mathematical support behind the MCE process, the level degree of subjectivity is reduced during the comparison process of criteria and sub-criteria involved (Osorio & Orejuela 2008).

Regarding the criteria implied in the variable selection, the opinion of the respondents pointed out that, for the conditions presented in Oaxaca, the most important ones are those of climatic type. The weights of each variable assigned through the hierarchical analysis process, are summarized in the Table 2.

For the experts in rubber cultivation, the most important criterion was the climate with a set of weights average of 0.24 for precipitation, followed by temperatures; from them, the medium temperature has the highest value (0.22); however, the other criteria, although showed low weights, are particularly

Derivado del procesamiento anterior se calculó, además, el índice de consistencia para determinar la solidez de las comparaciones realizadas por los participantes. A partir del resultado de dicho índice para cada cuestionario, solo se consideraron aquellos cuyo resultado fuera igual o menor a 0.10 (Saaty, 2001). Finalmente, para obtener el peso definitivo de los criterios y subcriterios; fue empleada la media aritmética con los valores provenientes de la totalidad de los cuestionarios.

Aplicación de la Evaluación Multicriterio (EMC)

Las coberturas ponderadas se construyeron con base en la metodología propuesta por Cruz B., G. M., y Sotelo R., D. E. (2013), por lo que se obtuvieron los mapas de zonificación, los cuales son el resultado de operaciones booleanas entre los factores y cada uno de sus pesos.

Los mapas generados se reclasifican con las siguientes categorías: la aptitud más alta con un potencial por encima de 80 %, con valor 3; el potencial medio de entre 70-80 % con valor 2; y el bajo potencial correspondiente a 50-60 %, con valor de 1. Las áreas con valores inferiores a 50 % se omiten. Finalmente, el potencial se limita, únicamente, al clima trópico húmedo y se excluyen las áreas inapropiadas para el cultivo de hule, las áreas que se descartaron fueron: cuerpos de agua, áreas naturales protegidas, bosques, selvas y zonas urbanas.

Resultados y discusión

La incorporación de la Evaluación Multicriterio (EMC) en la toma de decisiones aportó diferentes ventajas sobre otras metodologías para la determinación de áreas potenciales para el hule con los criterios específicos empleados. Por ejemplo, la ponderación de los criterios refleja el proceso real de toma de decisiones en el que cada factor a considerar tiene un grado de importancia diferente (Asgarzadeh et al., 2014). Además, permitió la incorporación de información bibliográfica importante y admitió la participación de especialistas en las diferentes áreas involucradas, de acuerdo con Li Y., Y., Wang, X. R., y Huang, C. L. (2011) es esencial cuando la literatura científica es incompleta. Las características anteriores permitieron evaluar las alternativas con una calificación que refleja su grado de aptitud para la tarea en cuestión. Por último, debido al soporte matemático que hay detrás del proceso EMC, se reduce el grado de subjetividad durante el proceso de comparación de los criterios y subcriterios involucrados (Osorio & Orejuela 2008).

Table 2. Final weights for each variable.
Cuadro 2. Pesos finales para cada variable.

Variables	Weight / Peso
Precipitation / Precipitación	0.24432
Medium temperature / Temperatura media	0.22378
Maximum temperature / Temperatura máxima	0.21690
Minimum temperature / Temperatura mínima	0.19740
Slope / Pendiente	0.04479
Altitude / Altitud	0.03277
Edaphology / Edafología	0.02133
Texture / Textura	0.01871

important for the process because, if some of them is not fulfilled, repercussions in the establishment of this cultivation could be severe.

In Oaxaca, the most important region is in Papaloapan, this consists of the districts of Tlaxiaco with 14 municipalities and six of Choapan. In nine of them, the rubber use is carried out: Santiago Jocotepec and Santiago Llaveo, in the district of Choapan; San Juan Bautista Tuxtepec, San José Chiltepec, San Juan Bautista Valle Nacional, San Lucas Ojitlán, Loma Bonita, Santa María Jacatepec and Acatlán de Pérez Figueroa, in the district of Tuxtepec (Martínez, Rojo, & Jasso, 2007). The municipality of San Juan Bautista Tuxtepec highlights with 48.5 % of producers; followed by San José Chiltepec, Santa María Jacatepec and San Juan Bautista Valle Nacional, which together have the 38.4 % of producers (SNIDRUS, 2011), this is in line with the results obtained in this study (Figure 3).

The territory per suitability levels for rubber plantations in the state of Oaxaca can be seen in the Table 3. The total surface of the areas with optimum potential is in the municipalities of Matías Romero Avendaño, with 24 267 ha; San Juan Lana, with 22 066 ha; and San Juan Bautista Tuxtepec, with 16 991 ha; followed by Santiago Jocotepec with 13 069 ha and Santiago Yaveo, with 11 106 ha, (Table 4).

At the second level, with a medium suitability, the municipalities with larger surface are San Juan Mazatlán, with 85 663 ha; Santa María Chimalapa, with 59 628 ha; Santiago Cotzocón, with 38 181 ha; and San Juan Guichicovi, with 37 965 ha. The low potential is the least represented. However, it is not excluded the possibility of plantations prospering in the municipalities belonging to this level, whose interval goes from 50 to 60 %. The municipality with a larger surface within this category is San Juan Mazatlán, with 40 403

Respecto a los criterios implicados en la selección de variables, la opinión de los encuestados señaló que, para las condiciones de Oaxaca, los de tipo climático son los más importantes. En el Cuadro 2 se resumen los pesos de cada variable asignados mediante el proceso de análisis jerarquizado.

Para los expertos en el cultivo del hule, el criterio más importante fue el clima con un promedio de pesos ponderados de 0.24 en precipitación, seguido por las temperaturas; de ellas, a la temperatura media le corresponde el valor más alto (0.22); sin embargo, el resto de los criterios, aunque presentaron pesos bajos, se consideran de especial importancia en el proceso, debido a que, si no se cumple con alguno de ellos, las repercusiones en el establecimiento del cultivo podrían ser drásticas.

En Oaxaca, la región más importante está en el Papaloapan, la cual está integrada por los distritos de Tuxtepec con 14 municipios y de Choapan, seis. En nueve de ellos, se lleva a cabo el aprovechamiento del hule: Santiago Jocotepec y Santiago Llaveo, en el distrito de Choapan; San Juan Bautista Tuxtepec, San José Chiltepec, San Juan Bautista Valle Nacional, San Lucas Ojitlán, Loma Bonita, Santa María Jacatepec y Acatlán de Pérez Figueroa, en el distrito de Tuxtepec (Martínez, Rojo, & Jasso, 2007). Destaca el municipio de San Juan Bautista Tuxtepec con 48.5 % de los productores; seguido en importancia por San José Chiltepec, Santa María Jacatepec y San Juan Bautista Valle Nacional, que en conjunto concentran a 38.4 % de los productores (SNIDRUS, 2011), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio (Figura 3).

La extensión por niveles de aptitud para plantaciones de hule en el estado de Oaxaca se observa en el Cuadro 3. La superficie total de zonas con potencial óptimo se concentra en los municipios Matías Romero

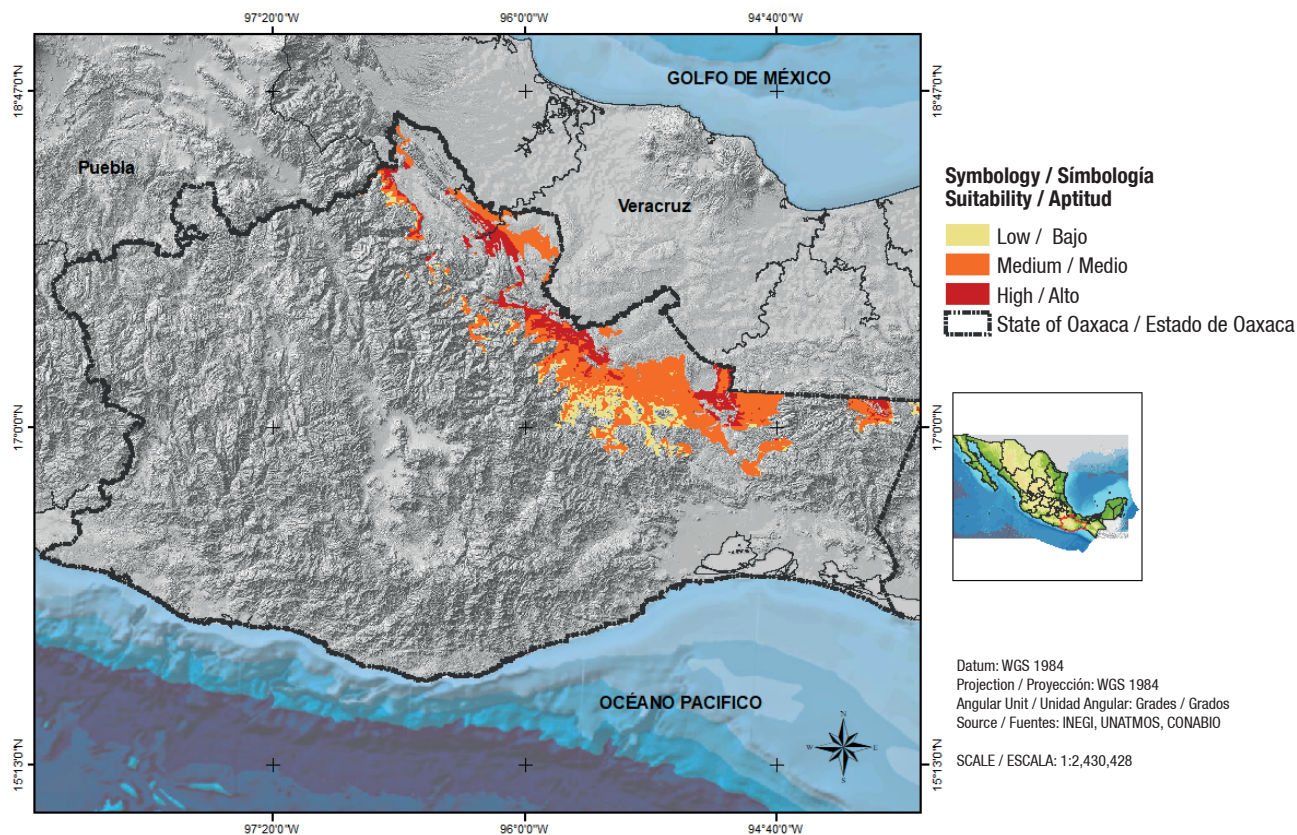


Figure 3. Potential zoning for the *Hevea brasiliensis* growing in Oaxaca.
Figura 3. Zonificación potencial para el cultivo de *Hevea brasiliensis* en Oaxaca.

Table 3. Total surface per suitability for rubber plantations in Oaxaca.
Cuadro 3. Superficie total por aptitud para plantaciones de hule en Oaxaca.

Suitability level / Nivel de aptitud	Hectares / Hectáreas
High / Alto	141 790.81
Medium / Medio	438 811.47
Low / Bajo	105 045.66

ha; followed by San Juan Cotzocón (17 161 ha) and San Juan Guichicovi (6 329 ha) (Table 4).

In Oaxaca, the predominance of potential areas at medium level to establish rubber plantations, matches with what is quoted by Díaz J. J., et al., (2013); although the values documented here are higher.

In 2015, it was estimated the existence of 3 978.50 ha planted with *H. brasiliensis* in the state of Oaxaca: where, the municipality with the largest planted area was San Juan Bautista Tuxtepec (960 ha), followed by San José Chiltepec (581 ha) and in third position, San Juan Bautista Valle Nacional (473 ha) (SIAP, 2020). During

Avendaño, con 24 267 ha; San Juan Lana, con 22 066 ha; y San Juan Bautista Tuxtepec, con 16 991 ha; seguidos por Santiago Jocotepec con 13 069 ha y Santiago Yaveo, con 11 106 ha, (Cuadro 4).

En el segundo nivel, con aptitud media, los municipios con mayor superficie son San Juan Mazatlán, con 85 663 ha; Santa María Chimalapa, con 59 628 ha; Santiago Cotzocón, con 38 181 ha; y San Juan Guichicovi, con 37 965 ha. El potencial bajo es el menos representado; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que prosperen plantaciones en los municipios pertenecientes a este nivel, cuyo intervalo varía de 50 a 60 %. El municipio con más superficie dentro de

Table 4. Total surface with terrain suitability in the municipalities of Oaxaca.
Cuadro 4. Superficie total de aptitud de terreno en los municipios de Oaxaca.

Municipality / Municipio	High (ha) / Alta (ha)	Medium (ha) / Media (ha)	Low (ha) / Baja (ha)
Acatlán de Pérez Figueroa	2 179.15	5 425.39	0.0
Asunción Ixtaltepec	0.0	1 787.58	0.0
Ayotzintepec	1 832.58	492.78	0.0
Cintalapa	4.08	0.00	0.64
Cosolapa	0.0	1 520.92	0.0
El Barrio de La Soledad	0.0	947.84	0.0
Eloxochitlán de Flores Magón	0.0	122.18	29.31
Guevea de Humboldt	0.0	193.71	1 280.70
Ixtlán de Juárez	485.53	5 111.38	1 021.78
Jesús Carranza	6.36	45.61	0.0
Loma Bonita	0.0	17 441.98	0.0
Matías Romero Avendaño	24 267.12	44 211.74	156.36
Otatitlán	0.0	0.22	0.0
Playa Vicente	2.63	5.82	0.0
San Andrés Teotilalpam	0.0	220.34	0.0
San Felipe Jalapa de Díaz	1 914.56	993.43	207.58
San Felipe Usila	834.40	1 478.60	1 075.73
San José Chiltepec	7 658.37	434.07	0.0
San José Independencia	1 125.89	351.89	0.0
San José Tenango	302.56	4 098.35	3 519.81
San Juan Bautista Tuxtepec	16 991.71	25 134.88	0.0
San Juan Bautista Valle Nacional	0.0	1 535.08	892.65
San Juan Comaltepec	35.88	2 386.22	1 452.06
San Juan Cotzocon	4 937.83	38 181.09	17 161.07
San Juan Guichicovi	3 442.70	37 965.30	6 329.45
San Juan Guichicovi	714.99	982.60	0.0
San Juan Lalana	22 066.03	19 858.42	644.21
San Juan Mazatlán	1 499.20	85 663.63	40 403.94
San Juan Petlapa	176.10	4 589.95	1 472.09
San Juan Yaee	0.0	667.39	0.02
San Lucas Camotlán	0.0	930.24	569.26
San Lucas Ojitlán	4 418.50	1 273.58	
San Miguel Chimalapa	0.0	1 360.13	297.66
San Miguel Quetzaltepec	0.0	778.54	2 219.47
San Miguel Soyaltepec	768.57	4,546.72	0.0

Table 4. Total surface with terrain suitability in the municipalities of Oaxaca. (cont.)
Cuadro 4. Superficie total de aptitud de terreno en los municipios de Oaxaca. (cont.)

Municipality / Municipio	High (ha) / Alta (ha)	Medium (ha) / Media (ha)	Low (ha) / Baja (ha)
San Pedro Ixcatlán	956.94	869.39	255.27
San Pedro Sochiapam	0.0	225.15	257.76
San Pedro Teutila	781.08	2 217.58	377.26
San Pedro Yolox	0.0	537.01	121.39
San Sebastián Tlacotepec	3.22	16.88	1.11
Santa María Alotepec	0.0	280.46	444.57
Santa María Chilchotla	4 831.97	4 874.51	913.17
Santa María Chimalapa	10 118.81	59 628.65	8 544.35
Santa María Guienagati	0.0	172.06	1 905.64
Santa María Jacatepec	2 763.12	232.83	0.0
Santa María Petapa	0.0	5 368.29	504.72
Santiago Camotlán	636.47	4 249.11	2 055.18
Santiago Choapam	1 851.48	6 712.84	1 584.64
Santiago Comaltepec	0.0	2 295.95	561.90
Santiago Ixcuintepec	0.0	4 354.46	2 002.14
Santiago Jocotepec	13 069.92	8 051.55	191.67
Santiago Lachiguiri	0.0	1 838.34	758.75
Santiago Lalopa	0.0	175.03	81.30
Santiago Sochiapan	0.0	1.46	0.0
Santiago Yaveo	11 106.05	20 945.59	1 066.98
Santiago Zacatepec	0.0	349.36	566.47
Santo Domingo Petapa	0.0	3 114.76	3288.31
Santo Domingo Tehuantepec	0.0	1 409.68	140.29
Tezonapa	7.02	5.01	0.0
Totontepec Villa de Morelos	0.0	0.63	454.61
Villa Talea de Castro	0.0	147.26	234.41
Total	141 790.81	438 811.47	105 045.66

subsequent field tours, 30 rubber plantations were geo-referenced in the municipalities of San Juan Bautista Tuxtepec and San José Chiltepec (Figure 4), this, in order to validate the estimations of potential areas.

In general, for the states of Veracruz, Oaxaca, Chiapas and Tabasco, about 1 969 884 ha with potential to grow rubber, were calculated, however, the largest planted area in 2016, was 29 034.18 ha in these four states and, for 2019, it was of 28 112.10 (SIAP, 2020). This is, there is a great surface that can be used to implement plantations, because it satisfies soil and weather

esta categoría es San Juan Mazatlán, con 40 403 ha; le siguen en importancia San Juan Cotzocón (17 161 ha) y San Juan Guichicovi (6 329 ha) (Cuadro 4).

En Oaxaca, la predominancia de zonas potenciales con nivel medio para el establecimiento de plantaciones de hule coincide con lo citado por Díaz J. J., et al., (2013); aunque los valores que aquí se documentan son más altos.

En el año 2015 se estimaba la existencia de 3 978.50 ha plantadas con *H. brasiliensis* en el estado de Oaxaca;

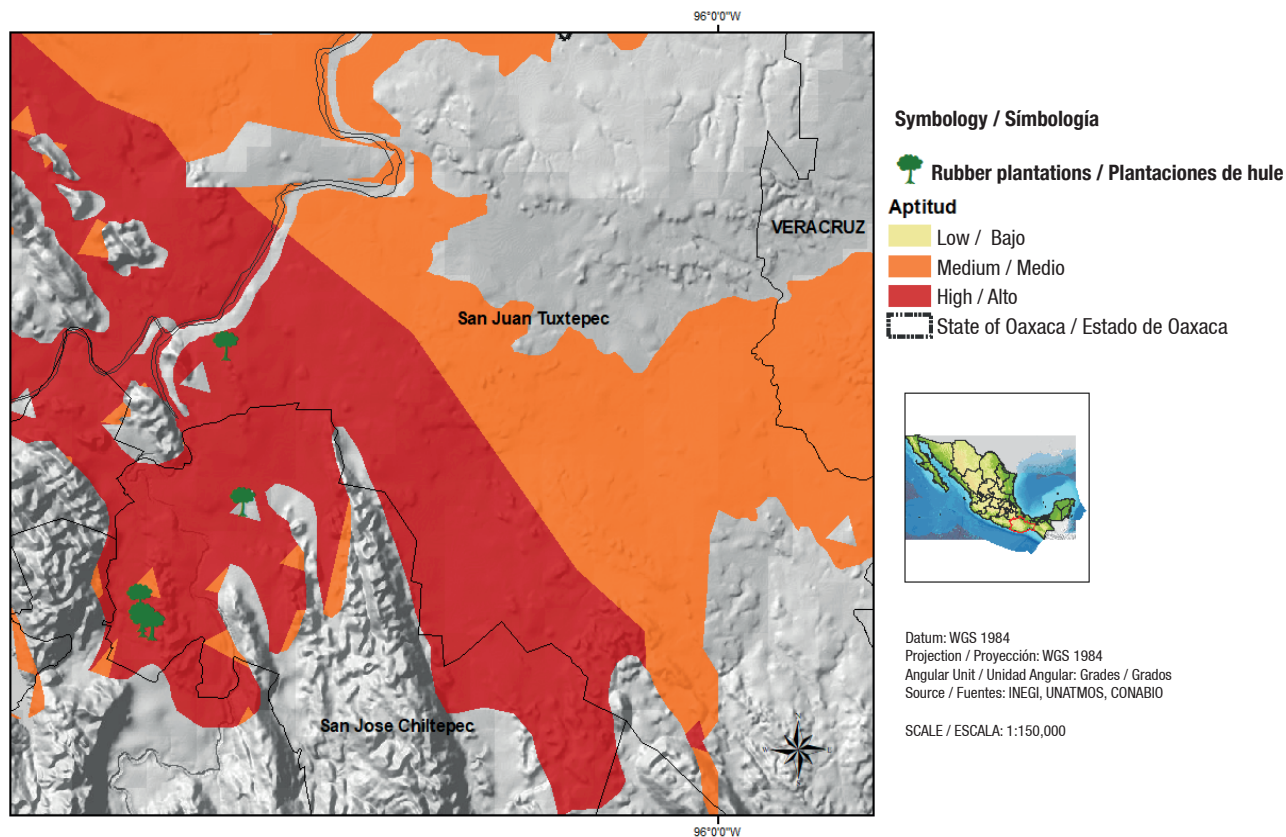


Figure 4. Rubber plantations located within the suitable areas.
Figura 4. Plantaciones de hule ubicadas dentro de áreas de aptitud.

requirements to optimally develop and produce *H. brasiliensis*. In this way, some municipalities that currently do not figure as producers, can be integrated into the cultivation, and in this way, contribute to increase production.

