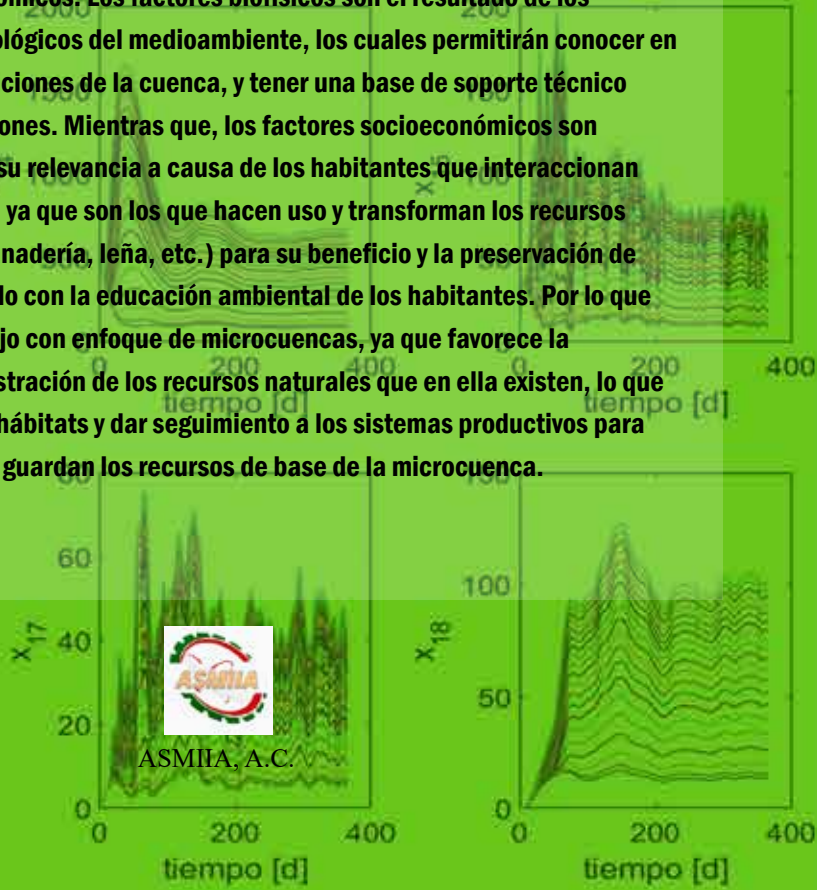


Una cuenca hidrográfica es un territorio que se caracteriza por que el agua de lluvia que cae en su superficie y escurre hacia un cauce común. Representa un mosaico de ecosistemas donde se distinguen vínculos entre territorios de zonas altas y bajas, lo que crea un empalme físico entre comunidades alejadas unas de otras. La cuenca es la unidad de planeación, y la microcuenca es la unidad básica de ordenación e intervención. México posee una gran diversidad ambiental la cual se refleja en la diversidad de formas y tamaños de cada región hidrográfica, donde la estructura particular y las variaciones climáticas de cada una se manifiesta a través de fenómenos geomorfológicos específicos. En estos ambientes, y como resultado de la dinámica poblacional, se perfila una distinción en las actividades productivas.

En las cuencas y microcuencas hidrográficas se integran factores biofísicos y socioeconómicos. Los factores biofísicos son el resultado de los elementos físicos y biológicos del medioambiente, los cuales permitirán conocer en forma rápida las condiciones de la cuenca, y tener una base de soporte técnico para la toma de decisiones. Mientras que, los factores socioeconómicos son importantes debido a su relevancia a causa de los habitantes que interaccionan con las microcuencas, ya que son los que hacen uso y transforman los recursos naturales (cultivos, ganadería, leña, etc.) para su beneficio y la preservación de estos se ve influenciado con la educación ambiental de los habitantes. Por lo que es importante el trabajo con enfoque de microcuencas, ya que favorece la comprensión y administración de los recursos naturales que en ella existen, lo que permite mantener los hábitats y dar seguimiento a los sistemas productivos para conocer el estado que guardan los recursos de base de la microcuenca.