Among the studies about rubber cultivation in Mexico, those of Ortiz (2011) and Rueda S. A., Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. H., Ramírez O., G., & Molina C., A., (2016) highlight, these characterize the establishment and development of rubber plantations. Aguirre and Santoyo (2013) implemented a diagnosis of the rubber situation at global and national level, and about the dynamics in plantation innovation; they also make a proposal to manage the crop. Nowadays, plantations have spread to areas with tropical rain forests of Jalisco and Nayarit (Rueda et al., 2016), this has been possible with the spatial analysis of the land suitability, as presented in this study. In this regard, there are few studies focused on the land suitability for commercial forest plantations, the studies about tropical species with timber purposes, highlights (Bustillos-Herrera et al., 2007; Delgado et al., 2010).

donde, el municipio con mayor superficie plantada era San Juan Bautista Tuxtepec (960 ha), seguido por San José Chiltepec (581 ha) y en tercera posición, San Juan Bautista Valle Nacional (473 ha) (SIAP, 2020). Durante recorridos posteriores en campo se georreferenciaron 30 plantaciones de hule en los municipios de San Juan Bautista Tuxtepec y San José Chiltepec (Figura 4), esto con el fin de validar las estimaciones de las áreas potenciales.

En general, para los estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Tabasco se estiman alrededor de 1 969 884 ha con potencial para el cultivo del hule, no obstante, la superficie mayor plantada en el 2016, en estos cuatro estados, fue de 29 034.18 ha y para el 2019 fue de 28 112.10 en 2016 (SIAP, 2020). Es decir, existe una gran superficie susceptible de aprovecharse para implementar plantaciones, ya que satisfacen los requerimientos edafoclimáticos para el óptimo desarrollo y producción de *H. brasiliensis*. De tal manera que, algunos municipios que actualmente no figuran como productores se pueden incorporar al cultivo, y así, contribuir al incremento de la producción.

Finally, it is worth mentioning that the use of the Multi-Criteria Evaluation Method, together with the Geographic Information Systems, and in accordance with the rubber requirements, has a wide perspective to calculate the zones with a higher chance of success to grow rubber. However, the quality of the results depends largely on the cartographic information, the opinion of experts and ecological data of this specie, derived from the specialized literature review, of both, the place of origin of the taxon and the places where these plantations have been successful. In the same way, it must bear in mind that this method only considers the agroecological requirements, and it puts aside the economic and social aspects that also influences the cultivation, for this, it is necessary to include them in subsequent analysis.

Conclusions

In Oaxaca, the cultivation of *Hevea brasiliensis* has an optimum potential to be grown in the municipalities of Matías Romero, Juan Lana, San Juan Bautista Tuxtepec, Santiago Jocotepec and Santiago Yaveo. It is expected that the methodology used serves as a basis for similar applications with other species.

Acknowledgments

The Programa de Fomento a la Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) is thanked for financing the development of this study, that is part of the project “Actualización y transferencia de un paquete tecnológico para el cultivo del hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en el trópico húmedo mexicano”. Authors thank and recognize the three anonymous reviewers for their valuable commentaries and suggestions to substantially improve this manuscript.

End of English version

References / Referencias

- Asgarzadeh, M., Vahdati, K., Lotfi, M., Arab, M., Babaei, A.,..., Rouhani, G. (2014). Plant selection method for urban landscapes of semi-arid cities (a case study of Tehran). *Urban Forestry & Urban Greening*, 13: 450-458. Doi: 10.1016/j.ufug.2014.04.006
- Aguirre R., C. E., & Santoyo C., V. H. (2013). *El cultivo del árbol del hule (Hevea brasiliensis Muell. Arg.): avances y retos en la gestión de la innovación*. Primera edición. Colección Trópico Húmedo. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 133 pp.

Entre las investigaciones del cultivo del hule en México sobresalen el de Ortiz (2011) y Rueda S. A., Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. H., Ramírez O., G., & Molina C., A., (2016), quienes caracterizan el establecimiento y desarrollo de plantaciones de hule. Aguirre y Santoyo (2013) desarrollaron un diagnóstico de la situación del hule a nivel mundial y nacional, así como de la dinámica en la innovación de plantaciones; además hacen una propuesta para el manejo del cultivo. En la actualidad, las plantaciones se han extendido a las zonas con bosques tropicales húmedos de Jalisco y Nayarit (Rueda et al., 2016), lo cual se ha logrado mediante el análisis espacial de la aptitud del terreno, tal y como se presenta en este estudio. Al respecto, son pocos los trabajos enfocados a la aptitud de la tierra para plantaciones forestales comerciales destacan principalmente estudios de especies tropicales con fines maderables (Bustillos-Herrera et al., 2007; Delgado et al., 2010).

Por último, cabe mencionar que el empleo del Método de Evaluación Multicriterio en conjunto con Sistemas de Información Geográfica, y en función de los requerimientos de hule tiene una perspectiva amplia para estimar las zonas con mayor probabilidad de éxito para el cultivo del hule. No obstante, la calidad de los resultados depende, en gran medida, de la información cartográfica, la opinión de expertos y de los datos ecológicos de la especie, derivados de la revisión de literatura especializada, tanto del lugar de origen del taxón como de los sitios en donde han sido exitosas las plantaciones. De igual manera, se debe tener en cuenta que este método solo toma en cuenta los requerimientos agroecológicos y deja a un lado los aspectos sociales y económicos, que también influyen en el cultivo, por lo que es necesario incluirlos en análisis posteriores.

Conclusiones

En Oaxaca, el cultivo de *Hevea brasiliensis* tiene potencial óptimo para su cultivo en los municipios de Matías Romero, Juan Lana, San Juan Bautista Tuxtepec, Santiago Jocotepec y Santiago Yaveo. Se espera que la metodología empleada sirva de base para aplicaciones similares con otras especies.

Agradecimientos

Se agradece al Programa de Fomento a la Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) por el financiamiento para el desarrollo del presente trabajo que formó parte del proyecto “Actualización y transferencia de un paquete tecnológico para el cultivo del hule

- Bravo-Bello, J. C., Martínez-Trinidad, T., Romero-Sanchez, M. E., Valdez-Lazalde, J. R., & Benavides-Meza, H. (2020). The analytic hierarchy process for selection of suitable trees for Mexico City. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 13(6), 541-547. doi: 10.3832/ifer3481-013
- Brunelli, M. (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. SpringerBriefs in Operations Research. Aalto University, Helsinki, Finland. 83 pp.
- Bustillos-Herrera J. A., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete A., & González-Guillén. M. (2007). Aptitud de terrenos para plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): definición mediante el proceso de análisis jerarquizado y SIG. *Agrociencia*, 41(7), 787-796.
- Ceballos S., A., & López B. J. (2003). Delineation of suitable areas for crops using multi-criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central México. *Agriculture Systems*, (77), 117-136. doi:10.1016/S0308-521X(02)00103-8
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2016). *Principales especies no maderables establecidas en plantaciones forestales comerciales por entidad federativa en el periodo 2000-2014*. Paquete Técnico, CONAFOR. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/930Hevea%20brasiliensis.pdf>
- Cruz B., G. M., & Sotelo R., D. E. (2013). Coupling Spatial Multi attribute Analysis and Optimization to Identify Reforestation Priority Areas. *Mountain Research and Development*, 33(1): 29-39. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-12-00085.1
- De Dios C. O., Leshner G., J. M., Álvarez M. I., Molina M., R. F., & Jiménez G. F. (2015). La importancia de la detección de la variación somaclonal en el árbol del hule. *Kuxulkab'*, 21(40), 5-10. doi:10.19136/kuxulkab.a21n40.989
- Delgado C., C. E., Valdez L., J. R., Fierros G., A. M., de los Santos P., H. M., & Gómez G., A. (2010). Aptitud de áreas para plantaciones de eucalipto en Oaxaca y Veracruz: proceso de análisis jerarquizado vs. álgebra booleana. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 123-133. doi: 10.29298/rmcf.v1i1.660
- Díaz J. J., Aguirre R. C., & Rendón M. R. (2013). Estimación de cosecha del hule. En A. J. Aguilar Á. J y V. H. Santoyo C., Estimación de rendimientos en el sector agropecuario. Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM-Porrúa. Chapingo, México. 206 pp.
- Díaz P., G., Guajardo P., R. A., Medina G., G., Sánchez C., I., Soria R., J.,..., Ruíz C., J. A. (2012). *Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México*. Publicación especial número 8. Centro de Investigación Regional Golfo Centro, INIFAP. Cotaxtla, Veracruz. 139 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). (1978). *Report on the agroecological Zones Project. Methodology and Results for Africa*. World Soil Resources Report 40. FAO. Rome, Italy. 127 pp.
- Fernández E., A., Romero C., R., & Zavala H., J. (2012). Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes. Volumen 1. Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Recuperado de <http://atlasclimatico.unam.mx/ACM/#24>
- Flores A., E., & Moreno S., F. (1994). Potencial productivo para el establecimiento de plantaciones forestales de *Pinus radiata* en el Estado de México. En B. Arteaga, M. A. Musálem. (Eds.). Memoria de la IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. 19 al 21 de julio. México, D. F., México. pp. 143-150.
- Hernández S., J. R., Bollo M., M. Méndez L., A. P., Onagy D., E., Zorrilla R., M., & Ordaz, H. A. (2020). Aptitud sectorial para el desarrollo forestal: consideraciones en la ordenación general del territorio mexicano. *Cuadernos Geográficos*, 59(1), 32-53. doi:10.30827/cuadgeo.v59i1.8079
- Hernández-Zaragoza, P., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete, A., & Martínez-Trinidad, T. (2019). Evaluación multicriterio y multiobjetivo para optimizar la selección de áreas para establecer plantaciones forestales. *Madera y Bosques*, 25(2). DOI:10.21829/myb.2019.2521819
- García, E. - CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), (1998). 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Gonçalves, P. de S., Ortolani, A., & Cardoso, M. (1997). *Melhoramento genético da seringueira: uma revisão*. Documentos IAC 54. Campinas-SP, Brazil. 55 p.
- García N. H., García R., D. R., Moreno S., R., López B., J., & Villers R., M. L. (2001). Enfoques Fuzzy y Booleano convencional para clasificar la aptitud agrícola de las tierras. *Agricultura Técnica en México*, 27(2): 107-118.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2015a). Conjunto de datos vectoriales. Obtenido de Uso del suelo y Vegetación, escala 1:250000. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/ usosuelo/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2015b). *Guía para la interpretación de Cartografía Edafológica*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2008). Conjunto de datos Vectoriales. Obtenido de Unidades Climáticas escala 1:1000000. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/infoescala.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2007. Modelo Digital de Elevación, Escala 1:50000.

Fin de la versión en español

- Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/metadatos/ntm.aspx?s=geo&c=2374>
- Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). Edafología. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Kerche-Silva, L. E., Cavalcante, Dalita, G. S. M., & Job, A. E. (2017). Natural Rubber Latex Biomaterials in Bone Regenerative Medicine. *Biomaterials in Regenerative Medicine*. IntechOpen Book Series. doi: 10.5772/intechopen.69855.
- Li Y. Y., Wang, X. R., & Huang, C. L. (2011). Key street tree species selection in urban areas. *African Journal of Agricultural Research*, 6(15): 3539-3550. doi: 10.5897/AJAR11.461
- López-Upton, J., Valdez-Lazalde, J. R., Ventura-Ríos, A., Vargas-Hernández, J. J., & Guerra-de-la-Cruz, V. (2015). Extinction Risk of *Pseudotsuga Menziesii* Populations in the Central Region of Mexico: An AHP Analysis. *Forests*, 6(5): 1598-1612. doi: 10.3390/f6051598
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley. Inc. Ontario, Canadá. 392 pp.
- Martínez R. R., Rojo M., G., & Jasso M., J. (2007). Análisis del crecimiento y producción de látex en plantaciones forestales comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) en el estado de Oaxaca, México. *Ra Ximhai*, 3(2): 565-578.
- Moctezuma L., G. (2019). Evaluación financiera y de potencial productivo del paquete tecnológico para el establecimiento de *Hevea brasiliensis* (willd. ex A. Juss) Müell. Arg. en Tabasco. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44:128-137.
- Olivas G., U. E., Valdez L., J. R., Aldrete A., González G., M. de J., & Vera, G. (2007). Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: Definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4): 411-419.
- Ortiz, H. E. (2011). *Paquete Tecnológico del Hule (Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). Veracruz, México. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 22 pp. Recuperado de http://www.inifap.gob.mx/Documents/inicio/paquetes/hule_establecimiento.pdf
- Osorio G., J. C., & Orejuela C. J. P. (2008). Analytic hierarchic process and multicriteria decision making. Application example. *Scientia et Technica*, 14(39): 247-252.
- Pham, M., Vu, D., Shah, S., Nguyen, Q., Nguyen, T.,..., Nguyen, V. (2021). Evaluation of land suitability for *Cunninghamia konishii* Hayata (Cupressaceae) planting in Vietnam. *Geography, Environment, Sustainability*, 14(2):63-73. Doi: 10.24057/2071-9388-2020-218
- Pineda-Jaimes, N. B., Bosque-Sendra, J., Gómez-Delgado, M., Franco-Plata, R., Antonio-Némiga, X., & Manzano-Solis, L. R. (2012). Determination of optimal zones for forest plantations in the State of Mexico using multi-criteria spatial analysis and GIS. *Journal of Geographic Information System*, 4(3): 204-218. doi: 10.4236/jgis.2012.43025
- Ray, D., Behera, M. D., & Jacob, J. (2018). Evaluating Ecological Niche Models: A Comparison Between Maxent and GARP for Predicting Distribution of *Hevea brasiliensis* in India. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.* 88, 1337-1343. Doi:10.1007/s40011-017-0869-5
- Rojo M., G. E., Martínez R., R., & Jasso M., J. (2011). *El cultivo del hule en México*. (Primera ed.). Universidad Autónoma Indígena de México. El Fuerte, Sinaloa, México. 334 pp.
- Rueda S. A., Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. H., Ramírez O., G., & Molina C., A. (2016). *Guía técnica para el establecimiento y manejo de plantaciones del cultivo del hule (Hevea brasiliensis) en Jalisco y Nayarit*. Folleto Técnico Núm. 2. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, SAGARPA-INIFAP. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 67 pp.
- Sanchez, P. A., Palma, Ch. A., & Buolb, S. W. (2003). Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114 (3): 157-185. doi:10.1016/S0016-7061(03)00040-5
- Saaty, T. L. (2001). The Analytic Network Process. En T. L. Saaty and L. G. Vargas (Eds.). *Decision Making with the Analytic Network Process*. Springer US. New York, NY, USA. pp. 1-26.
- Santé R. I., & Crecente M. R. (2005). Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. *Geofocus*, 5: 40-68.
- Shultes R. E., & Raffauf, R. F. (2009). La selva sanadora: plantas medicinales y tóxicas del noreste del Amazonas. *Revistas de Estudios Sociales*, 32: 126-142.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria). (2020). Anuario Estadístico de la producción Agrícola. Obtenido de Cierre de la producción agrícola por estado. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/
- SNIDRUS (Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2011). El cultivo del Hule. Datos Básicos 2011. Oaxaca: Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Oaxaca. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/92646/Cuadros_tabulares_2011.compressed.pdf
- UNIATMOS (Unidad de Información para las Ciencias Atmosférica y Ambientales). (2019). Atlas Climático Digital de México. Recuperado de <http://atlasclimatico.unam.mx/RUOA/servmapas>
- Van Ranst E., Tang H., Groennemans R., & Sinthurath S. (1996). Application of Fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. *Geoderma*, 70(1): 1-19.
- Wright, L. E., Zitzmann, W., Young, K., & Googins, R. (1983). LEA—agricultural land evaluation and site assessment. *Journal of Soil and Water Conservation*, 38 (2): 82-86.

EN

Parasitological response of hair sheep to an experimental infection with gastrointestinal nematodes.

ES

Respuesta parasitológica de ovinos de pelo a una infección experimental con nematodos gastrointestinales

Rubén Morteo-Gómez¹ †; Glaforo Torres-Hernández^{1*}; Roberto González-Garduño²; Carlos Miguel Becerril-Pérez¹; Juan Manuel González-Camacho¹; Pablo Díaz-Rivera³; Jaime Gallegos-Sánchez¹; Javier Arece-García⁴

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, C. P. 56230 Montecillo, Edo. de México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria Sursureste, Teapa, Tab.

³Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Tepetates, Ver.

⁴Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Central España Republicana, Matanzas, Cuba.

*Corresponding author:

glatohe@colpos.mx

Orcid: 0000-0002-0479-1191

Received: September 2, 2021 /

Accepted: November 1, 2021

DOI:

10.5154/r.rchsat.2021.02.04

Abstract

The response of Pelibuey (P), Blackbelly (BB) and Dorper x Pelibuey (DxP) lambs to an experimental infection with gastrointestinal nematodes (GIN) was studied. Twenty-one two-month-old P, 15 three-month old BB, and 14 two-month-old DxP lambs, with live weights (LW) of 12.0±3.2, 13.6±3.9, y 13.0±3.6 kg, respectively, were used. The experiment was carried out in two stages of 30 days each; at the first stage, the lambs were grazing, while in the second one they were confined. At both stages, the lambs were infected with 3,000 larvae of a mixture of gastrointestinal nematodes (L₃). Every seven days, fecal samples were taken to count the number of eggs per gram of feces (EPG) as well as blood samples to measure packed cell volume (PCV); in addition, their LW, body condition (BC), and color of ocular mucous (COM) were assessed. The BB and DxP lambs had the highest fecal egg counts (5,259±654 and 5,515±654 EPG, respectively), while the P the lowest (3,252±515, P<0.01). For the PCV, the most affected (P<0.01) were the BB lambs (0.257±0.005), because the P and DxP lambs had higher values (0.281±0.004 and 0.275±0.005). The resistance of P lambs to GIN was superior to that of BB and DxP lambs.

Key words: Gastrointestinal nematodes, *Haemonchus contortus*, humid tropic, live weight.

Resumen

Se estudió la respuesta de corderos Pelibuey (P), Blackbelly (BB) y Dorper x Pelibuey (DxP) a una infección experimental con nematodos gastrointestinales (NGI). Se utilizaron 21 corderos P de dos meses de edad, 15 BB de tres meses de edad, y 14 DxP de dos meses de edad, con pesos vivos (PV) de 12.0±3.2, 13.6±3.9, y 13.0±3.6 kg, respectivamente. El experimento se efectuó en dos etapas de 30 días cada una, la primera en pastoreo y la segunda en confinamiento. En ambas etapas, los corderos se infectaron con 3,000 larvas (L₃) de una mezcla de NGI. Cada siete días se recolectaron muestras de heces para contar el número de huevos por gramo de heces (HPG)



Please cite this article as follows (APA 6): Morteo-Gómez, R., Torres-Hernández, G., González-Garduño, R., Becerril-Pérez, C. M., González-Camacho, J. M., Díaz-Rivera, P., Gallegos-Sánchez, J. & Arece-García, J. (2021). Parasitological response of hair sheep to an experimental infection with gastrointestinal nematodes. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 1(2), 41-55. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsat.2021.02.04>

y sangre para medir el volumen celular aglomerado (VCA), además de registrar su PV, condición corporal (CC) y la coloración de la mucosa ocular (CMO). Los corderos BB y DxP tuvieron mayores conteos fecales ($5,259 \pm 654$ y $5,515 \pm 654$ HPG), mientras que los P, los menores ($3,252 \pm 515$, $P < 0.01$). En el VCA, los corderos más afectados ($P < 0.01$) fueron los BB (0.257 ± 0.005), ya que los P y DxP tuvieron mayores valores (0.281 ± 0.004 y 0.275 ± 0.005). La resistencia de los corderos P a los NGI fue superior a la de los corderos BB y DxP.

Palabras clave: Nematodos gastrointestinales, *Haemonchus contortus*, trópico húmedo, peso vivo.

Introduction

The infection with gastrointestinal nematodes (GIN) is one of the main limiting factors for grazing sheep in the tropics (Torres-Acosta & Hoste, 2008). This infection is related to a high cost for using anthelmintics. Also, weight losses and occasionally, death of infected animals are recorded. Nowadays, control methods are focused on the minimal use of anthelmintics because their wide use has increased the resistance to deworming medications (Coles et al., 2006; Papadopoulos, 2008; Castro-Arnáez, Montenegro, Vargas-Leitón, Álvarez-Calderón, & Soto-Barrientos, 2021). A sustainable solution is the use of genetic resistance from the host to control the GIN and, in this sense, hair sheep breeds in the tropics, seem to have a unique genetic ability to resist or tolerate parasites (Notter, Andrew, & Zajac, 2003; Cruz-Tamayo et al., 2021). The genetic variation as a response of a parasite infection, has been documented within and between breeds (Aguerre et al., 2018), by taking into account most of the tropical and sub-tropical sheep, such as Barbados Blackbelly (Yazwinski, Goode, Moncol, Morgan, & Linnerud, 1979), Florida Native (Estrada-Reyes, Rae & Mateescu, 2021), Santa Cruz (Burke & Miller, 2004), Red Maasai (Baker, Mugambi, Audho, Carles, & Thorpe, 2004), Santa Inés (Amarante, Bricarello, Rocha, & Gennari, 2004), sheep from Canarias (González et al., 2008). These breeds are more resistant to GIN infections than those from temperate zones, for example, the Dorset and Rambouillet ones (Notter et al., 2003).