FRANCISCO PÉREZ SOTO, ESTHER FIGUEROA HERNÁNDEZ,
ROSA MARÍA GARCÍA NÚÑEZ, PABLO EMILIO ESCAMILLA GARCÍA,
MARTHA JIMÉNEZ GARCÍA Y MARÍA ELENA TAVERA CORTÉS (Compiladores)

FACTORES PRODUCTIVOS EN LA
AGRICULTURA MEXICANA

FRANCISCO PÉREZ SOTO, ESTHER FIGUEROA HERNÁNDEZ,
ROSA MARÍA GARCÍA NÚÑEZ, PABLO EMILIO ESCAMILLA GARCÍA,
MARTHA JIMÉNEZ GARCÍA Y MARÍA ELENA TAVERA CORTÉS
(Compiladores)

FACTORES PRODUCTIVOS EN LA AGRICULTURA MEXICANA



FACTORES PRODUCTIVOS EN LA AGRICULTURA MEXICANA

Francisco Pérez Soto, Esther Figueroa Hernández,
Rosa María García Núñez, Pablo Emilio Escamilla García,
Martha Jiménez García y María Elena Tavera Cortés
(Compiladores)

FACTORES PRODUCTIVOS EN LA AGRICULTURA MEXICANA



ASOCIACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA A.C.



ASOCIACIÓN
MEXICANA DE
INVESTIGACIÓN
INTERDISCIPLINARIA A.C.

FACTORES PRODUCTIVOS EN LA AGRICULTURA MEXICANA

ÍNDICE

Capítulo I

Medición de la evapotranspiración del jitomate en invernadero
con fines de programación de riego
Cándido Mendoza Pérez, Juan Enrique Rubiños Panta, Antonio Martínez Ruiz y
Demetrio Salvador Fernández Reynoso9

Capítulo II

Evaluación de la aplicación de cuatro concentraciones de etileno para
la producción de goma de mezquite (*prosopis spp*) en Naica, Chihuahua
Cristian Alejandro Chávez Juárez, María del Rosario Baray Guerrero,
Jorge Alberto Sánchez Bernal y María Elvira González Anchondo22

Capítulo III

Propuesta de manejo de la roya del cafeto (*hemileia vastatrix*)
Eduardo Santiago Elena34

Capítulo IV

Caracterización y clasificación de sistemas agroforestales con metepantle en España, Tlaxcala
José Elías Méndez Cervantes, Rosa María García Núñez,
Miguel Uribe Gómez y Mayra Clementina Zamora Elizalde43

Capítulo V

Producción y cosecha de goma de mezquite (*prosopis glandulosa*) y huizache (*vachellia farnesiana*)
con dos tratamientos de etileno en la región de Naica, Chihuahua
María Laura Díaz Baca, José Eduardo Magaña Magaña,
María Elvira González Anchondo y Martha Itzel Macías Rivera.....58

Primera edición en español 2022

ISBN: 978-607-99921-3-2

D.R. © Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIIA, A.C.)

Editado en México

Política de acceso abierto. Este libro proporciona acceso abierto a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global del conocimiento, y pueden ser usados gratuitamente para fines no comerciales, dando el crédito a los autores y a la ASMIIA, A.C. Cada trabajo es responsabilidad exclusiva de sus autores y se publican por respeto a la pluralidad, y no necesariamente expresan los puntos de vista de ASMIIA, A.C.

Capítulo VI

Efecto de <i>Beauveria bassiana</i> (Bals.) Vuill y <i>Metharizium anisopliae</i> (Metch.) Sor. en el “frailecillo” Macroductylus sp. (Coleoptera: Melolonthidae) María Sol Robledo y Monterrubio, Higinio Francisco Arias Velázquez, Gerardo Arias Robledo y Joselin Arias Robledo Mara.....	69
--	----

Capítulo VII

Caracterización socioeconómica y biofísica de la microcuenca agua escondida, Puebla Selene del Carmen Arrazate Jiménez, Mayra Clementina Zamora Elizalde, Rosa María García Núñez, Julio Cesar Buendía Espinoza y Alejandro Santiago Sánchez Vélez.....	80
--	----

Capítulo VIII

La enseñanza agrometeorológica a distancia en el nivel Medio Superior de Chapingo Sergio Cruz Hernández, Gerardo Noriega Altamirano, Rosa María García Núñez y Alexander Martínez Hernández.....	95
--	----

Capítulo IX

Calidad del agua y conservación de <i>ambystoma leorae</i> en los manantiales de paso de Tula, México Alejandro Santiago Sánchez Vélez, Paola Esmeralda Rodríguez Domínguez, Rosa María García Núñez y Julio Cesar Buendía Espinoza.....	106
---	-----

Capítulo X

Propiedades mecánicas de los frutos: Una revisión sistemática de literatura con análisis bibliométrico Yesenia Manilla Téllez, Artemio Pérez López y Cynthia Serna Abascal	120
---	-----

Capítulo XI

Metodología para el cálculo de transferencia de energía térmica en un alambique de producción de mezcal tipo artesanal Regina Marín Cabrera, Artemio Pérez López, Carlos Alberto Villaseñor Perea y Arturo López Mancera.....	127
--	-----

Presentación

En este tomo se revisan los siguientes temas:

MEDICIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JITOMATE EN INVERNADERO CON FINES DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO, determina la evapotranspiración y requerimientos hídricos diarios del jitomate por medio de lisímetros de drenaje en invernadero. El trabajo se realizó en un invernadero en condiciones de hidroponía.

La EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE CUATRO CONCENTRACIONES DE ETILENO PARA LA PRODUCCIÓN DE GOMA DE MEZQUITE (*PROSOPIS SPP*) EN NAICA, CHIHUAHUA, tuvo como objetivo evaluar la producción de goma de mezquite en base al tratamiento de la hormona vegetal “etileno” en cuatro diferentes concentraciones.

Una PROPUESTA DE MANEJO DE LA ROYA DEL CAFETO (*HEMILEIA VASTATRIX*), determina el efecto fungicida y fungistáticos de diversos ingredientes activos sobre el manejo de plaga en el cultivo de café.

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON METEPANTLE EN ESPAÑITA, TLAXCALA, obtuvo la historia agraria, un mapa con la distribución de los SAF en las unidades de paisaje delimitadas, la clasificación de los SAF y las tres categorías de productores del lugar.

Por su parte, PRODUCCIÓN Y COSECHA DE GOMA DE MEZQUITE (*PROSOPIS GLANDULOSA*) Y HUIZACHE (*VACHELLIA FARNESIANA*) CON DOS TRATAMIENTOS DE ETILENO EN LA REGIÓN DE NAICA, CHIHUAHUA, concluye que es posible producir goma en ambas especies de manera controlada sin lastimar a los árboles, contribuyendo al desarrollo económico y sostenible de los habitantes del desierto.

En el EFECTO DE *BEAUVERIA BASSIANA* (BALS.) VUILL Y *METHARIZIUM ANISOPLIAE* (METCH.) SOR. EN EL “FRAILECILLO” *MACRODUCTYLUS SP.* (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE), destaca que esta cepa fue más efectiva que la de *M. anisopliae* sobre la mortalidad de la plaga citada por lo que se sugiere su empleo moderado para controlarla.

En La CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y BIOFÍSICA DE LA MICROCUENCA AGUA ESCONDIDA, PUEBLA, identifica los rasgos socioeconómicos y biofísicos de la microcuenca aludida a través de consultas bibliográficas y elaboración de mapas para identificar las condiciones que existen en ella.