First signs related to genetic variation of sheep, in response of the GIN infection, are attributed to Ross (1932), who observed the resistance of sheep to infection. Some years later, Whitlock (1955) clearly defined the genetic variation in face of the challenge due to the GIN. Subsequently, several studies have been carried out in countries where anthelmintic resistance has been found, in order to seek a solution to this problem (Burke & Miller, 2004).

Introducción

La infección por nematodos gastrointestinales (NGI) constituye una de las principales limitantes en la producción de ovinos en pastoreo en los trópicos (Torres-Acosta & Hoste, 2008). Esta infección está asociada a un alto costo por el uso de antihelmínticos, además de que se registran pérdidas de peso y en algunos casos muerte de los animales infectados. Actualmente, los métodos de control se enfocan en el mínimo uso de los antihelmínticos debido a que su extenso uso ha aumentado la resistencia a los desparasitantes (Coles et al., 2006; Papadopoulos, 2008; Castro-Arnáez, Montenegro, Vargas-Leitón, Álvarez-Calderón, & Soto-Barrientos, 2021). Una solución sustentable es utilizar la resistencia genética del huésped para el control de los NGI y, en este contexto, las razas ovinas de pelo en los trópicos, parecen tener una habilidad genética única para resistir o tolerar a los parásitos (Notter, Andrew, & Zajac, 2003; Cruz-Tamayo et al., 2021). La variación genética en respuesta a una infección de parásitos ha sido documentada dentro y entre razas (Aguerre et al., 2018), involucrando a la mayor parte de ovinos tropicales y subtropicales, tales como Barbados Blackbelly (Yazwinski, Goode, Moncol, Morgan, & Linnerud, 1979), Florida Native (Estrada-Reyes, Rae & Mateescu, 2021), Santa Cruz (Burke & Miller, 2004), Red Maasai (Baker, Mugambi, Audho, Carles, & Thorpe, 2004), Santa Inés (Amarante, Bricarello, Rocha, & Gennari, 2004), ovinos de las Canarias (González et al., 2008). Estas razas son más resistentes a infecciones por NGI que las razas de regiones templadas como, por ejemplo, la Dorset y Rambouillet (Notter et al., 2003).

Los primeros indicios en relación con la variación genética del ovino en la respuesta a la infección por NGI se atribuyen a Ross (1932), quien observó la resistencia de ovinos a la infección. Años más tarde, Whitlock (1955) definió claramente la variación genética frente al desafío por NGI. Posteriormente se han efectuado varios estudios en países donde se ha encontrado

The search for resistant animals, recently, has included the determination of two mechanisms that participate in the nematode resistance: the innate resistance and the acquire one (Miller & Horohov, 2006), these are probably controlled by different genes (Benavides, Sonstegard, & Van Tassel, 2016). The innate resistance is manifested with the lower fecal egg of GIN counting during the first infection, while the acquired resistance occurs when young lambs are subjects at the beginning of the infection, but with a great ability to develop resistance as they face challenges (Roerber et al., 2011). The aim of the study was to compare three hair sheep genotypes to an experimental infection with gastrointestinal nematodes.

Methodological approach

Location of the experiment

The experiment was developed from April to July of 2016, within a sheep production unit located in the road to the “Ranchería Alvarado”, second section, municipality of Centro, Tabasco; 3.6 km from the junction of 25 km of the Villahermosa-Teapa Road. It is located at an altitude of 10 meters above sea level, with coordinates 17° 48' 21" latitude north and 92° 58'36" longitude west. The climate of the region is hot-humid with abundant rains in the summer and average annual temperature of 27.2 °C, with an average annual rainfall of 2,029.9 mm (CONAGUA, 2021).

Description of the experiment

Fifty male lambs were used: 21 two-month-old Pelibuey (P), 15 three-month-old Blackbelly (BB), and 14 two-month-old Dorper x Pelibuey (DxP), with live weights of 12.0±3.2, 13.6±3.9, and 13.0±3.6 kg, respectively. During the experiment, three lambs died (2 BB 1 DxP), at the end 21 P, 13 BB, and 13 DxP survived. Lambs were housed in a stable of 60 m², roofed with sheets of asbestos. The experiment was carried out in two stages of 30 days each (which was the maximum time that lambs were exposed to the parasite infection), with a health recovery period for lambs between stages of 30 days.

At the first stage, lambs were grazed in grasslands with common Bahia grass (*Paspalum notatum*) and were supplemented with 300 g·animal⁻¹·day⁻¹ of a commercial concentrate for sheep with 16 % of crude protein, and at the end of the experiment the ration was increased to 400 g·animal⁻¹·day⁻¹. Also, they were given water and mineral salt *ad libitum*.

The second stage was of full confinement with the same commercial feed mentioned above. At both

resistencia antihelmíntica, tratando de buscar una solución a este problema (Burke & Miller, 2004).

La búsqueda de animales resistentes ha incluido en las últimas fechas la determinación de los dos mecanismos que participan en la resistencia a los nematodos: la resistencia innata y la adquirida (Miller & Horohov, 2006), las cuales posiblemente están controladas por genes diferentes (Benavides, Sonstegard, & Van Tassel, 2016). La resistencia innata se manifiesta con el menor conteo fecal de huevos de NGI durante la primera infección, mientras que la resistencia adquirida ocurre cuando los corderos jóvenes son susceptibles al iniciarse la infección, pero con gran habilidad para desarrollar resistencia conforme se enfrentan a los desafíos (Roerber et al., 2011). El objetivo del estudio fue comparar tres genotipos de ovinos de pelo a una infección experimental con nematodos gastrointestinales.

Enfoque metodológico

Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo de abril a julio de 2016 en una unidad de producción ovina ubicada en la carretera que conduce a la “Ranchería Alvarado”, segunda sección, municipio de Centro, Tabasco; a 3.6 km del entronque del km 25 de la carretera Villahermosa-Teapa. Se localiza a una altitud de 10 msnm, con coordenadas 17° 48' 21" latitud Norte y 92° 58'36" longitud Oeste. El clima de la región es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano y temperatura media anual de 27.2 °C, con una precipitación promedio anual de 2,029.9 mm (CONAGUA, 2021).

Descripción del experimento

Se utilizaron 50 corderos machos: 21 Pelibuey (P) de dos meses de edad, 15 Blackbelly (BB) de tres meses de edad, y 14 Dorper x Pelibuey (DxP) de dos meses de edad, con pesos vivos de 12.0±3.2, 13.6±3.9, y 13.0±3.6 kg, respectivamente. En el transcurso del experimento murieron tres corderos (2 BB 1 DxP), quedando al final 21 P, 13 BB, y 13 DxP. Los corderos se alojaron en una galera de 60 m², techada con láminas de asbestos. El experimento se realizó en dos etapas de 30 días cada una (que fue el tiempo máximo que los corderos se expusieron a la infección parasitaria), con un periodo de recuperación de salud para los corderos entre etapas de 30 días.

En la primera etapa, los corderos salían a pastorear en praderas de pasto nativo remolino (*Paspalum notatum*) y se suplementaban con 300 g·animal⁻¹·día⁻¹ de un concentrado comercial para ovinos con 16 % de proteína

stages, lambs were experimentally infected (day 1) (orally) with a dose of 3,000 larvae from a mix of third instar larvae (L_3) of *Haemonchus contortus* and *Cooperia curticei* (85 % and 15 %, respectively). Each seven days, feces and blood samples were collected from each lamb, the body condition (BC) was recorded on a scale of 1 to 5 (Pollot & Kilkenny, 1976), the color of ocular mucous (COM) on a scale of 1 to 5 with the FAMACHA method (Van Wyk & Bath, 2002), and the live weight (LW); these variables were measured for both stages. Three days before each stage, all lambs were dewormed with Levamisole Hydrochloride (12 %, Zoetis, Mexico) with a dose of 7.5 mg·kg⁻¹ LW.

The feces samples were directly taken from the anus and the number of nematode eggs per gram of feces (EPG) were counted, with the use of the McMaster technique (Thienpont et al., 1986). In each sampling, all feces samples were grouped to grow them with the Curticelli method (Niec, 1968), to produce larvae L_3 and identify the existent nematode genus.

In order to determine the percentage of the packed cell volume (PCV), blood samples were taken by puncturing the jugular vein, with the use of Vacutainer tubes with EDTA as anticoagulant (Coffin, 1986) and capillary tubes were prepared to place them in a centrifuge (Rolco, model CH 24, Industria Argentina) during 5 minutes to 13,000 rpm.

Statistical analysis. An analysis of variance of repeated measurements in time with the use of the mixed model procedures of SAS (SAS, 2004) was carried out, in order to describe weekly changes in the EPG, the daily weight gain (DWG), the LW, the PCV, the COM, and the BC. The EPG variable was transformed into $[\ln(\text{EPG}+1)]$ to homogenize the variance and obtain an approach to the normal distribution. The statistical model used, considered the fixed effects of genotype, stage, time (as repeated effect), in addition to all the first order interactions:

$$Y_{ijklm} = \mu + G_i + \delta_{ij} + E_k + T_l + (G^*E)_{ik} + (G^*T)_{il} + (E^*T)_{kl} + \epsilon_{ijklm}$$

Where:

Y_{ijklm} = response variable (EPG, DWG, LW, PCV, COM, and BC).

G_i = effect of the i-th genotype (P, BB, and DXP).

δ_{ij} = random error of the lamb.

E_k = effect of the k-th stage (first, second).

T_l = effect of the l-th time (1, 15, 22, 30 days).

cruda, y al final del experimento se incrementó la ración a 400 g·animal⁻¹·día⁻¹. Además, se les proporcionaba agua y sal mineral *ad libitum*.

La segunda etapa fue de confinamiento total con el mismo alimento comercial indicado anteriormente. En ambas etapas los corderos fueron infectados (día 1) experimentalmente (vía oral) con una dosis de 3,000 larvas de una mezcla de *Haemonchus contortus* y *Cooperia curticei* (85 % y 15 %, respectivamente) en tercer estadio (L_3). Cada siete días se recolectaron muestras de heces y sangre de cada cordero, se registró la condición corporal (CC) en una escala de 1 a 5 (Pollot & Kilkenny, 1976), la coloración de la mucosa ocular (CMO) en una escala de 1 a 5 por el método FAMACHA (Van Wyk & Bath, 2002) y el peso vivo (PV); las mismas variables se midieron en ambas etapas. Tres días antes de cada etapa todos los corderos se desparasitaron con Clorhidrato de Levamisol (12 %, Zoetis, México) a dosis de 7.5 mg·kg⁻¹ PV.

Las muestras de heces se recolectaron directamente del recto y se contabilizó el número de huevos de nematodos por gramo de heces (HPG), usando la técnica de McMaster (Thienpont et al., 1986). En cada muestreo se agruparon todas las muestras de heces para cultivarlas por el método de Curticelli (Niec, 1968), para producir larvas L_3 e identificar los géneros de nematodos presentes.

Para determinar el porcentaje del volumen celular aglomerado (VCA) se tomaron muestras de sangre por punción de la vena yugular, utilizando tubos vacutainer con EDTA como anticoagulante (Coffin, 1986) y se prepararon tubos capilares para colocarlos en una centrífuga (Rolco, modelo CH 24, Industria Argentina) durante 5 minutos a 13,000 rpm.

Análisis estadístico. Se efectuó un análisis de varianza de medidas repetidas en el tiempo utilizando el procedimiento de modelos mixtos del SAS (SAS, 2004), para describir los cambios semanales en el HPG, la ganancia diaria de peso (GDP), el PV, el VCA, el CMO, y la CC. La variable HPG se transformó a $[\ln(\text{HPG}+1)]$ para homogeneizar la varianza y obtener una aproximación a la distribución normal. El modelo estadístico utilizado incluyó los efectos fijos de genotipo, etapa y tiempo (como efecto repetido), además de todas las interacciones de primer orden:

$$Y_{ijklm} = \mu + G_i + \delta_{ij} + E_k + T_l + (G^*E)_{ik} + (G^*T)_{il} + (E^*T)_{kl} + \epsilon_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = variable de respuesta (HPG, GDP, PV, VCA, CMO, y CC).

$(G^*E)_{ik}$ = effect of the genotype by stage interaction.

$(G^*T)_{il}$ = effect of the genotype by time interaction.

$(E^*T)_{kl}$ = effect of the stage by time interaction.

ε_{ijklm} = experimental error related to repetitions.

G_i = efecto del i -ésimo genotipo (P, BB, y DxP).

δ_{ij} = error aleatorio del cordero.

E_k = efecto de la k -ésima etapa (primera, segunda).

T_l = efecto del l -ésimo tiempo (1, 15, 22, 30 días).

$(G^*E)_{ik}$ = efecto de la interacción genotipo por etapa.

$(G^*T)_{il}$ = efecto de la interacción genotipo por tiempo.

$(E^*T)_{kl}$ = efecto de la interacción etapa por tiempo.

ε_{ijklm} = error experimental asociado a las repeticiones.

Results

The analysis of variance (Table 1) showed significant differences between genotypes ($P<0.01$) in the nematode eggs per gram of feces counting, PCV and body condition, while the time influenced all response variables ($P<0.01$). On the other side, a genotype x stage interaction effect was observed in the EPG, PCV, COM and BC; also, a genotype x time interaction was found ($P<0.01$) in the DWG and the LW; and the stage x time interaction affected ($P<0.01$) all variables, except EPG.

Table 1. Statistical significance (F values) for the variables number of eggs per gram of feces (EPG), average daily weight gain (DWG), live weight (LW), packed cell volume (PCV), color of ocular mucous (COM), and body condition (BC) of three genotypes of hair sheep.

Cuadro 1. Significancia estadística (valores de F) de las variables número de huevos por gramo de heces (HPG), promedio de ganancia diaria de peso (GDP), peso vivo (PV), volumen celular aglomerado (VCA), color de la mucosa ocular (CMO), y condición corporal (CC) de tres genotipos de ovinos de pelo.

Effect / Efecto	D.F. / G.L.	Variables / Variables					
		EPG / HPG	DWG / GDP	LW / PV	PCV / VCA	COM / CMO	BC / CC
Genotype (G) / Genotipo (G)	2	4.8**	1.69	2.76	6.91**	0.69	8.33**
Stage (E) / Etapa (E)	1	0.19	0.84	617.98**	3.30	201.23**	95.98**
G x E / G x E	2	10.56**	3.75	0.64	30.21**	7.10**	5.47**
Time (T) / Tiempo (T)	2	69.05**	12.22**	101.18**	65.11**	110.20**	12.68**
G x T / G x T	4	2.4	2.93**	2.47**	1.47	0.99	2.05
E x T / E x T	2	4.7	5.24**	10.39**	39.19**	50.94**	23.56**

** : ($P \leq 0.01$).

Fecal nematode egg counting

BB and DxP lambs had higher averages of EPG (5,259 ± 654 y 5,515 ± 654 EPG, respectively: Table 2), than P lambs (3,252 ± 515 EPG, $P<0.01$).

The elimination of EPG strongly increased from the day 22 (5,614 ± 521 EPG, $P<0.01$) and 30 post-inoculation (8,135 ± 521 EPG, $P<0.01$).

The behavior of each genotype was different for both stages developed. At the first stage, the BB lambs had high egg GIN counting (7,281±890 EPG), which decreased during the second stage (3,237±890 EPG, $P<0.01$). In the P lambs, the EPG countings were similar at both stages (3,541 ± 701 and 2,963 ± 701 EPG, for the first and second stage, respectively), while in the DxP lambs, the fecal egg counting was lower at the first stage (3,636 ± 890 EPG) and it increased at the second one (7,395±890 EPG, $P<0.01$, Figure 1).

Resultados

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias significativas entre genotipos ($P<0.01$) en el conteo fecal de huevos de nematodos, VCA y condición corporal, mientras que el tiempo influyó en todas las variables de respuesta ($P<0.01$). Por otra parte, se observó interacción del genotipo y la etapa en el HPG, VCA, CMO y CC; también se encontró interacción en el genotipo x tiempo ($P<0.01$) en la GDP y el PV; y la interacción etapa x tiempo afectó ($P<0.01$) a todas las variables, a excepción de HPG.

Conteo fecal de huevos de nematodos

Los corderos BB y DxP tuvieron promedios mayores de HPG (5,259 ± 654 y 5,515 ± 654 HPG, respectivamente; Cuadro 2), que los corderos P (3,252 ± 515 HPG, $P<0.01$).

Table 2. Mean ± standard error of the variables of number of eggs per gram of feces (EPG), daily weight gain (DWG), live weight (LW), packed cell volume (PCV) color of ocular mucous (COM), and body condition (BC) per genotype, stage and time in Pelibuey (P), Blackbelly (BB), and Dorper x Pelibuey (DxP) lambs.

Cuadro 2. Medias ± error estándar de las variables número de huevos por gramo de heces (HPG), ganancia diaria de peso (GDP), peso vivo (PV), volumen celular aglomerado (VCA, color de la mucosa ocular (CMO), y condición corporal (CC) por genotipo, etapa y tiempo en corderos Pelibuey (P), Blackbelly (BB), y Dorper x Pelibuey (DxP).

	EPG / HPG	DWG (kg) / GDP (kg)	LW (kg) / PV (kg)	PCV / VCA	COM / CMO	BC / CC
Genotype / Genotipo						
P	3,252±515 ^b	0.108±0.011 ^a	16.5±0.61 ^a	0.281±0.004 ^a	3.3±0.06 ^a	2.2±0.07 ^b
BB	5,259±654 ^a	0.116±0.014 ^a	18.4±0.78 ^a	0.257±0.005 ^b	3.4±0.08 ^a	2.2±0.07 ^b
DxP	5,515±654 ^a	0.140±0.014 ^a	18.5±0.78 ^a	0.275±0.005 ^a	3.4±0.08 ^a	2.6±0.09 ^a
Stage / Etapa						
First / Primero	4,819±482 ^a	0.114±0.011 ^a	14.2±0.45 ^b	0.267±0.003 ^a	2.9±0.05 ^b	2.1±0.06 ^b
Second / Segundo	4,531±482 ^a	0.129±0.011 ^a	21.4±0.45 ^a	0.275±0.003 ^a	3.9±0.05 ^a	2.7±0.06 ^a
Time / Tiempo						
Day 1 / Día 1	-----	-----	15.8±0.44 ^d	0.300±0.004 ^a	4.0±0.05 ^a	2.3±0.57 ^c
Day 15 / Día 15	277±521 ^a	0.182±0.01 ^a	17.8±0.44 ^c	0.283±0.004 ^b	3.5±0.05 ^b	2.5±0.57 ^a
Day 22 / Día 22	5,614±521 ^b	0.069±0.01 ^b	18.3±0.44 ^b	0.259±0.004 ^c	3.2±0.05 ^c	2.4±0.57 ^b
Day 30 / Día 30	8,135±521 ^c	0.114±0.01 ^c	19.2±0.44 ^a	0.242±0.004 ^d	2.9±0.05 ^d	2.3±0.57 ^c

a,b,c,d: different letters between columns differ ($P<0.05$). / a,b,c,d: literales distintas entre columnas difieren ($P<0.05$).

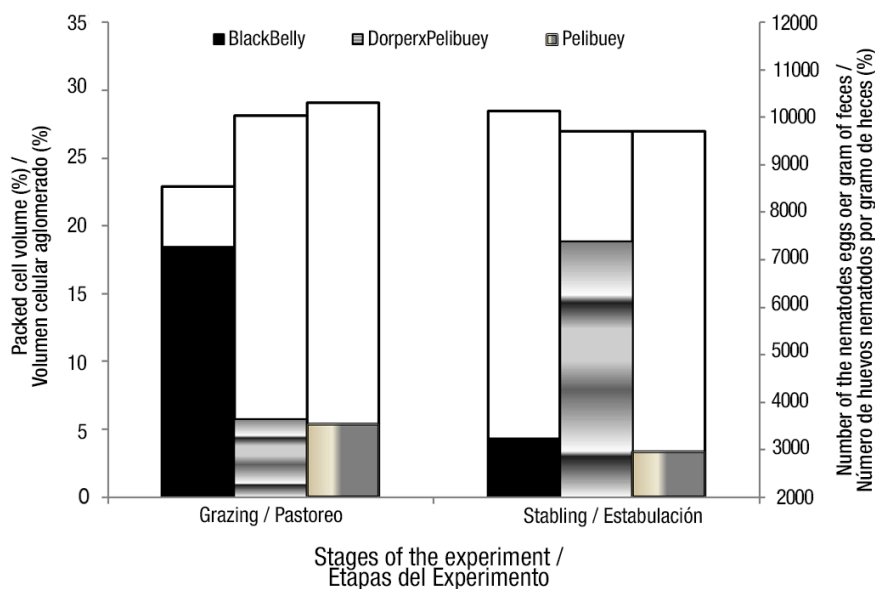


Figure 1. Effect of the genotype x stage interaction in the number of eggs per gram of feces (columns with color) and the percentage of the packed cell volume (transparent columns).