En el estudio LA ENSEÑANZA AGROMETEOROLÓGICA A DISTANCIA EN EL NIVEL MEDIO SUPERIOR DE CHAPINGO, analiza las estrategias didácticas implementadas para garantizar el aprendizaje y concluye, que existen estrategias para motivar y articular la parte teórica y práctica de la agronomía.

El trabajo CALIDAD DEL AGUA Y CONSERVACIÓN DE AMBYSTOMA LEORAE EN LOS MANANTIALES DE PASO DE TULA, MÉXICO. Es un estudio que demuestra la eficiencia y confiabilidad del biomonitorio, para obtener resultados que contribuyen al establecimiento de una planeación asertiva de manejo y conservación del recurso agua.

Las PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS FRUTOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA CON ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO, analizó cualitativa y cuantitativamente la información científica en torno a las propiedades mecánicas en frutos empleando la metodología PRISMA, complementando con metaanálisis.

Finalmente, METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA TÉRMICA EN UN ALAMBIQUE DE PRODUCCIÓN DE MEZCAL TIPO ARTESANAL, propone la elaboración de un análisis de transferencia de calor durante el proceso en un palenque de mezcal y revisa aspectos importantes a tomar en cuenta para la optimización del mismo.

Fraternalmente

Francisco Pérez Soto

Capítulo I

Cándido Mendoza Pérez¹, Juan Enrique Rubiños Panta¹,
Antonio Martínez Ruiz² y Demetrio Salvador Fernández Reynoso¹

MEDICIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JITOMATE EN INVERNADERO CON FINES DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO

RESUMEN

El cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), es una de las cinco hortalizas más cultivadas en México, tanto a cielo abierto como en invernadero. Uno de los principales problemas en la producción del jitomate en el centro de México es por la escasa información sobre sus requerimientos de riego por lo que es importante estudiar su tasa de transpiración considerando las variables climáticas más influyentes en el proceso. El objetivo de este trabajo fue determinar la evapotranspiración y requerimientos hídricos diarios del jitomate por medio de lisímetros de drenaje en invernadero. El trabajo se realizó en un invernadero en condiciones de hidroponía. Se utilizó tezontle como sustrato y un sistema de riego por goteo. El experimento consistió en tres tratamientos, a un tallo (T1), a dos tallos (T2) y a tres tallos (T3) por planta. Los resultados indican que la evapotranspiración diaria del cultivo es del orden de 0.1 L pl⁻¹ en la etapa inicial para los tres tratamientos, hasta 1.47, 1.59 y 2.0 L pl⁻¹ en la etapa de máxima demanda para T1, T2 y T3 respectivamente. El volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo agrícola fue de 135, 146 y 148 L pl⁻¹ para T1, T2 y T3 respectivamente, con una productividad de agua de 49, 41 y 36 kg m⁻³ y un rendimiento promedio de 20, 18 y 16 kg m⁻² para T1, T2 y T3 respectivamente. Se presentan las demandas hídricas del jitomate en sus diferentes etapas fenológicas.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L, lisímetro de drenaje, tezontle, riego y nutrición.

¹ Posgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados
Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, estado de México. C.P. 56230. (mendoza.candido@colpos.mx, jerpikike@colpos.mx, demetrio@colpos.mx)

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). San Martinito. C.P. 74100. Puebla. Pue. amartinezr@gmail.com

ABSTRACT

The tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the five most cultivated vegetables in Mexico, both in the open air and in the greenhouse. One of the main problems in tomato production in central Mexico is due to the scarce information on its irrigation requirements, so it is important to study its transpiration rate considering the most influential climatic variables in the process. The objective of this work was to determine the evapotranspiration and daily water requirements of the tomato by means of drainage lysimeters in the greenhouse. The work was carried out in a greenhouse under hydroponic conditions. Tezontle was used as a substrate and a drip irrigation system. The experiment consisted of three treatments, one stem (T1), two stems (T2) and three stems (T3) per plant. The results indicate that the daily evapotranspiration of the culture is of the order of 0.1 L plt^{-1} in the initial stage for the three treatments, up to 1.47, 1.59 and 2.0 L plt^{-1} in the stage of maximum demand for T1, T2 and T3 respectively. The gross volume applied per plant throughout the agricultural cycle was 135, 146 and 148 L plt^{-1} for T1, T2 and T3 respectively, with a water productivity of 49, 41 and 36 kg m^{-3} and an average yield of 20, 18 and 16 kg m^{-2} for T1, T2 and T3 respectively. The water demands of the tomato are presented in its different phenological stages.