Figura 1. Efecto de la interacción genotipo x etapa en el número de huevos por gramo de heces (columnas con color) y en el porcentaje del volumen celular aglomerado (columnas transparentes).

Packed cell volume (PCV)

The BB lambs were the most affected during the grazing stage (22.9 ± 0.6 %, $P < 0.01$). However, during the second stage (stabling) they got better (28.5 ± 0.6 %, $P < 0.01$), and even overcame P and DxP lambs (27.0 ± 0.5 and 27.0 ± 0.6 %, respectively, background columns of the Figure 1).

The PCV was high on the day 1 of the experiment (30.0 ± 0.4 %, $P < 0.01$), but it decreased with the passing of the days (28.3 ± 0.4 , 25.9 ± 0.4 and 24.2 ± 0.4 %, for the days 15, 22 and 30, respectively, $P < 0.01$). Regarding the stage x time interaction, a decrease in the PCV was observed as time passed at both stages.

Daily weight gain (DWG)

The DWG was high during the first 15 days (0.182 ± 0.01 kg, $P < 0.01$), it decreased for the day 22 (0.069 ± 0.01 kg, $P < 0.01$) and increased (Table 2) for the day 30 (0.114 ± 0.01 kg, $P < 0.01$).

Most of the DWG, during the first 15 days ($P < 0.01$) was observed in the DxP lambs (0.229 ± 0.03 kg) although the BB and P lambs also had high weight gains (0.174 ± 0.03 , 0.142 ± 0.02 kg). Subsequently, the DWG decreased ($P < 0.01$) for the BB and P lambs (0.036 ± 0.03 , 0.049 ± 0.02 kg) and the DxP crossbreed maintained a high DWG (0.121 ± 0.03 kg), and for the day 30, it increased ($P < 0.01$) in BB and P lambs (0.139 ± 0.03 and

La eliminación de HPG se incrementó marcadamente a partir del día 22 ($5,614 \pm 521$ HPG, $P < 0.01$) y 30 post-inoculación ($8,135 \pm 521$ HPG, $P < 0.01$).

El comportamiento de cada genotipo fue diferente en las dos etapas realizadas. En la primera etapa, los corderos BB tuvieron altos conteos de huevos de NGI ($7,281 \pm 890$ HPG), los cuales disminuyeron en la segunda etapa ($3,237 \pm 890$ HPG, $P < 0.01$). En los corderos P, los conteos de HPG fueron similares en ambas etapas ($3,541 \pm 701$ y $2,963 \pm 701$ HPG, para la primera y segunda etapa, respectivamente), mientras que en los corderos DxP el conteo fecal fue menor en la primera etapa ($3,636 \pm 890$ HPG) y se incrementó en la segunda ($7,395 \pm 890$ HPG, $P < 0.01$, Figura 1).

Volumen celular aglomerado (VCA)

Los corderos BB fueron los más afectados durante la etapa en pastoreo (22.9 ± 0.6 %, $P < 0.01$). Sin embargo, en la segunda etapa (estabulación) se recuperaron (28.5 ± 0.6 %, $P < 0.01$), superando, incluso, a los corderos P y DxP (27.0 ± 0.5 y 27.0 ± 0.6 %, respectivamente, columnas del fondo de la Figura 1).

El VCA fue alto en el día 1 del experimento (30.0 ± 0.4 %, $P < 0.01$), pero fue disminuyendo con el transcurso de los días (28.3 ± 0.4 , 25.9 ± 0.4 y 24.2 ± 0.4 %, para los días 15, 22 y 30, respectivamente, $P < 0.01$). Con respecto a la interacción etapa x tiempo, se observó una

0.132±0.02 kg, respectively) and kept decreasing in DxP lambs (0.070±0.03 kg, Figure 2).

In the stage x time interaction, the DWG was high during the first 15 days (0.190±0.02 kg) of the first stage, but as the days passed, it decreased (0.085±0.02 and 0.067±0.02, for the day 22 and 30, respectively, $P<0.01$); while for the second stage, the DWG was high during the first 15 days (0.173±0.02 kg), it decreased for the day 22 (0.053±0.02 kg) and it tended to improve for the day 30 (0.160±0.02 kg, $P<0.01$).

Live weight (LW)

During the first stage, lambs were younger and, therefore, had lower weights (14.2±0.45 kg) than during the second stage (21.4±0.45 kg, Table 2).

The LW increased ($P<0.01$) in the three genotypes as the time passed (Figure 3), and, despite they were parasitized, lambs continued their development, although, it was higher during the first 15 days after the parasitic infection. DxP and BB lambs showed a higher LW (19.9 and 19.7 kg, respectively) compared with the P lambs (17.8 kg). Regarding the stage x time interaction, the LW was increasing ($P<0.01$) as the time passed during both stages (12.8±0.47, 14.1±0.47, 14.7±0.47 and 15.2±0.47 kg, for the days 1, 15, 22 and 30, respectively, of the first stage; and 18.9±0.47, 21.5±0.47, 21.8±0.47 and 23.1±0.47 kg, for the days 1, 15, 22 and 30, respectively, of the second stage).

disminución del VCA conforme transcurría el tiempo, en ambas etapas.

Ganancia diaria de peso (GDP)

La GDP fue alta durante los primeros 15 días (0.182±0.01 kg, $P<0.01$), disminuyó al día 22 (0.069±0.01 kg, $P<0.01$) y tuvo un incremento (Cuadro 2) al día 30 (0.114±0.01 kg, $P<0.01$).

La mayor GDP en los primeros 15 días ($P<0.01$) se observó en los corderos DxP (0.229±0.03 kg) aunque también los corderos BB y P tuvieron altas ganancias de peso (0.174±0.03, 0.142±0.02 kg). Posteriormente la GDP disminuyó ($P<0.01$) en los BB y P (0.036±0.03, 0.049±0.02 kg) y la cruce DxP mantuvo alta GDP (0.121±0.03 kg), y para el día 30 se incrementó ($P<0.01$) en los corderos BB y P (0.139±0.03 y 0.132±0.02 kg, respectivamente) y siguió disminuyendo en los corderos DxP (0.070±0.03 kg, Figura 2).

En la interacción etapa x tiempo, la GDP fue alta en los primeros 15 días (0.190±0.02 kg) de la primera etapa, pero conforme transcurrieron los días fue disminuyendo (0.085±0.02 y 0.067±0.02, para el día 22 y 30, respectivamente, $P<0.01$); mientras que, en la segunda etapa, la GDP fue alta en los primeros 15 días (0.173±0.02 kg), disminuyó al día 22 (0.053±0.02 kg) y tendió a recuperarse para el día 30 (0.160±0.02 kg, $P<0.01$).

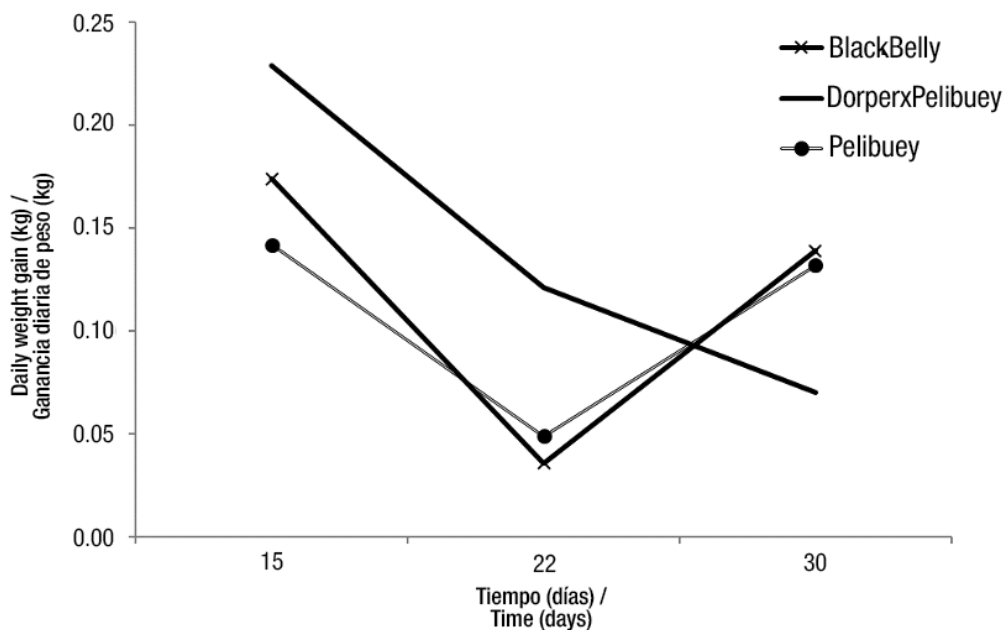


Figure 2. Effect of the genotype x time interaction in the daily weight gain.

Figura 2. Efecto de la interacción genotipo x tiempo en la ganancia diaria de peso.

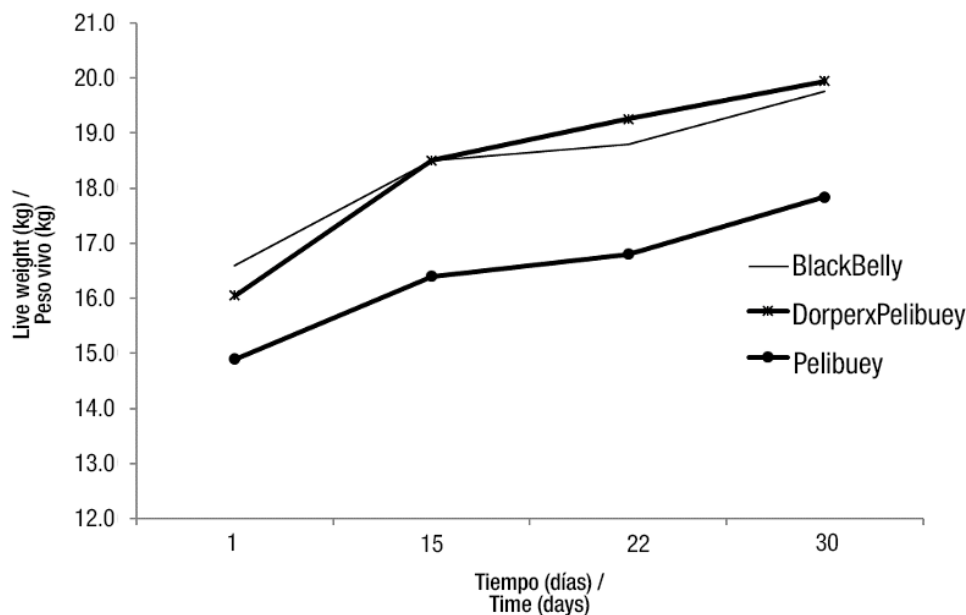


Figure 3. Effect of the genotype x time interaction in the live weight.
Figura 3. Efecto de la interacción genotipo x tiempo en el peso vivo.

Color of ocular mucous (COM)

The best score for the COM, was recorded (Table 2) during the second stage (3.9 ± 0.05 , $P < 0.01$). At this stage, BB and DxP lambs had the best scores for COM (4.1 ± 0.10 and 3.9 ± 0.10 , respectively, $P < 0.01$), and overcoming those from the P lambs (3.7 ± 0.08).

The COM was high on the day 1 of the experiment (4.0 ± 0.05 , día 1), but it decreased as the days passed (3.5 ± 0.05 , 3.2 ± 0.05 and 2.9 ± 0.05 , for the days 15, 22 and 30, respectively).

Body condition (BC)

DxP lambs had the best body condition ($P < 0.01$) (2.7 ± 0.09), while the values obtained in the BB and P lambs, were similar (2.2 ± 0.09 and 2.2 ± 0.07 , respectively; Table 2). The best score for the BC ($P < 0.01$) was recorded during the second stage (2.7 ± 0.06), compared with the first one (2.1 ± 0.06).

In terms of BC, BB and P lambs had the lowest scores during the first stage (1.8 ± 0.11 and 2.1 ± 0.08 , respectively), and they were surpassed by DxP lambs (2.4 ± 0.11 , $P < 0.01$); at the second stage, once again, BB and P lambs (2.7 ± 0.11 y 2.5 ± 0.08) were surpassed by the DxP lambs (3.0 ± 0.11 , $P < 0.01$).

Peso vivo (PV)

En la primera etapa los corderos tuvieron menor edad y, por lo tanto, menor peso (14.2 ± 0.45 kg) que durante la segunda etapa (21.4 ± 0.45 kg, Cuadro 2).

El PV se incrementó ($P < 0.01$) en los tres genotipos con el transcurso del tiempo (Figura 3), y a pesar de estar parasitados, los corderos continuaron con su desarrollo, aunque este fue mayor durante los primeros 15 días después de la infección parasitaria. Los corderos DxP y BB terminaron con un mayor PV (19.9 y 19.7 kg, respectivamente) con respecto a los P (17.8 kg). Con respecto a la interacción etapa x tiempo, el PV se fue incrementando ($P < 0.01$) con el transcurso del tiempo en ambas etapas (12.8 ± 0.47 , 14.1 ± 0.47 , 14.7 ± 0.47 y 15.2 ± 0.47 kg, para los días 1, 15, 22 y 30, respectivamente, de la primera etapa; y 18.9 ± 0.47 , 21.5 ± 0.47 , 21.8 ± 0.47 y 23.1 ± 0.47 kg, para los días 1, 15, 22 y 30, respectivamente, de la segunda etapa).

Color de la mucosa ocular (CMO)

La mejor calificación para el CMO se registró (Cuadro 2) durante la segunda etapa (3.9 ± 0.05 , $P < 0.01$). En esta etapa, los corderos BB y DxP tuvieron las mejores calificaciones para CMO (4.1 ± 0.10 y 3.9 ± 0.10 , respectivamente, $P < 0.01$), superando a los corderos P (3.7 ± 0.08).

Regarding the stage x time interaction, the BC was high during the first stage, and subsequently, it decreased from 22 to 30 days; for the second stage, the opposite happened, because it began with a moderate score and increased as the days passed (Table 2).

Discussion

On average, P lambs showed a lower fecal egg of GIN counting (3,252 EPG) than BB and DxP lambs. This value can have several connotations when it is compared with the results from other studies, because it can be placed as an intermediate value regarding the value of 418 EPG, obtained by Morteo-Gómez et al. (2004) with a group of P lambs from Tabasco, México, which was classified as resistant, and to the 5,911 EPG, also from that study, classified as susceptible. On the other side, it is high regarding the study developed by Figueroa-Castillo, Méndez, Berruecos, and Álvarez (2000), who defined a resistant group to nematodes with P lambs and with an average of 473 EPG, and another susceptible, with an average of 2,174 EPG. On their part, González et al. (2006), proposed as criterion to consider that, P lambs with values among 0 and 4,500 EPG be classified as resistant, intermediate ones between 5,000 and 10,000, and susceptible ones >10 000; with the acceptance of this criterion, P lambs used for this study, would be classified as resistant. However, due to the EPG is highly affected by environmental conditions and the heritability is not very high, the high variability seen among studies is very common, for this, the animal selection should be carried out within a contemporary group.

According to the fecal egg of GIN counting seen in the BB and DxP lambs in this study, both groups can be placed as intermediate according to González et al. (2006), in contrast to authors such as Yazwinski et al. (1979); Yazwinski, Goode, Moncol, Morgan, and Linnerud (1980); Gruner et al. (2003) and Muñoz-Guzmán, Cuéllar-Ordaz, Valdivia-Anda, Buendía-Jiménez, and Alba-Hurtado (2006), who have pointed out a high resistance in BB lambs against *Haemonchus contortus*. Likewise, crossbreed lambs in which BB genes have intervened, have turned out to be more resistant when they are compared to lambs of wool breeds (Yazwinski et al., 1980; Notter et al., 2003).

In terms of DxP lambs, the susceptibility of the Dorper breed has been reported when comparing it with hair breeds, such as the Red Maasai one (Silva et al., 2012), in both, natural infection and experimental infection with gastrointestinal parasites. On the other side, the Red Maasai x Dorper crossbreed has been proved to be as susceptible as the Dorper one. However, Burke

El CMO inició alto en el día 1 del experimento (4.0 ± 0.05 , día 1), pero empezó a disminuir con el transcurso de los días (3.5 ± 0.05 , 3.2 ± 0.05 y 2.9 ± 0.05 , para los días 15, 22 y 30, respectivamente).

Condición corporal (CC)

Los corderos DxP tuvieron la mejor condición corporal ($P < 0.01$) (2.7 ± 0.09), mientras que los promedios obtenidos en los BB y P fueron similares (2.2 ± 0.09 y 2.2 ± 0.07 , respectivamente; Cuadro 2). La mejor calificación para la CC ($P < 0.01$) se registró durante la segunda etapa (2.7 ± 0.06), en comparación con la primera (2.1 ± 0.06).

En CC los corderos BB y P tuvieron las más bajas calificaciones en la primera etapa (1.8 ± 0.11 y 2.1 ± 0.08 , respectivamente), siendo superados por los corderos DxP (2.4 ± 0.11 , $P < 0.01$); en la segunda etapa nuevamente los corderos BB y P (2.7 ± 0.11 y 2.5 ± 0.08) fueron superados por los DxP (3.0 ± 0.11 , $P < 0.01$).

Con respecto a la interacción etapa x tiempo, la CC inició alta durante los primeros 15 d de la primera etapa, para posteriormente empezar a declinar de los 22 a los 30 d; para la segunda etapa ocurrió lo contrario, ya que inició con una calificación moderada y se incrementó con el transcurso de los días (Cuadro 2).

Discusión

En promedio, los corderos P mostraron un menor conteo fecal de huevos de NGI (3,252 HPG) que los BB y DxP. Este valor puede tener varias connotaciones al ser comparado con los resultados de otros estudios, ya que puede ubicarse como un valor intermedio respecto al valor de 418 HPG, que obtuvieron Morteo-Gómez et al. (2004) en un grupo de ovinos P de Tabasco, México, clasificado como resistente, y al de 5,911 HPG, también de ese mismo estudio, clasificado como susceptible. Por otra parte, es alto con respecto al estudio realizado por Figueroa-Castillo, Méndez, Berruecos, y Álvarez (2000), quienes definieron en corderos P un grupo resistente a nematodos con un promedio de 473 HPG y otro susceptible, con un promedio de 2,174 HPG. Por su parte, González et al. (2006), propusieron como criterio a considerar que, corderos P con valores entre 0 y 4,500 HPG se clasificaran como resistentes, intermedios entre 5,000 y 10,000, y susceptibles >10 000; aceptando este criterio, los corderos P utilizados en el presente estudio quedarían clasificados como resistentes. Sin embargo, debido a que el HPG está altamente afectado por las condiciones ambientales y el índice de herencia no es muy grande,

and Miller (2004) found that adult sheep crossed with Dorper were more resistance to parasite infection than Suffolk sheep, and that their resistance levels were comparable to Saint Croix and Katahdin breeds in Southeast U.S.A. It also has been informed (Baker et al. 2003) that the increase in Dorper gene production in Dorper x Red Maasai lambs reduces both, the resistance (increase of EPG) and the resilience (decrease of PCV).

The resistance to GIN of P lambs, manifested by the 4-5-month-old ones, is similar to that found in lambs of the same age with breeds such as the Red Maasai (Baker et al., 2003) and Saint Croix (Burke & Miller, 2004). The increase of fecal egg of GIN counting from 21-28 days post-inoculation, has already been documented in other studies (Zajac & Garza, 2020).

BB and DXP lambs began with a live weight slightly higher than P lambs, but these differences in live weight were not significant ($P>0.05$) during the entire experiment. However, it is important to note that the reduced elimination of EPG in P lambs did not influence the weight gain (108 g), which was similar to those from the BB lambs (116 g) and the DXP ones (140 g). And, although Dorper sheep have a better growth rate, surely, because it is a cross, no differences were observed between them. In the same way, it must be considered that animals got 300 g of food at the start of the experiment and then, it increased to 400 g during the first grazing stage and, at the second stage, animals were stabled and they got a full diet with commercial feed, for this, despite they were wormed, animals were able to get good weight gains at this last stage (129 g on average); similar results were informed by Haile, Tibbo, Baker and Rege (2007) and have been pointed out in literature reviews (Mavrot, Hertzberg & Torgerson, 2015).

In terms of the PCV, BB lambs were the most affected (25.7 %), a similar situation to what was found by Aumont, Gruner and Hostache (2003) in INRA 401 and BB lambs, while the P and DXP lambs ended with similar percentages (28.1 and 27.5 %, respectively), this suggests a tolerance or resilience of the DXP crossbreeds to the effects of the *Haemonchosis*, which has already been informed by Burke and Miller (2004) in breeds involving the Dorper breed. Other authors have already informed that the F1 crossbreed between a resilient breed with a susceptible one, causes an intermediate response to the nematode infection. Similar values were found in Santa Inés (Amarante et al., 2004) and Crioula Lanada sheep (Bricarello et al., 2004), these demonstrated a relative resistance to gastrointestinal parasites. The decrease of the PCV as

la alta variabilidad observada entre estudios es algo común, por lo que la selección de animales debe hacerse dentro de un grupo contemporáneo.