Key words: *Solanum lycopersicum* L, lysimeter, tezontle, irrigation and nutrition.

INTRODUCCIÓN

El jitomate o tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor consumo en todo el mundo (Chapagain y Wiesman, 2004) y la principal hortaliza cultivada bajo invernadero.

En la actualidad el aumento de la población a nivel mundial exige una mayor producción de alimentos con menos insumos, entre ellos los más importantes son los fertilizantes y el agua de riego. El constante incremento de población necesita mayores cantidades de alimento, para poder satisfacer esta demanda teniendo presente la pérdida de terrenos agrícolas, se necesita contar con métodos de producción de alimentos que garanticen altos rendimientos en espacios pequeños. Bajo esta necesidad existe una creciente exigencia comercial por aumentar la calidad del producto y por lograr además una mayor precocidad de los cultivos. El método más eficaz para alcanzar tales resultados es la producción de cultivos, forzada con el uso de invernaderos. Por las bondades que tiene este tipo de agricultura, se garantiza que se realice una producción de cultivos durante todo el año y con un rendimiento por unidad de superficie mucho mayor que el que se obtiene con los sistemas tradicionales (Rosegrant et al., 2007).

El uso de invernaderos no es nuevo en el país, actualmente existen agricultores que conocen el manejo de este sistema de producción, sin embargo persiste un vacío en el conocimiento del comportamiento de las variables meteorológicas dentro de los invernaderos. En México no se cuenta con métodos específicos que permitan bajo estas condiciones, calcular los requerimientos de agua de los cultivos (Zamora y Guerrero, 2005).

La poca disponibilidad de agua observada en algunas presas de la República Mexicana en los últimos años y la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos hacen urgente el establecimiento de estrategias para hacer un uso racional y eficiente de este recurso. Entre estas estrategias destaca

la tecnificación de los sistemas de riego para mejorar su eficiencia y rentabilidad (Catalán y Villa, 2009). La programación del riego es un proceso de decisión orientado a determinar las cantidades de agua por aplicar y las fechas de aplicación de cada riego, para minimizar deficiencias o excesos de humedad en el suelo que pudieran causar efectos adversos en el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. La programación de los riegos normalmente se ejecuta sin soporte técnico alguno, sino únicamente con base en la experiencia de los productores.

El conocimiento del requerimiento de agua del cultivo es indispensable para realizar una planificación correcta del riego y mejorar así la eficiencia de los sistemas del mismo; proveyendo al cultivo de la cantidad de agua suficiente para satisfacer plenamente sus necesidades (Fernández, 2000). Con el riego se debe aplicar la cantidad justa para cubrir las necesidades en el consumo de agua del cultivo. Un exceso de agua de riego supone el lavado de fertilizante y desperdicio, mientras que una aportación de agua inferior a las necesidades de consumo de agua del cultivo puede llegar a provocar déficit hídrico y por lo tanto una reducción de la producción. En la agricultura forzada se modifican algunos factores ambientales que provocan cambios en la evapotranspiración (Antón, 2002) por lo tanto, para alcanzar los objetivos del proyecto resulta de importancia central la medición de la evapotranspiración bajo condiciones de invernadero y evaporación que unidas al estado fenológico del cultivo son pieza clave para generar un método para estimar la evapotranspiración de cultivos que crecen en ambientes forzados.