De acuerdo con los conteos fecales de huevos de NGI observados en los corderos BB y DXP del presente estudio, estos dos grupos pueden ser ubicados como intermedios de acuerdo a González et al. (2006), a diferencia de autores como Yazwinski et al. (1979); Yazwinski, Goode, Moncol, Morgan, y Linnerud (1980); Gruner et al. (2003) y Muñoz-Guzmán, Cuéllar-Ordaz, Valdivia-Anda, Buendía-Jiménez, y Alba-Hurtado (2006), quienes han indicado alta resistencia en los corderos BB contra *Haemonchus contortus*. Asimismo, corderos cruzados en los que han intervenido genes de BB han resultado ser más resistentes cuando se han comparado con corderos de razas de lana (Yazwinski et al., 1980; Notter et al., 2003).

En cuanto a los corderos DXP, ya se ha reportado la susceptibilidad de la raza Dorper cuando se ha comparado con razas de pelo, como la Red Maasai (Silva et al., 2012), tanto en infección natural como experimental de parásitos gastrointestinales. Por otro lado, la cruce Red Maasai x Dorper ha mostrado ser tan susceptible como la Dorper. No obstante, Burke y Miller (2004) encontraron que ovejas adultas cruzadas con Dorper fueron más resistentes a la infección parásita que ovejas Suffolk, y que sus niveles de resistencia fueron comparables a las de las razas Saint Croix y Katahdin en el sureste de los EE.UU. También se ha informado (Baker et al. 2003) que el aumento en la proporción de genes Dorper en corderos Dorper x Red Maasai reduce tanto la resistencia (incremento de HPG) como la resiliencia (disminución del VCA).

La resistencia a los NGI de los corderos P en el presente estudio, manifestada a los 4-5 meses de edad, es similar a la encontrada en corderos de la misma edad en razas como la Red Maasai (Baker et al., 2003) y Saint Croix (Burke & Miller, 2004). El incremento de los conteos fecales de huevos de NGI a partir de los 21-28 días post-inoculación ya se ha documentado en otros estudios (Zajac & Garza, 2020).

Los corderos BB y DXP iniciaron con un peso vivo ligeramente mayor que los corderos P, y se mantuvieron sin diferencias significativas durante el experimento. Sin embargo, resulta importante resaltar que la menor eliminación de HPG en los corderos P no afectó las ganancias de peso (108 g), que fueron similares a la de los corderos BB (116 g) y los DXP (140 g). Y aunque los ovinos Dorper tienen mejor tasa de crecimiento, seguramente por tratarse de una cruce no se observaron diferencias entre ellos.

the time passes in infected lambs with gastrointestinal nematodes, has already been widely documented (Amarante et al., 2004).

According to the genotype x stage interaction, it was expected that the resistance increases during the second stage and this would reduce the EPG, which only happened with BB lambs, and this implies a development of their acquired resistance (McRae, Stear, Good, & Keane, 2015), while P lambs maintained their counting during both stages and the DxP crossbreed increased its EPG, which could be related to the least resistance provided by the Dorper breed (Baker et al., 2004). Burke et al. (2007) found similar results in terms of an increase in the COM value as they passed from one stage to the next one, due to a reduction in parasitic loads.

DxP lambs had a better BC compared to BB and P lambs, which had similar values, it can be attributed to the greater meat conformation of the Dorper breed (Hinojosa-Cuéllar, Oliva-Hernández, Torres-Hernández, & Segura-Correa, 2013). When lambs are free of parasites, show a good BC, but it decreases when parasitic loads increase; similar results have already been informed in other studies (Morteo-Gómez et al., 2004). However, other authors say that the BC is not a good indicator of the infection with *H. contortus* by itself (Burke et al., 2007), although the BC response is more related to the physiological stage and the feeding conditions of productive sheep with fecal egg of GIN counting (Cornellius, Jacobson, & Besier, 2014).

In the feces cultures, *H. contortus* was the most frequent nematode (85 %), followed by the *Oesophagostomum* (10 %) and *Cooperia* (5 %). This matches with the results obtained in the region, where *H. contortus* is the species with higher prevalence and the most widely disseminated within the humid tropic of Mexico, and specifically, Tabasco (López-Ruvalcaba, González-Garduño, Osorio-Arce, Aranda-Ibañez, & Díaz-Rivera, 2013).

Conclusions

With the results of this study, it is shown that P lambs had a lower fecal nematode egg counting and a higher hematocrit than the BB ones, which is associated with a greater resistance. On the other side, DxP lambs had the greatest daily weight gains, although, statistically similar to those of the BB and P lambs. It is recommended to continue with this line of research under different environmental conditions, and with the inclusion of females, because their behavior, in

Además se tiene que considerar que los animales recibieron 300 g de alimento al inicio del experimento y posteriormente se les incrementó a 400 g durante la primera etapa en pastoreo y en la segunda etapa los animales se estabularon y recibieron una dieta completa con alimento comercial, por lo que a pesar de estar parasitados, los animales pudieron tener buenas ganancias de peso en esta última etapa (129 g en promedio); resultados similares fueron informados por Haile, Tibbo, Baker y Rege (2007) y se han indicado en revisiones de literatura (Mavrot, Hertzberg & Torgerson, 2015).

Con respecto al VCA, los corderos BB fueron los más afectados (25.7 %), situación similar a lo encontrado por Aumont, Gruner y Hostache (2003) en corderos INRA 401 y BB, mientras que los P y DxP finalizaron con porcentajes similares (28.1 y 27.5 %, respectivamente), lo que sugiere una tolerancia o resiliencia de la craza DxP a los efectos de la *Haemonchosis*, lo cual ya fue informado por Burke y Miller (2004) en cruza involucrando a la raza Dorper. Otros autores ya han informado que la craza F1 de una raza resistente con una susceptible provoca una respuesta intermedia a la infección con nematodos. Valores similares fueron encontrados en ovinos de las razas Santa Inés (Amarante et al., 2004) y Crioula Lanada (Bricarello et al., 2004), las que manifestaron una relativa resistencia a los parásitos gastrointestinales. La disminución del VCA a través del tiempo en corderos infectados con nematodos gastrointestinales ya ha sido ampliamente documentada (Amarante et al., 2004).

De acuerdo con la interacción genotipo x etapa, se esperaba que la resistencia se incrementara en la segunda etapa y con ello se redujera el HPG, lo cual ocurrió solamente en los corderos BB, lo que implica un desarrollo de su resistencia adquirida (McRae, Stear, Good, & Keane, 2015), mientras que los corderos P mantuvieron sus conteos en las dos etapas y la craza DxP incrementó su HPG, lo cual pudiera estar asociado con menor resistencia proporcionada por la raza Dorper (Baker et al., 2004). Burke et al. (2007) encontraron resultados similares en cuanto a un incremento en el valor de CMO conforme pasaban de una etapa a la siguiente, debido a una reducción en las cargas parasitarias.

Los corderos DxP tuvieron una mejor CC comparados con los BB y P, que tuvieron valores similares, lo que puede atribuirse a la mayor conformación cárnica de la raza Dorper (Hinojosa-Cuéllar, Oliva-Hernández, Torres-Hernández, & Segura-Correa, 2013). Cuando los corderos están libres de parásitos presentan una buena CC, pero esta disminuye conforme se incrementan las

terms of the possible peripartum increase of EPG, will undoubtedly contribute with additional information specific for these hair sheep.

End of English version

References / Referencias

- Aguerre, S., Jacquet, P., Brodier, H., Bournazel, J. P., Grisez, C., ..., Moreno, C. R. (2018). Resistance to gastrointestinal nematodes in dairy sheep: genetic variability and relevance of artificial infection of nucleus rams to select for resistant ewes on farms. *Veterinary Parasitology*, 256, 16-23.
- Amarante, A. D., Bricarello, P. A., Rocha, R. A., & Gennari, S. M. (2004). Resistance of Santa Ines, Suffolk and Ile de France sheep to naturally acquired gastrointestinal nematode infections. *Veterinary Parasitology*, 120(1-2), 91-106.
- Aumont, G., Gruner, L., & Hostache, G. (2003). Comparison of the resistance to sympatric and allopatric isolates of *Haemonchus contortus* of Black Belly sheep in Guadeloupe (FWI) and of INRA 401 sheep in France. *Veterinary Parasitology*, 116(2), 139-150.
- Baker, R. L., Nagda, S., Rodriguez-Zas, S. L., Southey, B. R., Audho, J. O., ..., Thorpe, W. (2003). Resistance and resilience to gastro-intestinal nematode parasites and relationships with productivity of Red Maasai, Dorper and Red Maasai x Dorper crossbred lambs in the sub-humid tropics. *Animal Science*, 76(1), 119-136.
- Baker, R. L., Mugambi, J. M., Audho, J. O., Carles, A. B., & Thorpe, W. (2004). Genotype by environment interactions for productivity and resistance to gastro-intestinal nematode parasites in Red Maasai and Dorper sheep. *Animal Science*, 79(3), 343-353.
- Benavides, M. V., Sonstegard, T. S., & Van Tassel, C. (2016). Genomic regions associated with sheep resistance to gastrointestinal nematodes. *Trends in Parasitology*, 32(6), 470-480.
- Bricarello, P. A., Gennari, S. M., Oliveira-Sequeira, T. C. G., Vaz, C. M. S. L., De Gonçalves, I. G., & Echevarria, F. A. M. (2004). Worm burden and immunological responses in Corriedale and Crioula Lanada sheep following natural infection with *Haemonchus contortus*. *Small Ruminant Research*, 51(1), 75-83.
- Burke, J. M., & Miller, J. E. (2004). Relative resistance to gastrointestinal nematode parasites in Dorper, Katahdin, and St. Croix lambs under conditions encountered in the southeastern region of the United States. *Small Ruminant Research*, 54(1-2), 43-51.
- Burke, J. M., Kaplan, R. M., Miller, J. E., Terrill, T. H., Getz, W. R., Mobini, S., Valencia E., Williams M.J., Williamson L.H., y Vatta, A. F. (2007). Accuracy of the FAMACHA system for on-farm use by sheep and goat producers in the southeastern United States. *Veterinary Parasitology*, 147(1-2), 89-95.
- cargas parasitarias; similares resultados ya se han informado en otros estudios (Morteo-Gómez et al., 2004). Sin embargo, otros autores mencionan que la CC no es por sí misma un buen indicador de la infección por *H. contortus* (Burke et al., 2007), aunque la respuesta de la CC está más relacionada con la etapa fisiológica y las condiciones de alimentación de las ovejas productivas con los conteos fecales de huevos de NGI (Cornelius, Jacobson, & Besier, 2014).
- En los cultivos de heces, *H. contortus* fue el nematodo más frecuente (85 %), seguido por *Oesophagostomum* (10 %) y *Cooperia* (5 %). Esto coincide con los resultados obtenidos en la región, donde *H. contortus* es la especie con mayor prevalencia y la más ampliamente difundida en el trópico húmedo de México y específicamente en Tabasco (López-Ruvalcaba, González-Garduño, Osorio-Arce, Aranda-Ibañez, & Díaz-Rivera, 2013).

Conclusiones

Con los resultados de este estudio se muestra que los corderos P tuvieron menor conteo fecal de huevos de nematodos y mayor hematocrito que los BB, lo cual se asocia a una mayor resistencia. Por otra parte, los corderos DxP tuvieron las mayores ganancias diarias de peso, aunque similares estadísticamente que los BB y P. Se recomienda continuar con esta línea de investigación bajo diferentes condiciones ambientales, e incluyendo también la participación de las hembras, pues su comportamiento en cuanto al posible incremento periparto de HPG aportará sin duda información complementaria específica de estos ovinos de pelo.

Fin de la versión en español

- Castro-Arnáez, I. C., Montenegro, V. M., Vargas-Leitón, B., Álvarez-Calderón, V., & Soto-Barrientos, N. (2021). Anthelmintic resistance in commercial sheep farms in Costa Rica. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 23, 100506.
- Coffin, D.L. (1986) Laboratorio Clínico en Medicina Veterinaria. Trad. Santibáñez J., y J. rrusti. Tercera Edición. Ed. La Prensa Médica Mexicana. pp: 125-170.
- Coles, G. C., Jackson, F., Pomroy, W. E., Prichard, R. K., von Samson-Himmelstjerna, G., ..., Vercruyse, J. (2006). The detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. *Veterinary Parasitology*, 136(3-4), 167-185.
- CONAGUA, 2021. Normales climatológicas por estado. En: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=tab>
- Cornelius, M. P., Jacobson, C., & Besier, R. B. (2014). Body condition score as a selection tool for targeted selective treatment-based nematode control strategies in Merino ewes. *Veterinary Parasitology*, 206(3-4), 173-181.

- Cruz-Tamayo, A. A., López-Arellano, M. E., González-Garduño, R., Torres-Hernández, G., de la Mora-Valle, A.,..., Huchin-Cab, M. (2021). *Haemonchus contortus* infection induces a variable immune response in resistant and susceptible Pelibuey sheep. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 234, 110218.
- Estrada-Reyes, Z. M., Rae, D. O., & Mateescu, R. G. (2021). Genome-wide scan reveals important additive and non-additive genetic effects associated with resistance to *Haemonchus contortus* in Florida Native sheep. *International Journal for Parasitology*, 51(7), 535-543.
- Figueroa-Castillo, J. A., Méndez, R. D. M., Berruecos, J. M. V., & Álvarez, J. A. L. (2000). Variación en la resistencia a nematodos gastrointestinales en ganado ovino de la raza Pelibuey. Memoria del Ciclo de Conferencias sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. Tuxtla Gutiérrez, Chis, México. Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios A.C. pp: 238-242.
- González, R. L., López, A. M. E., Liébano, H. E., Olazarán, J. S., Mendoza de G, P., & Vázquez, P.V.M. (2006). Estudio preliminar para establecer mecanismos de selección para el control de la hemoncosis en corderos Pelibuey resistentes en campo. Memoria del XIII Congreso Nacional de Producción Ovina. AMTEO. Septiembre 6-8, 2006. Toluca, Edo. de México. CD-Rom
- González, J. F., Hernández, Á., Molina, J. M., Fernández, A., Raadsma, H. W.,..., Piedrafita, D. (2008). Comparative experimental *Haemonchus contortus* infection of two sheep breeds native to the Canary Islands. *Veterinary Parasitology*, 153(3-4), 374-378.
- Gruner, L., Aumont, G., Getachew, T., Brunel, J. C., Péry, C.,..., Guerin, Y. (2003). Experimental infection of Black Belly and INRA 401 straight and crossbred sheep with trichostrongyle nematode parasites. *Veterinary Parasitology*, 116(3), 239-249.
- Haile, A., Tibbo, M., Baker, R. L., & Rege, J. O. (2007). Effects of non-genetic factors on responses to gastro-intestinal nematode infections in Ethiopian sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 39(6), 411-417.
- Hinojosa-Cuellar, J. A., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., & Segura-Correa, J. C. (2013). Productive performance of F1 Pelibuey Blackbelly lambs and crosses with Dorper and Katahdin in a production system in the humid tropic of Tabasco, México. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 45(2), 135-143.
- López Ruvalcaba, O. A., González Garduño, R., Osorio Arce, M. M., Aranda Ibáñez, E., & Díaz Rivera, P. (2013). Gastrointestinal nematodes burden and prevalent species in hair sheep for slaughter. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 223-234.
- Mavrot, F., Hertzberg, H., & Torgerson, P. (2015). Effect of gastro-intestinal nematode infection on sheep performance: a systematic review and meta-analysis. *Parasites y Vectors*, 8(1), 1-11.
- McRae, K. M., Stear, M. J., Good, B., & Keane, O. M. (2015). The host immune response to gastrointestinal nematode infection in sheep. *Parasite Immunology*, 37(12), 605-613.
- Miller, J. E., & Horohov, D. W. (2006). Immunological aspects of nematode parasite control in sheep. *Journal of Animal Science*, 84(suppl_13), E124-E132
- Morteo-Gómez, R., González-Garduño, R., Torres-Hernández, G., Nuncio-Ochoa, G., Becerril-Pérez, C. M.,..., Aranda-Ibáñez, E. (2004). Efecto de la variación fenotípica en la resistencia de corderos Pelibuey a la infestación con nematodos gastrointestinales. *Agrociencia*, 38(4), 395-404.
- Muñoz-Guzmán, M. A., Cuéllar-Ordaz, J. A., Valdivia-Anda, A. G., Buendía-Jiménez, J. A., & Alba-Hurtado, F. (2006). Correlation of parasitological and immunological parameters in sheep with high and low resistance to haemonchosis. *Canadian Journal of Animal Science*, 86(3), 363-371.
- Niec, R. (1968). Cultivo e identificación de larvas infectantes de nematodos gastroentéricos del bovino y ovino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Manual técnico 3, Argentina.
- Notter, D. R., Andrew, S. A., & Zajac, A. M. (2003). Responses of hair and wool sheep to a single fixed dose of infective larvae of *Haemonchus contortus*. *Small Ruminant Research*, 47(3), 221-225.
- Papadopoulos, E. (2008). Anthelmintic resistance in sheep nematodes. *Small Ruminant Research*, 76(1-2), 99-103.
- Pollott, G. E., & Kilkenny, J. B. (1976). A note on the use of condition scoring in commercial sheep flocks. *Animal Production*, 23(2), 261-264.
- Roeber, F., Jex, A. R., Campbell, A. J., Campbell, B. E., Anderson, G. A., & Gasser, R. B. (2011). Evaluation and application of a molecular method to assess the composition of strongylid nematode populations in sheep with naturally acquired infections. *Infection, Genetics and Evolution*, 11(5), 849-854.
- Ross, I. C. (1932). Observations on the resistance of sheep to infestation by the stomach worm (*Haemonchus contortus*). *Journal of the Council for Scientific and Industrial Research*, 5(2). 73-80
- SAS (2004) The SAS System for Windows, Release 9.00. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2004.
- Silva, M. V. B., Sonstegard, T. S., Hanotte, O., Mugambi, J. M., Garcia, J. F.,..., Baker, R. L. (2012). Identification of quantitative trait loci affecting resistance to gastrointestinal parasites in a double backcross population of Red Maasai and Dorper sheep. *Animal Genetics*, 43(1), 63-71.
- Thienpont, D., Rochete, F., & Vanparijs, O.F.J. (1986). Diagnóstico de la Helmintiasis por medio del Examen Coprológico. Jansen Research Foundation, Beerse, Belgium. 203 p.
- Torres-Acosta, J. F. J., y Hoste, H. (2008). Alternative or improved methods to limit gastro-intestinal parasitism in grazing sheep and goats. *Small Ruminant Research*, 77(2-3), 159-173.

- Van Wyk, J. A., & Bath, G. F. (2002). The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. *Veterinary Research*, 33(5), 509-529.
- Whitlock, J. H. (1955). A study of the inheritance of resistance to trichostrongylidosis in sheep. *Cornell Veterinarian*, 45(3), 422-439.
- Yazwinski, T. A., Goode, L., Moncol, D. J., Morgan, G. W., & Linnerud, A. C. (1979). Parasite resistance in straightbred and crossbred Barbados Blackbelly sheep. *Journal of Animal Science*, 49(4), 919-926.
- Yazwinski, T. A., Goode, L., Moncol, D. J., Morgan, G. W., & Linnerud, A. C. (1980). Haemonchus contortus resistance in straightbred and crossbred Barbados Blackbelly sheep. *Journal of Animal Science*, 51(2), 279-284.
- Zajac, A. M., & Garza, J. (2020). Biology, epidemiology, and control of gastrointestinal nematodes of small ruminants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 73-87.

EN

Cachichín seed (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thoms.): Source of nutrients and bioactive compounds

ES

La semilla de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thoms.): Fuente de nutrimentos y compuestos bioactivos

Alejandro Esli Hernández-Mora¹; Libia Iris Trejo-Téllez²; Aleida Selene Hernández-Cázares¹; Adriana Contreras-Oliva¹; Fernando Carlos Gómez-Merino^{1*}

¹Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94953.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

*Corresponding author:
fernandg@colpos.mx;
ORCID: 0000-0001-8496-2095

Received: July 8, 2021 /
Accepted: November 1, 2021

DOI:
10.5154/r.rchsat.2021.02.05

Abstract

The cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thoms.) is an arboreal species that produces an edible seed to which nutraceutical properties have been attributed to improve human health. The objective of this study was to review the most relevant aspects of scientific research on the cultivation, nutritional properties and pharmacological potential of this seed. Diverse literary sources and databases that to date have been integrated on the cachichín, were identified. The cachichín is a plant species native from Mexico and belongs to the family Metteniusaceae. Most of the edible seed and wood are produced in the municipality of Misantla, Veracruz, Mexico. In average values, the composition of the seed is proteins 12.59 %, carbohydrates 41.61 %, lipids 39.25 %, fiber 4.25 % and ashes 2.30 %. Within its lipid profile, it contains unsaturated fatty acids beneficial to health in patients with cardiovascular diseases and diabetes. In future research, it is necessary to investigate aspects related to germination processes, suitable soils for cultivation, and nutritional needs, in addition to its use in new food formulations and its applications in a greater number of pharmacological approaches. In the current context of the consumption of functional foods in the daily diet, the cachichín takes an important role due to its nutritional and bioactive components within the approach of nutraceutical products or foods.

Keywords: Metteniusaceae, nutraceutical food, edible fruits, wild fruits, functional properties, functional food.

Resumen

El cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thoms.) es una especie arbórea que produce semilla comestible a la que se han atribuido propiedades nutraceuticas benéficas para la salud humana. El objetivo de este trabajo fue revisar los aspectos más relevantes de investigaciones científicas en torno al cultivo, las propiedades nutritivas y potencial

farmacológico de esta semilla. Se identificaron diversas fuentes literarias y bases de datos que sobre el cachichín se han integrado a la fecha. El cachichín es una especie vegetal nativa de México perteneciente a la familia Metteniusaceae. En su mayoría, la producción de la semilla comestible y de madera es realizada en el municipio de Misantla, Veracruz, México. En valores promedio, la composición de la semilla es: proteínas 12.59 %, carbohidratos 41.61 %, lípidos 39.25 %, fibra 4.25 % y cenizas 2.30 %. Dentro de su perfil lipídico, contiene ácidos grasos insaturados benéficos para la salud en pacientes con enfermedades cardiovasculares y diabetes. En futuras investigaciones es necesario indagar sobre aspectos relacionados con procesos de germinación, suelos aptos para su cultivo, y necesidades de fertilización mineral, además de su empleo en nuevas formulaciones de alimentos y sus aplicaciones en mayor número de enfoques farmacológicos. En el actual contexto del consumo de alimentos funcionales en la dieta diaria, el cachichín toma un rol importante debido a sus componentes nutritivos y bioactivos dentro del enfoque de productos o alimentos nutraceuticos.

Palabras clave: Metteniusaceae, nutraceutico, frutos comestibles, frutos silvestres, propiedades funcionales, alimento funcional.

Introduction

As a mega-diverse country, in Mexico there is an enormous wealth of flora, within this wealth, there are species that produce fruits and seeds used by food and pharmaceutical industries. Also, these species can offer other benefits as timber producers for furniture production or construction, as well as those associated with their function as carbon sinks that impact on the mitigation of global climate change. The cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) belongs to the Metteniusaceae family (Hernández-Urban et al., 2019). This family is comprised of 11 genres and 59 species with pantropical distribution, with relatively few species in temperate regions. Some species have edible seeds and in others, their leaves are used to dye fabrics and timber trees to produce useful wood for furniture production or home construction within rural areas (Gutiérrez-Báez & Duno de Stéfano, 2014). In the species of this botanical family, cachichín was described for the first time in the sierra de Misantla, Veracruz, Mexico in 1914 (Greenman & Thompson, 1914).

In the local commerce field, particularly in markets of the municipality of Misantla, Veracruz, Mexico, and surrounding places, the main product of cachichín sold is the seed contained within the fruit. Among the inhabitants and traditional medicine, potential hypoglycemic properties are known (Lascurain-Rangel, 2012), although there has been relatively little study about the nutraceutical composition and the profiles of active metabolites to combat this and other physiological disorders in humans. The aim of this work was to review the most important aspects about the scientific investigation around the cachichín cultivation,

Introducción

Como país megadiverso, en México existe una riqueza florística dentro de la que se encuentran especies que producen frutos y semillas útiles en las industrias alimentaria y farmacéutica. Además, estas especies pueden ofrecer otros beneficios como productores de madera para la construcción o elaboración de muebles, así como los asociados a su función como sumideros de carbono que impactan en la mitigación del cambio climático global. El cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) pertenece a la familia Metteniusaceae (Hernández-Urban et al., 2019). Esta familia está conformada por 11 géneros y 59 especies con distribución pantropical, con relativamente pocas especies en las regiones templadas. Algunas especies tienen semillas comestibles y en otras sus hojas son utilizadas para teñir telas y los árboles maderables para la producción de madera útil en la elaboración de muebles o la construcción de casas en el medio rural (Gutiérrez-Báez & Duno de Stéfano, 2014). Dentro de las especies de esta familia botánica, el cachichín fue descrito por primera vez en la sierra de Misantla, Veracruz, México en 1914 (Greenman & Thompson, 1914).

En el ámbito del comercio local, especialmente en los mercados del municipio de Misantla, Veracruz, México, y lugares circunvecinos, el principal producto del cachichín que se vende, es la semilla que contiene el fruto. Entre los pobladores y la medicina tradicional, se habla de potenciales propiedades hipoglucemiantes (Lascurain-Rangel, 2012), aunque poco se ha estudiado la composición nutraceutica y los perfiles de metabolitos activos para combatir este y otros desórdenes fisiológicos en el ser humano. El objetivo de

the biochemical and nutritional composition of the seed, as well as its pharmaceutical potential given the presence of natural bioactive compounds.

Methodology

A search on various scientific platforms such as Scopus, Science Direct, PubMed, Springer, Scielo, Web of Science, Jurn, Sciece.gob, Bielefeld Academia Search Engine (BASE), Institute of Education Sciences (ERIC), Science Research, Worldwide Science, Scholarpedia, Microsoft Academic, Google Scholar and Dialnet, was carried out. The key words used for searching were Metteniusaceae, *Oecopetalum mexicanum*, cachichín, cacaté, and Sierra de Misantla. Priority topics chosen for this study were those related to the phylogenetic, botanic characteristics, marketing, physical and chemical properties, nutraceutical composition and phytochemical of the seed. The date range used as a search filter was 1900 by this time. Results obtained were described throughout this document.

Results and discussion

Cachichín tree

The cachichín is distributed from the south of Mexico to Guatemala. In Mexico, this species is grown in the states of Veracruz and Chiapas. In Veracruz, the species is naturally distributed in the sierra de Misantla, where it is extensively marketed. This mountain range is located among the coordinates 19° 55' 52" N 96° 51' 06" O, at 400 meters above sea level (Greenman & Thompson, 1914).

Previously, the cachichín was considered within the Icacinaceae family (Kårehed, 2001; Stull, Duno de Stéfano, Soltis, & Soltis, 2015), although recent phylogenetic studies have placed it within the Metteniusaceae family, which consists of 11 genders and at least 59 species, that are mainly distributed in tropical areas around the world (Hernández-Urban et al., 2019). In addition to the edible seed, some species of this family produce raw materials for the textile industry, fuelwood and wood.

The cachichín tree grows well in humid soils on steep hillsides and near waterfalls of water currents. In coffee agroforestry systems, it is used for the provision of shade (Lascurain et al., 2007). When it ripens, this species became a tree that can grow up to 25 m high (Lascurain-Rangel et al., 2013; Gutiérrez-Báez & Duno de Stéfano, 2014).

Orchards with commercial plantations of cachichín are named cachichinales, which are represented by areas

este trabajo fue revisar los aspectos más relevantes de la investigación científica en torno al cultivo de cachichín, la composición bioquímica y nutritiva de la semilla, así como su potencial farmacológico dada la presencia de compuestos naturales bioactivos.

Metodología

Se realizó una búsqueda en diversas plataformas científicas como Scopus, Science Direct, PubMed, Springer, Scielo, Web of Science, Jurn, Sciece.gob, Bielefeld Academia Search Engine (BASE), Institute of Education Sciences (ERIC), Science Research, World Wide Science, Scholarpedia, Microsoft Academic, Google Scholar y Dialnet. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron Metteniusaceae, *Oecopetalum mexicanum*, cachichín, cacaté, y Sierra de Misantla. Los temas prioritarios seleccionados para este trabajo fueron relacionados a filogenética, características botánicas, comercialización, propiedades físicas y químicas, composición nutraceutica y fitoquímica de la semilla. El rango de fechas utilizado como filtro de búsqueda fue de 1900 a la fecha. Los resultados obtenidos se describieron a lo largo del presente escrito.

Resultados y discusión

Árboles de cachichín

El cachichín se distribuye desde el sur de México hasta Guatemala. En México esta especie se cultiva en los estados de Veracruz y Chiapas. En Veracruz, la especie se distribuye de manera natural en la sierra de Misantla, donde se comercializa de manera extensiva. Esta sierra se ubica entre las coordenadas 19° 55' 52" N 96° 51' 06" O, a 400 msnm (Greenman & Thompson, 1914).

Anteriormente el cachichín fue considerado dentro de la familia Icacinaceae (Kårehed, 2001; Stull, Duno de Stéfano, Soltis, & Soltis, 2015), aunque estudios filogenéticos recientes le han ubicado dentro de la familia Metteniusaceae, la cual está integrada por 11 géneros y por lo menos 59 especies, que se distribuyen principalmente en las regiones tropicales alrededor del mundo (Hernández-Urban et al., 2019). Además de la semilla comestible, algunas de las especies de esta familia producen materias primas para la industria textil, leña y madera.

El árbol cachichín prospera bien en suelos húmedos en laderas de pendientes pronunciadas y cercanas a cascadas de corrientes hídricas. En sistemas agroforestales de café se le usa como sombra (Lascurain et al., 2007). Cuando madura, esta especie se constituye en un árbol que puede alcanzar hasta 25 m de altura

of approximately 1 ha. These systems are comparable to mountain mesophilic forests, due to their structural and physiognomic characteristics they showed. According to the shape their canopy takes, these trees are used in agroforestry systems (Figure 1) (Covarrubias et al., 2018). The cachichín wood is considered superior to that from the pine; trunks are commonly used as posts in fences and houses, and as beams in family homes within rural communities in the sierra de Misantla. Fallen, diseased or old trees are used to produce fuelwood. From young and green branches, basket-shaped utensils are made for catching freshwater prawns (mainly *Macrobrachium carcinus*) in the Misantla river basin (Lascurain, López-Binnqüist, & Emery, 2016).

The cachichín is a monophyly species, but morphologically it is highly similar to the *Oecopetalum greenmanii* Standl. & Steyerm. species, and the specific differences are related to the reproductive organs. In the *Oecopetalum greenmanii* species, the flower, stamen and anther size are greater than those of the first one; also, the flower is light red, while in the cachichín, this organ is white. For both species, inflorescences are defined, with long petals and stamens and short

(Lascurain-Rangel et al., 2013; Gutiérrez-Báez & Duno de Stéfano, 2014).

Los huertos con plantaciones comerciales de cachichín se denominan cachichinales, los cuales están representados por superficies de aproximadamente 1 ha. Estos sistemas son comparables a los bosques mesófilos de montaña, debido a las características estructurales y fisiológicas que presentan. De acuerdo con la forma que toma su dosel, estos árboles son aprovechados en sistemas agroforestales (Figura 1) (Covarrubias et al., 2018). La madera de cachichín es considerada superior a la del pino; los troncos se usan comúnmente como postes en cercos y en casas, y como vigas en casas-habitación de comunidades rurales en la sierra de Misantla. Árboles caídos, enfermos y viejos se aprovechan para producir leña. De las ramas jóvenes y verdes se fabrican utensilios en forma de canastos para atrapar langostinos de agua dulce (principalmente *Macrobrachium carcinus*) en la cuenca del río Misantla (Lascurain, López-Binnqüist, & Emery, 2016).

El cachichín es una especie monofilética, aunque morfológicamente el parecido con la especie *Oe-*



Figure 1. Specimen of the cachichín tree (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) from the Metteniusaceae family, in an agroforestry system with banana (*Musa x paradisiaca*) and coffee (*Coffea arabica*) in the sierra de Misantla, Veracruz, Mexico.

Figura 1. Ejemplar del árbol de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) de la familia Metteniusaceae, en un sistema agroforestal con plátano (*Musa x paradisiaca*) y café (*Coffea arabica*) en la sierra de Misantla, Veracruz, México.

lingering style on fruit. Both species are considered as excellent candidates for silviculture programs (Hernández-Urban et al., 2019).

Fruit and seed of cachichín

The fruit of the cachichín tree has an edible seed with a bitter taste. Once it is ripe, fruit falls to the ground, and is collected in the cachichinales and agroforestry systems (Lascurain, López, & Zamora, 2009). The fruit has a globular shape, with a green coverage when it is unripe, which became hard and dark brown when ripe (Figure 2). Inside the fruit, there is an egg-shaped internally cartilaginous brown seed, with a rough texture. This seed has an approximate size of 1.66 cm de long, 1.23 cm wide and 1.18 cm thick; its coat is dark yellow, thin, with a papyrus-texture, smooth and difficult to peel. Inside the seed there is a complete, fleshy, cream-colored endosperm and a green-yellow embryo, two elliptical, oval, curved, flat and foliaceous cotyledons, free and irregular (Castillo-Campos, 1991; Hernandez et al., 2013).

In order to favor germination, seeds are soak in water at room temperature for 12 to 24 h periods before seeding. Around 30 and 35 days after seeding, this seed can reach until 8 % of germination (Howard, 1942; Gutiérrez Báez, 1994). This species is well adapted to environmental conditions of the sierra de Misantla, even during unfavorable agroclimatic seasons.

The harvesting of cachichín seeds is carried out by

copetalum greenmanii Standl. & Steyer. es alto, y las diferencias específicas se encuentran a nivel de órganos reproductivos. En la especie *Oecopetalum greenmanii* el tamaño de flor, estambres y anteras son mayores que en la primera; además la flor es de color rojizo claro, mientras que en cachichín este órgano es blanco. En ambas especies las inflorescencias son definidas, con estambres, pétalos largos y un estilo corto persistente en la fruta. Estas dos especies son consideradas excelentes candidatas para programas silvícolas (Hernández-Urban et al., 2019).

Fruto y semilla de cachichín

El fruto del árbol de cachichín contiene una semilla comestible de sabor amargo. Una vez maduro, el fruto cae al suelo, donde es recolectado en los cachichinales y en sistemas agroforestales (Lascurain, López, & Zamora, 2009). El fruto es de forma globosa, rodeada de una cubierta verde cuando se encuentra inmadura, que se convierte en dura y marrón oscuro al madurar (Figura 2). En el interior del fruto se encuentra una semilla de forma ovoide, internamente cartilaginoso, con textura rugosa y de color café. Esta semilla posee dimensiones promedio de 1.66 cm de largo, 1.23 cm de ancho y 1.18 cm de grosor; su testa es de color amarillo oscuro, delgada, papirácea, lisa y con dificultad para desprender. Dentro de la semilla se observa un endospermo carnoso, entero, color crema y embrión de color verdoso-amarillo, un par de cotiledones ovados, elípticos, curvos, planos y foliáceos, libres y desiguales (Castillo-Campos, 1991; Hernandez et al., 2013).

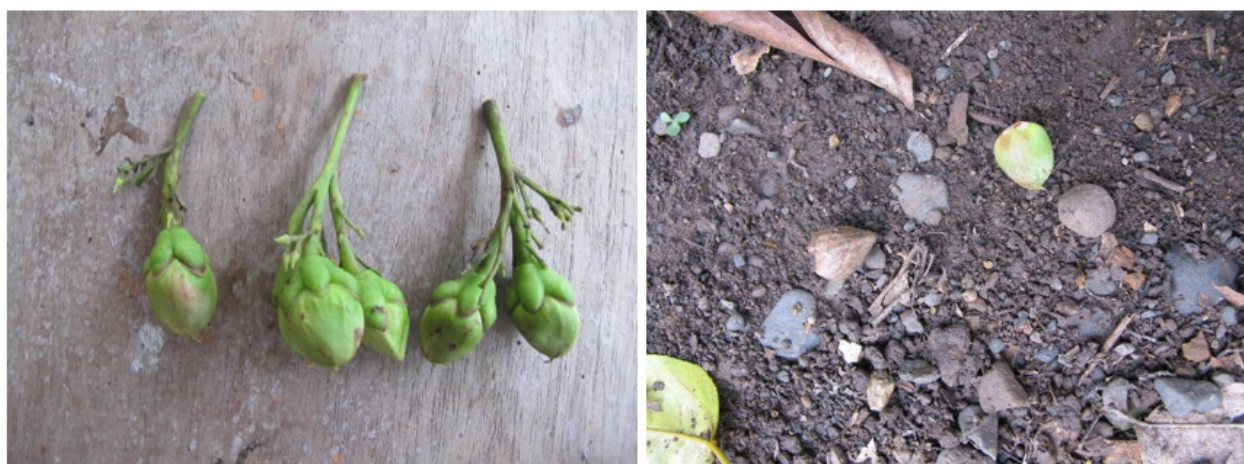


Figure 2. Unripe (left) and ripe (right) fruits of cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) produced in a cachichinal in the sierra de Misantla, Veracruz, Mexico.

Figura 2. Frutos inmaduros (izquierda) y maduros (derecha) de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) producidos en un cachichinal en la sierra de Misantla, Veracruz, México.

inhabitants and farmers from several localities settled within the misanteca region, in the months of April and May. The fruit is dried on rudimentary flat surfaces that use the sunlight and temperature of the sun during the day. For this, collected fruits are spread over the entire sun drying surface for about 20 days by avoiding contact with moisture. After the sun drying, the cachichín is put through a toasting process. Marketing is developed in local markets from several municipalities of the sierra de Misantla, and its sale reaches Xalapa, Veracruz (Lascurain, 2012).

Economy of the cachichín

One part of the cachichín production is intended for self-consumption of producer families; and the other part for small-scale sales, this activity is developed by merchants called cachichineros.

The value chain of the cachichín comprises two stages. The first one involves local collectors and intermediaries who process the raw and fresh, boiled or toasted fruit. During the second stage, there are intermediaries external to the region who are originally from neighboring municipalities and sell the product in markets from other countries of the state of Veracruz, from other states, or even send the product abroad, although on a very small-scale (Lascurain et al., 2009).

In some communities from the sierra de Misantla, the sale revenues of cachichín can exceed those coming from the coffee sale. When it is green, the price of each kilogram of cachichín can reach 10.00 Mexican pesos (USD 0.50), and 100 Mexican pesos USD 5.00 when it is toasted. It is important to highlight that during months of cachichín harvest and production, coffee (*Coffea arabica* L.) is not grown in the region (Lascurain et al., 2012).

Consumption of cachichín seed

The representative bitter taste of the cachichín seed is pleasant on the palate of the consumer, who normally prefers it toasted. Also, the cachichín can be offered as a snack like salty seeds, or as an ingredient for sauces to eat with corn tortillas (Lascurain, López-Binnqüist & Emery, 2016).

The toasting process of cachichín is developed with a stainless-steel rotary cylinder with a docked handle and heated over direct fire (Lascurain, 2012), although producers and merchants have a poor technical control on roasting temperature and final moisture content of the seed.

It is important to highlight that the cachichín seed is a

Para favorecer la germinación, las semillas son remojadas en agua a temperatura ambiente por periodos de 12 a 24 h antes de la siembra. Entre 30 y 35 días posterior a su siembra, la semilla puede alcanzar hasta 8 % de germinación (Howard, 1942; Gutiérrez Báez, 1994). La especie se encuentra bien adaptada a las condiciones ambientales de la sierra de Misantla, aun en temporadas agroclimáticas desfavorables.

La recolección de semilla de cachichín es llevada a cabo comúnmente por pobladores y campesinos de numerosas localidades asentadas en la región misanteca, en los meses de abril y mayo. El fruto es secado en superficies planas rudimentarias que aprovechan la luz y temperatura que emite el Sol durante el día. Para ello, los frutos recolectados se extienden a lo largo y ancho de la superficie de secado al Sol, por aproximadamente 20 días, evitando el contacto con la humedad. Después del secado al Sol, el cachichín es sometido a un proceso de tostado. La comercialización es realizada en mercados locales de diversos municipios de la sierra de Misantla, y su venta llega hasta Xalapa, Veracruz (Lascurain, 2012).

Economía del cachichín

Una parte de la producción del cachichín se destina al autoconsumo de las familias productoras; y otra parte a la venta a pequeña escala, actividad que es facilitada por comerciantes llamados cachichineros.

La cadena de valor de cachichín comprende dos etapas. La primera involucra a los recolectores locales e intermediarios que procesan el fruto en fresco de manera cruda, hervida o tostada. En la segunda etapa se presentan intermediarios externos a la región que son originarios de municipios aledaños y comercializan el producto en mercados de otras ciudades del estado de Veracruz, de otros estados, e incluso envían el producto al extranjero, aunque a muy pequeña escala (Lascurain et al., 2009).

En algunas comunidades de la sierra de Misantla, los ingresos económicos por concepto de venta de cachichín pueden superar a los que se perciben por venta de café. En verde, el costo de cada kilogramo de cachichín puede llegar a los 10.00 pesos mexicanos 50 centavos de dólar estadounidense, y a 100 pesos mexicanos 5 dólares estadounidenses cuando es tostado. Cabe resaltar que durante los meses de cosecha y producción de cachichín, no es cosecha de café (*Coffera arabica* L.) en la zona (Lascurain et al., 2012).

Consumo de la semilla de cachichín

El sabor amargo representativo en la semilla de cachichín, es agradable al paladar del consumidor que

source of important nutrients needed for maintaining good health. For example, in the toasted seed, the protein content can reach 11.5 %, boiled 5.0 %, and around 6.0 % in raw seeds, while sugars are scarce, and only can reach the 0.04 % in toasted seeds (Carballo, 1996).

Physical and chemical properties, and nutraceutical importance of the cachichín seed

Seeds are very complex matrices in which there is a great variability of bioactive compounds, physical states, organic and inorganic contents, functionality and sensory characteristics. Specifically, this seed can contain important compounds for human health (Hernández-Mora et al., 2017). However, more precise and deeper analysis profiles still need to be developed to determine the proteome and metabolome of this seed in order to analyze its nutraceutical functionality. In the Table 1, some physical and chemical characteristics of the cachichín seed are shown, these have been best studied to the date.

The color of the cachichín seed varies according to the storage days, and due to the senescence process itself, together with the decrease in water activity (A_w) (Oro et al., 2008). This parameter is also affected by the bacterial growth or growth of opportunistic microorganisms responsible for triggering catalytic biochemical reactions (Giambastiani & Casanoves, 1998).

The toasting process can drastically affect the seed color. According to the toasting, the brightness range (L^*) varies from 64.43 in its raw state (light) to 37.36 with long-term toasting (dark). By toasting, the shades of red and green (a^*) are stable, while shades of blue and yellow (b^*) decrease from 17.83 to 7.04 and they turn brown (Hernández-Mora et al., 2017), as a consequence of the Maillard reaction (Badui-Dergal, 2006).

The cachichín seed has saponins, sterols and coumarins (Hernandez et al., 2013). Saponins can prevent cardiovascular disorders, cancer and lower blood cholesterol (Barrón-Yáñez, Villanueva-Verduzco, García-Mateos, & Colinas-León, 2009).

Generally, the cachichín seed can contain 5.07–12.59 % of crude protein, and 11.50 % when it is toasted, up to 52.93 % of carbohydrates (from which the 0.66 % are reducing sugars), from 32.51 to 115.68 % of lipids according to the type of extraction (Table 3), 4.15–7.70 % of fiber, and 1.29–2.30 % of ashes (Table 1). The water activity (A_w) has a value of 0.73 and the pH varies around 5 (Chávez-Quiñones, 2010; Hernandez et al., 2013).

normalmente lo prefiere tostado. Además, el cachichín puede ofrecerse en forma de botana como semillas saladas, o como ingrediente de salsas para consumir con tortilla de maíz (Lascurain et al., 2016).

El proceso de tostado del cachichín es realizado por un cilindro rotatorio de acero inoxidable con manivela acoplada y calentado a fuego directo (Lascurain, 2012), aunque los productores y comerciantes tienen poco control técnico sobre temperatura de tostado y humedad final de la semilla.

Es importante destacar que la semilla de cachichín es fuente de importantes nutrientes necesarios para mantener una buena salud. Por ejemplo, en la semilla tostada, el contenido de proteínas puede alcanzar 11.5 %, hervida 5.0 %, y cerca del 6.0 % en semilla cruda, mientras que los azúcares son muy escasos, y pueden alcanzar tan solo 0.04 % en semilla tostada (Carballo, 1996).

Propiedades físicas y químicas de la semilla de cachichín, e importancia nutracéutica

Las semillas son matrices muy complejas en las que se encuentra una gran variabilidad de compuestos bioactivos, estados físicos, contenidos orgánicos e inorgánicos, funcionalidad y características sensoriales. En específico, esta semilla puede contener compuestos de importancia en la salud humana (Hernández-Mora, Castillo-Morales, García-Monatalvo, & Flores-Andrade, 2017). Sin embargo, aún falta hacer perfiles de análisis más precisos y a mayor profundidad para determinar el proteoma y el metaboloma de esta semilla y analizar su funcionalidad nutracéutica. En el Cuadro 1, se presentan algunas de las características físicas y químicas de la semilla de cachichín, que han sido mejor estudiadas a la fecha.

El color de la semilla de cachichín varía de acuerdo con los días de almacenamiento, a consecuencia del propio proceso de senescencia acompañado por la disminución de la actividad de agua (A_w) (Oro et al., 2008). Este parámetro también es afectado por el crecimiento bacteriano o de microorganismos oportunistas responsables de desencadenar reacciones bioquímicas catalíticas (Giambastiani & Casanoves, 1998).

El proceso de tostado puede afectar el color de la semilla de manera más drástica. De acuerdo con el tostado, los rangos de luminosidad (L^*) varía de 64.43 en estado crudo (claro) a 37.36 con tostado prolongado (oscuro). Con el tostado las tonalidades rojo-verde (a^*) son estables, mientras que los tonos azul-amarillo (b^*) disminuyen de 17.83 a 7.04 y se tornan color

**Table 1. Composition and chemical properties of the cachichín seed (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.).
Cuadro 1. Composición y propiedades químicas de la semilla de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.).**

	Carballo, 1996	Centurión et al., 2000	Ballinas et al., 2009	Chávez-Quiñones, 2010	Chagala-Magdaleno, 2012	Hernández et al., 2013	Ovando-Chacón et al., 2018
Proteins (%) / Proteínas (%)	5.17 (SC) 4.90 (SH) 11.50 (ST)	8.00	13.24	13.24	3.65	19.37	12.59
Carbohydrates (%) / Carbohidratos (%)	0.03 (SC) 0.02 (SH) 0.04 (ST)	*	*	52.93	*	*	41.61
Reducing sugars (%) / Azúcares reductores (%)	*	*	*	*	*	0.66	*
Fat (%) / Grasa (%)	*	30.70	35.00	*	33.89	60.02	39.25
Fiber (%) / Fibra (%)	*	*	4.15	4.15	*	7.70	4.25
Moisture (%) / Humedad (%)	*	*	*	52.60	10.62	11.20	64.79
Ashes (%) / Cenizas (%)	*	*	*	3.15	1.29	1.68	2.30
Dry matter (%) / Materia seca (%)	*	*	*	47.40	89.38	*	*
Ether extract (%) / Extracto etéreo (%)	*	*	*	35.00	172.39	*	*
Acid number (%) / Índice de acidez (%)	*	*	*	*	*	0.86	*
Water activity (Aw) / Actividad de agua (Aw)	*	*	*	*	*	0.73	*
pH	*	*	*	5	*	*	*

*: Non reported data. SC: Raw seed. SH: Boiled seed. ST: Toasted seed.

*: Dato no reportado. SC: Semilla cruda. SH: Semilla hervida. ST: Semilla tostada.

Table 2. Physical and chemical properties of the cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) oil obtained from the raw and toasted seed.**Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del aceite de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) a partir de semilla cruda y tostada.**

	Chagala-Magdaleno, 2012	Hernández et al., 2013	Hernández-Mora et al., 2017 ^a
Density (g·mL ⁻¹) / Densidad (g·mL ⁻¹)	*	0.85	0.92 EM 0.92 ES
Moisture (%) / Humedad (%)	*	2.14	0.12 EM 0.19 ES
Water activity (Aw) / Actividad de agua (Aw)	*	0.48	*
Iodine value (g I ₂ ·100g ⁻¹) / Índice de yodo (g I ₂ ·100g ⁻¹)	60.23	48.56	131.65 EM 122.90 ES
Free fatty acids (%) / Ácidos grasos libres (%)	*	0.30	*
Refractive index (40 °C) / Índice de refracción (40 °C)	1.00	1.46	1.47 EM 1.46 ES
Peroxide value (meq O ₂ ·kg ⁻¹ of oil) / Índice de peróxidos (meq O ₂ ·kg ⁻¹ de aceite)	19.59	15.80	*
Saponification number (mg KOH·g ⁻¹) / Índice de saponificación (mg KOH·g ⁻¹)	175.52	170.50	109.85 EM 118.30 ES
Unsaponifiable matter (%) / Materia insaponificable (%)	*	5.35	*
Acid number (%) / Índice de acidez (%)	1.50	0.86	0.68 EM 0.62 ES
Triglyceride content (mg·g ⁻¹ of oil) / Contenido de triglicéridos (mg·g ⁻¹ de aceite)	*	27.58	*

*: Non reported data. ^a: Oil extracted from the toasted cachichín seed. EM: Mechanical oil extraction. ES: Chemical extraction with solvent hexane.

*: Dato no reportado. ^a: Aceite extraído de semilla de cachichín tostada. EM: Extracción mecánica de aceite. ES: Extracción química con solvente hexano.

The characteristics of the cachichín seed oil (Table 2) comprise an Aw of 0.48 % of free fatty acids, 15.80–19.59 % of peroxides, 5.35 % of unsaponifiable matter and a triglyceride content of 27.58 mg·g⁻¹ of oil (Chagala-Magdaleno, 2012; Hernandez et al., 2013). The oil extracted from the raw cachichín seed, shows a density of 0.85 g·mL⁻¹, moisture 2.14 %, iodine value 48.56 - 60.23 g I₂·100g⁻¹, refractive index 1.00–1.46, saponification number 170.50–175.52 mg KOH·g⁻¹ and acid number 0.86–1.50 %. In contrast, the oil extracted from the toasted seed values are: density 0.92 g·mL⁻¹, moisture 0.12–0.19 %, iodine value 122.90–131.65 g I₂·100 g⁻¹, refractive index 1.47–1.46, saponification number 109.85–118.30 mg KOH·g⁻¹, acid number 0.62–0.68 % (Hernández-Mora et al., 2017). In this way, it is observed that a heat treatment applied to the

café (Hernández-Mora et al., 2017), a consecuencia de la reacción de Maillard (Badui-Dergal, 2006).

La semilla de cachichín contiene saponinas, esteroides y cumarinas (Hernandez et al., 2013). Las saponinas pueden prevenir desórdenes cardiovasculares, cáncer y disminuir el colesterol en la sangre (Barrón-Yáñez, Villanueva-Verduzco, García-Mateos, & Colinas-León, 2009).

En términos generales, la semilla de cachichín puede contener 5.07–12.59 % de proteína cruda, y 11.50 % cuando es tostado, hasta 52.93 % de carbohidratos (de los cuales el 0.66 % son azúcares reductores), de 32.51 a 115.68 % de lípidos de acuerdo con el tipo de extracción (Cuadro 3), 4.15–7.70 % de fibra, y 1.29–2.30 % de cenizas (Cuadro 1). La actividad de agua (Aw)

seed, changes the characteristic of the oil and gives a better lipid quality.

In its lipid profile, seed contains a specific composition of unsaturated fatty acids, as 9-octadecenoic acid (oleic acid), isomers 9-octadecenoic acid, 9,12-octadecadienoic acid (linoleic acid), and 9,12,15-octadecatrienoic acid (α -linolenic acid) (Hernandez et al., 2013).

Given the high lipid content of the cachichín seed, it is possible to extract a good quality oil. The yield basically depends on the processing and extraction method, as it can be seen in the Table 3. From the raw seed, the yield of the oil can vary from 34.25 to 60.02 % in extraction by chemical method, from 35.90 to 71.10 % through enzymatic methods and from 105.31 to 115.68 % by ultrasound method. However, when developing a toasted method for the seed, the yield of the oil decreases to 32.51 % through chemical extraction and to 41.3 % through a mechanical extraction (Chagala-Magdaleno, 2012; Hernandez et al., 2013; Hernández-Mora et al., 2017; Ovando-Chacón, Ovando-Chacón, Borraz-Castañeda, & Meza Gordillo, 2018).

In raw sate, the cachichín seed shows a Dynamic viscosity of 25 centipoise ($0.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) (Hernandez et al., 2013). In seeds from other plant species, viscosity varies from 3.78 to $938.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Eromosele & Paschal, 2003; Lafont, Páez, & Portacio, 2011). Due to the low viscosity, the cachichín oil could be considered as a raw material to manufacture automotive lubricants.

The biodiversity of Mexico allows to have plant species with nutraceutical ingredients. Several parts of this plants are used by food, pharmaceutical and

tiene un valor de 0.73 y el pH oscila alrededor de 5 (Chávez-Quiñones, 2010; Hernandez et al., 2013).

Las características del aceite de semilla de cachichín (Cuadro 2) comprende una A_w de 0.48 % de ácidos grasos libres, 15.80–19.59 % de peróxidos, 5.35 % de materia insaponificable y un contenido de triglicéridos de $27.58 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de aceite (Chagala-Magdaleno, 2012; Hernandez et al., 2013). El aceite extraído de semilla cruda de cachichín, presenta densidad de $0.85 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$, humedad 2.14 %, índice de yodo 48.56 - $60.23 \text{ g I}_2\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ índice de refracción 1.00–1.46, índice de saponificación $170.50\text{--}175.52 \text{ mg KOH}\cdot\text{g}^{-1}$ e índice de acidez 0.86–1.50 %. En cambio, en aceite extraído de semilla tostada, los valores son: densidad $0.92 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$, humedad 0.12–0.19 %, índice de yodo $122.90\text{--}131.65 \text{ g I}_2\cdot 100 \text{ g}^{-1}$, índice de refracción 1.47–1.46, índice de saponificación $109.85\text{--}118.30 \text{ mg KOH}\cdot\text{g}^{-1}$, índice de acidez 0.62–0.68 % (Hernández-Mora et al., 2017). De esta manera, se observa que un tratamiento térmico aplicado en la semilla cambia las características del aceite dando una mejor calidad lipídica.

Dentro de su perfil lipídico, la semilla contiene una composición específica de ácidos grasos insaturados, como ácido 9-octadecenoico (ácido oleico), isómeros del ácido 9-octadecenoico, ácido 9,12-octadecadienoico (ácido linoleico), y ácido 9,12,15-octadecatrienoico (ácido α -linolénico) (Hernandez et al., 2013).

Dado el alto contenido lipídico de la semilla de cachichín, es posible extraer buena cantidad de aceite. El rendimiento depende básicamente del procesamiento y del método de extracción, como se puede

Table 3. Yield of the oil in cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) seed according to the extraction methods.

Cuadro 3. Rendimiento de aceite en semilla de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) según métodos de extracción.

Treatment / Tratamiento	Extraction / Extracción	Yield (%) / Rendimiento (%)	Source / Fuente
Raw / Crudo	Ultrasound / Ultrasonido	115.68	Chagala-Magdaleno, 2012
	Ultrasound with hexane / Ultrasonido con hexano	105.31	
Raw / Crudo	Chemical (Soxhlet) / Química (Soxhlet)	60.02	Hernandez et al., 2013
Toasted / Tostado	Mechanical / Mecánica	41.31	Hernández-Mora et al., 2017
	Chemical (Soxhlet) / Química (Soxhlet)	32.51	Hernández-Mora et al., 2017
Raw / Crudo	Chemical (Soxhlet) / Química (Soxhlet)	34.25	Ovando-Chacón et al., 2018
	Enzymatic / Enzimática	35.9 – 71.1	

bioenergetic industries, and more and more progress are made for their knowledge.

Nutraceutical foods have a dual function because they are a source of food and at the same time, they are a source of active ingredients that improve human health (Cruzado & Cedrón, 2012).

Conclusions

The cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) is a species from the sierra de Misantla, Veracruz, Mexico. This species is an important source of raw materials such as wood and fiber, which are used for the construction of family homes in rural communities of the area, as firewood for traditional cuisine, and elaboration of baskets for fishing common freshwater prawns in the Misantla river basin. However, the seed of the fruit is the most used and consumed products from this species. The harvested seed has an important content of proteins, carbohydrates and fiber, in addition, it is a source of secondary metabolites and unsaturated fatty acids with beneficial ingredients for human health. Since it is possible that the seed has hypoglycemia active ingredients, the biochemical and mineral composition of the seed is being analyzed in more detail in this research group.

As a complement to the studies carried out so far, it will be necessary to develop a more detailed characterization of the fatty acids profile that constitute the oil of this seed, as well as the secondary metabolites and mineral profile. With the metabolites and isolated fatty acids, it will be necessary to test its biological effectiveness with model organisms and cells that help to know in greater detail its effectiveness for the benefit of nutrition and human health.

End of English version

References / Referencias

- Badui-Dergal, S. (Ed.). (2006). *Química de los alimentos*. Estado de México, México: Editorial Pearson Educación.
- Ballinas, E. J., Selvas, M. A., García, A., & Caballero, A. (2009). Valor nutricional del aceite de cacaté *Oecopetalum mexicanum*. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(1), 305–309.
- Barrón-Yáñez, M. R., Villanueva-Verduzco, C., García-Mateos, M. R., & Colinas-León, M. T. (2009). Valor nutricional y contenido de saponinas en germinados de huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Saff.), calabacita (*Cucurbita pepo* L.), canola (*Brassica napus* L.) y amaranto (*Amaranthus leucocarpus* S. Watson syn. *hypochondriacus* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(3), 237–243.

apreciar en el Cuadro 3. A partir de la semilla cruda el rendimiento de aceite puede variar de 34.25 a 60.02 % en extracciones por método químico, de 35.90 a 71.10 % a través de métodos enzimáticos y de 105.31 a 115.68 % por método de ultrasonido. Sin embargo, al realizar un proceso de tostado en la semilla, el rendimiento de aceite se reduce a 32.51 % por medio de extracción química y a 41.3 % mediante una extracción mecánica (Chagala-Magdaleno, 2012; Hernandez et al., 2013; Hernández-Mora et al., 2017; Ovando-Chacón, Ovando-Chacón, Borraz-Castañeda, & Meza Gordillo, 2018).

En estado crudo, la semilla de cachichín presenta una viscosidad dinámica de 25 centipoise ($0.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) (Hernandez et al., 2013). En semillas de otras especies de plantas la viscosidad varía en el rango de 3.78 a $938.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Eromosele & Paschal, 2003; Lafont, Páez, & Portacio, 2011). Dada la baja viscosidad del aceite de cachichín, se podría considerar como materia prima para la fabricación de lubricantes automotrices.

La biodiversidad con la que cuenta México, permite disponer de especies de plantas con principios nutraceuticos. Diversas partes de estas especies están siendo utilizadas en las industrias de los alimentos, fármacos y de los bioenergéticos, y cada vez se avanza más en su conocimiento.

Los alimentos nutraceuticos cumplen una doble función, al ser fuente de alimento y a la vez de principios activos que mejoran la salud humana (Cruzado & Cedrón, 2012).

Conclusiones

El cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) es una especie oriunda de la sierra de Misantla, Veracruz, México. Esta especie es fuente importante de materias primas como madera y fibra, útiles en la construcción de casas-habitación en las comunidades rurales de la zona, como leña combustible en la cocina tradicional, y elaboración de canastos para la pesca de langostinos de agua dulce comunes en la cuenca del río Misantla. Sin embargo, la semilla del fruto es el producto de mayor utilidad y consumo de esta especie. La semilla que se obtiene contiene un importante aporte de proteínas, carbohidratos y fibra, además de ser fuente de metabolitos secundarios y ácidos grasos insaturados con principios benéficos en la salud humana. Dado que es posible que la semilla pueda contener principios activos hipoglucemiantes, en este grupo de trabajo se está analizando más a detalle la composición bioquímica y mineral de la semilla.

- Carballo, L. (1996). *Análisis fisicoquímico de alimentos e identificación de tóxicos de Oecopetalum mexicanum ("cachichín") y Dion spinulosum ("chicalito")* (Tesis de Licenciatura). Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- Castillo-Campos, G. (1991). Vegetación y flora del municipio de Xalapa. In *Publicación 30* (1st ed., Vol. 30). Instituto de Ecología, A.C. & H. Ayuntamiento de Xalapa.
- Chávez-Quiñones, E. (2010). Plantas comestibles no convencionales en Chiapas. In *Publicación* (1st ed.). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas-Facultad de Ingeniería. pp. 8–9.
- Chagala-Magdaleno, A. (2012). *Obtención de aceite de cachichín (Oecopetalum mexicanum) aplicando tecnología emergente* (Tesis de Licenciatura). Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México.
- Centurión, H. D., Espinoza, M. J., & Cázares, C. J. G. (2000). Catálogo de plantas de uso alimentario tradicional en la región sierra de estado de Tabasco. In *Publicación Fundación Produce Tabasco - ISPROTAB*, México. pp. 1–26.
- Covarrubias, M., López-Acosta, J. C., Lascrain-angel, M., Rebolledo, V., Pedraza, R. A., & Avendaño-Reyes, S. (2018). Oligarchic forests of *Oecopetalum mexicanum* enriched with native species of sierra de Misantla, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 24(3), e2431596. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431596>
- Cruzado, M., & Cedrón, J. C. (2012). Nutracéuticos, alimentos funcionales y su producción. *Revista de Química PUCP*, 26(1-2), 33–36.
- Eromosele, C. O., & Paschal, N. H. (2003). Characterization and viscosity parameters of seed oils from wild plants. *Bioresource Technology*, 86(2), 203–205. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00147-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00147-5)
- Giambastiani, G., & Casanoves, F. (1998). Calidad fisiológica de semillas de maní (*Arachis hypogaea* L.) con distintos grados de madurez. *Agriscientia*, 15(4), 41–46.
- Greenman, J. M., & Thompson, C. H. (1914). Diagnoses of flowering plants, chiefly from the southwestern United States and Mexico. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1(4), 405–418. <https://doi.org/10.2307/2990140>
- Gutiérrez-Báez, C., & Duno de Stéfano, R. (2014). La familia Icacinaceae en México. *Foresta Veracruzana*, 16(2), 11–22.
- Gutiérrez Báez, C. (1994). Icacinaceae. *Flora de Veracruz*, 80, 1–16.
- Hernández-Mora, A. E., Castillo-Morales, M., García-Montalvo, E. A., & Flores-Andrade, E. (2017). Prueba de toxicidad aguda oral del aceite de la semilla *Oecopetalum mexicanum* en ratones BALB/c. *Journal CIM* 5(2), 1043–1050.
- Hernández-Urban, H. A., Angulo, D. F., Lascrain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., Can, L. L.,..., de Stefano, R. D. (2019). Systematics and phylogeny of *Oecopetalum* (Metteniusaceae), a genus of trees endemic to North and Central America. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 888–900. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33367>
- Hernandez, B., Luna, G., Garcia, O., Mendoza, M. R., Azuara, E.,..., Jimenez, M. (2013). Extraction and characterization of *Oecopetalum mexicanum* seed oil. *Industrial Crops and Products*, 43(1), 355–359. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.022>
- Howard, R. A. (1942). Studies of the Icacinaceae IV. Considerations of the new world genera. *Contributions from the Gray Herbarium of Harvard University*, 142, 3–60.
- Kårehed, J. (2001). Multiple origin of the tropical forest tree family Icacinaceae. *American Journal of Botany*, 88(12), 2259–2274. <https://doi.org/10.2307/3558388>
- Lafont, J. J., Páez, N. S., & Portacio, A. A. (2011). Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (Almendra) del marañón (*Anacardium occidentale* L.). *Información Tecnológica*, 22(1), 51–58. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642011000100007>
- Lascrain-Rangel, M. (2012). *Estudio integral de la fruta silvestre comestible Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps., de la Sierra de Misantla, Veracruz (Tesis de Maestría). Universidad Internacional de Andalucía, Sevilla, España.
- Lascrain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., López-Binnquíst, C., López-Acosta, J. C., Covarrubias-Báez, M., & Duno de Stéfano, R. (2013). Uso y flora leñosa asociada a *Oecopetalum mexicanum* (Icacinaceae): Una especie comestible nativa de la Sierra de Misantla, Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 9(4), 477–484.
- Lascrain, M., López, C., & Zamora, P. (2009). Production chain of *Oecopetalum mexicanum* ('cachichín'): a tropical fruit tree from Mexico. *Acta Horticulturae*, 806, 519–524. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.806.65>
- Lascrain, M., Angeles-Álvarez, G., Ortega-Escalona, F., Ordóñez-Candelaria, V. R., Ambrosio, M., & Avendaño, S. (2007). Características anatómicas y propiedades mecánicas de la madera de *Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps. (Icacinaceae) de la sierra de Misantla, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 13(2), 83–95. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1321230>
- Lascrain, M., Avendaño, S., López, C., López, J. C., & Covarrubias, M. (2012). Ecological, productive and cultural values of cachichín (*Oecopetalum mexicanum*): an edible wild fruit from Veracruz, Mexico. *BGjournal*, 9(2), 13–16. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01124-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01124-3)

Fin de la versión en español

- Lascurain, M., López-Binnqüist, C., & Emery, M. R. (2016). Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico: The case of *Oecopetalum mexicanum*. *Madera y Bosques*, 22(3), 11–21. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.223489>
- Oro, T., Ogliari, P.J., Amboni, R.D.M.C., Barrera-Arellano, D., & Block, J.M. (2008). Evaluación de la calidad durante el almacenamiento de nueces Pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] acondicionadas en diferentes envases. *Grasas y Aceites*, 59(2), 132–138. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i2.501>
- Ovando-Chacón, S. L., Ovando-Chacón, G. E., Borraz-Castañeda, D. A., & Meza-Gordillo, R. (2018). Optimización de la extracción acuosa enzimática del aceite de *Oecopetalum mexicanum*. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 7(18), 71–91. <https://doi.org/10.31644/imasd.7.2018.a04>
- Stull, G. W., Duno de Stéfano, R., Soltis, D. E., & Soltis, P. S. (2015). Resolving basal lamiid phylogeny and the circumscription of Icacinaceae with a plastome-scale data set. *American Journal of Botany*, 102(11), 1794–1813. <https://doi.org/10.3732/ajb.1500298>

COMITÉ EDITORIAL

REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL
AÑO 1, VOLUMEN 1, NÚM. 2, JULIO DICIEMBRE DE 2021

- Roberto González Garduño **URUSSE – Universidad Autónoma Chapingo. México.**
- Carlos Avendaño Arrazate **INIFAP. México.**
- Saúl Espinoza Zaragoza **UNACH. México.**
- Magnolia Conde Felipe **Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España.**
- Eugenio Eliseo Santacruz de León **Universidad Autónoma Chapingo. México.**
- Glaforo Torres Hernández **Colegio de Postgraduados. México.**
- Javier Arece García **Universidad de Matanzas. Estación Experimental de Parasitología Veterinaria. Cuba.**
- Ramón Rivera **Universidad Autónoma Chapingo. México.**
- Alma Amalia Gonzalez Cabañas **CIMSUR UNAM**
- Jorge Alberto Lopez Arévalo **Escuela de ciencias sociales de la Universidad Autónoma de Chiapas**

ÁRBITROS

REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL
AÑO 1, VOLUMEN 1, NÚM. 2, JULIO DICIEMBRE DE 2021

María Eugenia López Arellano **INIFAP**
Ever del Jesús Flores Santiago **URUSSE**
Bernardino Ramírez Hernández **URUSSE**
Martín Gaona Ponce **URUSSE**
Juan Guillermo Cruz Castillo **CRUO**
Fernando C. Gómez Merino **COLPOS**
Alvar Alonzo Cruz Tamayo **UACAM**
Francisco A. Cigarroa Vázquez **Escuela de Estudios Agropecuarios**

CONSEJO CONSULTIVO

REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL
AÑO 1, VOLUMEN 1, NÚM. 2, JULIO DICIEMBRE DE 2021

- Roberto González Garduño **URUSSE**
- Ever del Jesús Flores Santiago **URUSSE**
- Gustavo Almaguer Vargas **Departamento de Fitotecnia.
Universidad Autónoma Chapingo.**
- Martín Gaona Ponce **URUSSE**
- Marcial Castillo Álvarez **URUSSE**
- Guillermo Calderón Zavala **Colegio de Postgraduados**
- Bernardino Ramírez Hernández **URUSSE**
- Ariadna Isabel Barrera Rodríguez **Departamento de Preparatoria Agrícola
Universidad Autónoma Chapingo**
- Anastacio Espejel García **Departamento de Industrias Agrícolas
Universidad Autónoma Chapingo**



Revista Chapingo Serie
Agricultura Tropical

Normas Editoriales

Instrucciones para el autor Guía de autores (Documento borrador)

Equipo Editorial URUSSE

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria Sur-Sureste. San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco; noviembre de 2020.

I. Introducción

La **“Revista Chapingo serie Agricultura Tropical”** es una revista científica fundada en 2020, editada por la Unidad Regional Universitaria Sursureste de la Universidad Autónoma Chapingo con el apoyo de la **Coordinación de Revistas Institucionales** (CORI). Es una revista bilingüe.

La **“Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical”** surge por el interés de dar a conocer los resultados de la labor académica y científica de la URUSSE, que tiene como objetivo central servir como medio de Comunicación para la difusión del conocimiento científico de la Universidad Autónoma Chapingo y de otras instituciones nacionales e internacionales, con el propósito de contribuir al mejoramiento de las actividades agropecuarias y forestales de las zonas tropicales a escala mundial.

Los tiempos actuales reclaman que la Unidad Regional Universitaria SurSureste de la Universidad Autónoma Chapingo dé un salto cualitativo en su quehacer cotidiano y se posicione también como un referente en el campo de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación, y se considera pertinente generar un espacio de comunicación científica como el que pretende ser la Revista **“Chapingo Serie Agricultura Tropical”**. Ser un referente en el ámbito hispanoparlante es uno de sus objetivos iniciales, por lo que se siguen los lineamientos del **Sistema**

de Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología (SCRMCyT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), así como buscará ser incluida en bases de datos e índices científicos.

La publicación está dirigida a la comunidad científica-académica nacional e internacional, en todos los campos relativos a la producción agrícola, pecuaria y forestal de los trópicos, entre ellos: a) Mejoramiento, b) Recursos Genéticos, c) Nutrición, d) Sustentabilidad, e) Comunicación Rural, f) Innovación en el trópico, g) Aspectos socioeconómicos, h) Cuestiones históricas, i) Enseñanza y extensionismo agrícola en zonas tropicales, j) Políticas públicas y, j) otras a recomendación del Comité Consultivo y Comité Editorial de la Revista.

La revista recibirá colaboraciones originales e inéditas, escritas en español, inglés, francés y portugués y que no se encuentren postuladas (parcial o totalmente) de forma simultánea en otras publicaciones científicas nacionales e internacionales.

II. Ética en la publicación

La **Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical** es respetuosa y aplica criterios éticos en todos sus procesos, la mayoría de ellos están normados en los **Lineamientos para el funcionamiento editorial** de la misma, aunado a ello, sigue la **política de ética** del Comité de Ética para Publicaciones (**COPE** por sus siglas en inglés).

III. Tipos de escritos aceptados

- a) Artículos científicos (por invitación y proposición). Son escritos inéditos, resultado de investigaciones científicas con énfasis en el análisis de la problemática del sector agrícola, pecuario, forestal y socioeconómico.
- b) Nota científica o tecnológica. Comunica resultados de estudios pequeños, hallazgos o resultados preliminares de estudios complejos que aporten conocimientos nuevos o hipótesis
- c) Ensayos. Son escritos breves, originales e inéditos donde el autor o autores dan a conocer su interpretación personal sobre un tema específico.
- d) Revisiones Críticas o Estados del Arte. Son escritos producto de la revisión profunda, amplia y actualizada, con un enfoque crítico, en donde se caracterizan las tendencias analíticas sobre temáticas emergentes en el análisis de lo rural.
- e) Reseñas (por invitación y proposición). Texto que describe o resume los puntos de vista sostenidos en un libro, en el cual el reseñista expone sus puntos de vista de acuerdo o desacuerdo con el autor e invita a la lectura de la obra.

Excepto las reseñas, todos los demás tipos de contribuciones serán sometidos a un proceso de arbitraje (dictaminación o revisión) por pares “doble ciego”.

IV. Secciones

Agricultura Tropical publicará los escritos en las secciones siguientes:

- Recursos Naturales
- Ciencia animal
- Ciencia agrícola
- Socioeconomía

V. Modelo general para todas las secciones

Todos los textos postulados a la revista deberán cumplir irrestrictamente las siguientes indicaciones:

a) Portada

- Título del texto
- Nombre del autor o autores (identificando autor para correspondencia)
- Institución de adscripción (Universidad, Facultad o Instituto y, Cuerpo Académico o Grupo de Investigación)

- País
- Correo electrónico (autor para correspondencia)
- identificador ORCID
- Sección para la cual se postula el texto
- Fecha de envío

b) Formato general del texto

- Tipografía: Times New Roman
- Tamaño: 12 puntos
- Espaciado: 1.5 líneas
- Numeración: Al final de la página.
- Sin encabezados ni marca de agua
- Márgenes: 2.5 cm en los cuatro lados
- Formato: Word 2003-2013 (.doc, .docx). No se aceptarán documentos con otro procesador, excepto los referentes a imágenes, cuadros, figuras, y fotografías.

VI. Proceso Editorial

Postulación. Toda postulación se deberá realizar mediante el uso del Gestor Editorial (Open Journal Systems), a través de este en archivos separados se enviarán la página frontal de la contribución, el cuerpo del texto y, una **carta de postulación**, según el modelo facilitado por la revista, la cual deberá ser firmada por todos los autores. En dicha carta se solicitará la evaluación para su eventual publicación en alguna de las secciones de **Agricultura Tropical**. En ella se deberá expresar explícitamente que se trata de un trabajo inédito, si se ha presentado en algún congreso deberá indicarlo, que se ha enviado únicamente a **Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical** para su evaluación y en su caso su publicación; debe destacar su originalidad y novedad, así como los principales hallazgos, que, a juicio de los actores, tiene el trabajo postulado.

Una contribución se considerará como “previamente publicada” cuando ya se haya difundido en memorias de congreso o cualquier otro evento académico y que cuente con ISSN o ISBN.

Aunado a ello, se deberá anexar una **Carta de Conflicto de Intereses**. En ella los autores deberán indicar explícitamente la existencia o no de conflicto de intereses.

Recepción. Al recibirse la postulación el gestor editorial OJS emite automáticamente un correo de recepción firmada por el Editor Principal (EP) de Agricultura Tropical. El EP realizará una lectura del texto para verificar que la contribución cumpla con las normas editoriales y los criterios éticos de la revista, aunado a ello se verificará el contenido con

un software especializado para identificar similitud y plagio. Una vez verificado, se le asignará una clave y se iniciará el proceso de revisión por pares, dicha información se les enviará a los autores vía correo electrónico a través de OJS.

Revisión por pares. El Editor Principal enviará el texto postulado al Editor Adjunto (EA) de la sección correspondiente, el cual realizará una nueva revisión y en caso de detectar algún faltante regresará al Editor Principal la contribución. De no encontrar ningún faltante el EA procederá a identificar pares académicos expertos en el objeto de estudio, enfoque metodológico o campo de conocimiento relativo al texto.

En todo momento los diversos actores del proceso de postulación, recepción y evaluación por pares deberán ajustar su actuación a criterios éticos, los cuales se encuentran establecidos en los **Lineamientos Editoriales de Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical**, entre otros documentos.

Aceptación. El proceso de revisión y aceptación de trabajos será realizado en un lapso promedio de cuatro meses a partir de la fecha de recepción de la postulación, comprendiendo en este plazo los casos en que el texto haya sido aceptado con modificaciones mayores o menores.

Corrección. Una vez aceptado para su publicación el texto será regresado a sus autores para que procedan a realizar los ajustes necesarios requeridos. El cual deberá ser devuelto a través de OJS, en el plazo establecido, en caso de no hacerlo en el plazo establecido se considerará como desistimiento y será dado de baja automáticamente.

Traducción. El texto corregido será enviado para la respectiva traducción para que se realice la versión inglesa, dicha versión será enviada a los autores para que hagan las consideraciones pertinentes.

Pruebas de galeras. Las versiones en español e inglés serán enviadas en prueba de galeras al autor para correspondencia para que dé su visto bueno final, de no hacerlo en tiempo y forma se considerará que es una afirmativa ficta.

Acceso abierto. En caso de que la contribución sea aceptada para su publicación en **Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical**, la misma se hará de acuerdo con las políticas de acceso abierto a las que se adscribe la revista.

VI. Estructura de los textos

Título. Escrito en español e inglés o algún otro idioma en caso de postularse en idioma distinto a dichas lenguas (portugués o francés), con un máximo de 150 caracteres. Que refleje la esencia del trabajo.

Resumen. Síntesis del trabajo con una extensión máxima de 250 palabras, la cual debe incluir los aspectos más importantes de la contribución. Debe contener introducción al tema, objetivos, resultados y discusión y conclusiones o hallazgos más importantes. La síntesis deberá ser escrito en el idioma original de la contribución.

Palabras clave. Sugerencia de tres a cinco palabras (simples o compuestas) escritas en español e inglés, se debe cuidar que no se repitan las del título. Para ello puede auxiliarse de un tesoro, por ejemplo, el de la **UNESCO**.

Abstract y Keywords: Resumen y palabras clave traducidos al inglés, de cualquier manera, el traductor revisará que esté correctamente escrito.

Introducción. Debe ser breve, reflejar la importancia del problema investigado, los objetivos del problema tratado. Abordar el “estado del arte”, es decir, es deseable que en él se establezcan los referentes teóricos, los antecedentes bibliográficos, epistemológicos y de otro tipo, que den fundamento a los objetivos y la metodología planteada.

Enfoque metodológico. En dicho apartado se describirá de manera puntual lo más relevante y exclusivo sobre la metodología usada (cualitativa o cuantitativa), el por qué la elección de tal metodología, para que en su caso y posibilidad otros investigadores puedan replicar el trabajo de investigación.

Resultados y discusión. Es deseable que los resultados obtenidos sean expuestos de manera clara y concisa. Es recomendable contrastar los resultados obtenidos con los de otros trabajos que utilicen similar o diversa metodología. Haciendo patente la confrontación teórica y metodológica y recuperando el “estado del arte” expresado en la introducción y en el apartado de enfoque metodológico. Este es un componente muy importante del artículo, ya que es donde se desarrollan las aportaciones científicas y en su caso, metodológicas del artículo en cuestión. Se invita a los autores a desarrollar este apartado de resultados y discusión mediante subtítulos que hagan amena la lectura e inviten al lector a la reflexión.

Conclusiones o hallazgos. En este apartado es recomendable que los artículos contengan aseveraciones basadas en los resultados reportados y que sea visible la concordancia con los objetivos del trabajo. También se pueden incorporar reflexiones sobre las dificultades enfrentadas durante la realización del trabajo.

Referencias y citas. Se deben incluir únicamente aquellos materiales que se citaron en el texto, el cual se debe elaborar en el formato APA 6.

Es opcional el uso de los encabezados: enfoque metodológico y resultados y discusión; se acepta que puedan usarse otros encabezados siempre y cuando los autores hagan claridad que se refiere a los mismos.

Agradecimientos. Reconocimientos a personas, instituciones, fondos y becas de investigación, entre otros, que los autores consideren proveyó apoyo o colaboró en forma importante en el desarrollo del estudio. Los autores la enviarán una vez que la contribución haya sido aceptada.

Declaración de conflictos de intereses. Es el señalamiento explícito a través del cual se expresa la posible existencia durante el proceso de la investigación reportada.

Consentimiento informado. En caso de que en el texto se utilicen testimonios, entrevistas, imágenes fotográficas, la utilización de los mismos, deberán estar respaldados por un documento formal de autorización de uso, con la plena garantía del anonimato, excepto cuando se presente un documento que exprese lo contrario.

VII. Formato

a) Extensión por tipo de contribución

Los artículos tendrán una extensión máxima de 6,000 palabras, incluyendo cuadros, figuras, referencias bibliográficas.

Los ensayos tendrán una extensión de 5,000 palabras, incluyendo cuadros, figuras, referencias bibliográficas.

Las notas científicas o tecnológicas tendrán una extensión de 4,500 palabras, incluyendo cuadros, figuras y referencias bibliográficas.

Las reseñas de libro una extensión de 1,300 palabras, sin cuadros, figuras y referencias bibliográficas. Deberán contener en la primera página en la parte superior la referencia completa del libro reseñado, el autor debe hacer el esfuerzo para destacar sus puntos de vista con el del autor del libro en cuestión.

b) Fórmulas, imágenes y cuadros

En caso de que en el texto se usen fórmulas matemáticas deberán ser elaboradas con el editor de ecuaciones de Word en Times 12 puntos. En el caso del uso de cuadros se escribirá un título corto y preciso, comenzando con la palabra Cuadro con la letra inicial en mayúscula, seguida del número arábigo correspondiente consecutivo. Los cuadros únicamente contarán con tres líneas horizontales principales: arriba, abajo del título del cuadro, abajo del nombre que identifica a cada columna y abajo como cierre del cuadro, antes de la referencia a la fuente. No deben insertarse líneas verticales. Los cuadros deberán ser construidas en Word, no deben usarse tabuladores o líneas realizadas con la herramienta de dibujo del mismo software.

Las figuras (gráficas o imágenes) pueden integrarse al texto o enviarse por separado, en cuyo caso se deberá indicar el sitio de inserción, deberán cumplir con las siguientes características: resolución de 300 ppp; tamaño de 945 x 945 píxeles en formato JPG o TIFF; en caso de usar texto, deberá ser Times New Roman de 8 puntos, completo y legible. En caso de usar imágenes con derechos de autor los autores serán responsables de contar con la autorización para su uso.

Es probable que por consideraciones estrictamente estéticas derivadas del diseño editorial las figuras puedan ser reducidas de tamaño. Toda figura deberá ser diseñada en Word, estar agrupada y no deberá tener adiciones de ningún tipo, a través del uso de herramienta de dibujo, letras, símbolos y líneas; de existir dicha necesidad, la imagen debe agruparse como una sola y ser guardada como imagen con la resolución mínima ya indicada anteriormente. Los autores autorizan al Editor Principal a proponerles soluciones gráficas alternativas.

En la parte superior derecha deberá colocarse la leyenda "Figura" con mayúscula en la letra inicial, seguida del número arábigo consecutivo correspondiente y un texto breve que cuente con la información suficiente y necesaria para comprenderla, debe entenderse con la información mínima necesaria, dicha información podrá indicarse en el cuerpo del texto, además que en el cuerpo del texto deberá hacerse alusión a la figura. El título de esta, no deberá ser parte de la figura.

En el cuerpo de la figura se deben representar los números y símbolos necesarios, en caso de ser necesario se deberá aclarar su significado en una nota al pie de la figura, colocada inmediatamente después de la fuente.

LA EDICIÓN DE ESTE NÚMERO
ESTUVO A CARGO DE LA
COORDINACIÓN DE REVISTAS
INSTITUCIONALES
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DICIEMBRE, 2021