Las necesidades hídricas del cultivo se relacionan con la evapotranspiración (*ET*), proceso del sistema suelo-planta que combina la pérdida de agua del suelo por evaporación y de la planta por transpiración (Burman y Pochov, 1994). Según la FAO (Allen et al., 1998), la evapotranspiración de referencia (*ET₀*) se define como la máxima cantidad de agua que pierde un cultivo hipotético de referencia de una altura de 0.12 m, una resistencia de la superficie de 70 s m^{-1} y un albedo de 0.23 m, similar a la *ET* que ocurre en una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, que crece activamente y que está bien regada.

Para estimar la evapotranspiración de un cultivo específico se necesita considerar al propio cultivo y a las condiciones ambientales. Las condiciones meteorológicas determinan la demanda evaporativa, mientras que el dosel del cultivo y la humedad del suelo determinan la magnitud en que la demanda será satisfecha. La *ET* de un cultivo puede ser estimada si están disponibles las mediciones o estimaciones de *ET₀*. Estas mediciones o estimaciones representan la demanda meteorológica, y los coeficientes del cultivo representan la habilidad de las plantas y del suelo para satisfacer esa demanda (Jensen y Wright, 1978).

Entre los métodos usados para medir la evapotranspiración en una superficie cultivada destaca el del lisímetro que mide la evaporación del suelo desnudo o la evapotranspiración del área sembrada con un cultivo. Los lisímetros son grandes depósitos llenos de suelo, generalmente instalados en el campo para representar las condiciones ambientales naturales, y en el que las condiciones del sistema agua-suelo-planta pueden regularse a conveniencia y medirse con más precisión que en el perfil natural de suelo (Hillel, 1980). Este método aporta una medición directa de la evapotranspiración del cultivo, y se usa frecuentemente para el estudio de efectos climáticos y para evaluar los métodos de estimación. Cuando

no se dispone de lisímetro, comúnmente se usa el método del balance hídrico en campo, el cual permite calcular la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) y comprueba que ésta estima la pérdida de humedad en el sistema suelo-planta-atmósfera, importante en la programación del riego (Lubana et al., 2001).

Se han utilizado diversos métodos experimentales para obtener la ET_0 a partir de la información meteorológica y la ET_c a partir de coeficientes de cultivo (K_c), métodos que han generado diferentes tipos de curvas (Doorenbos y Pruitt, 1977; Jensen, 1981; Burman y Pochov, 1994; Allen et al., 1998; Dodds et al., 2005). En nuestro país se han utilizado fórmulas empíricas para la determinación de evapotranspiración bajo invernadero, pero no se sabe con exactitud si estos valores se correlacionan bien con la evapotranspiración real dentro de estos, ya que los datos de evapotranspiración medida directamente son prácticamente inexistentes. Sobre esta base es de primordial importancia establecer un procedimiento sencillo y económico con el fin de realizar medidas de evapotranspiración en el cultivo forzado, que permita ajustar fórmulas de estimación en base a elementos climáticos (Zamora y Guerrero, 2005).

El conocimiento de las demandas hídricas del jitomate permitirá acoplar dichas demandas con la aplicación del riego de manera oportuna y eficiente, y en consecuencia se obtendrá un incremento en la eficiencia de aplicación de fertilizantes, una disminución de la contaminación, incremento en el rendimiento y una mejor calidad de frutos. El objetivo de esta investigación es determinar los requerimientos hídricos diario en el cultivo del jitomate con el método de lisímetro de balance, en función de número de tallos (uno, dos y tres tallos por planta), en invernadero y el efecto que esto tiene en el rendimiento y la calidad de frutos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, (19.46° de latitud Norte y 98.90° longitud Oeste a 2244 m de altitud). El invernadero utilizado fue de tres naves con estructuras de metal y cubiertas de plástico de polietileno de alta densidad, con 75% de transmisividad, equipado con un sistema de ventilación pasiva, (ventilas laterales y cenitales de apertura manual) y provisto con una malla anti-insecto en las paredes laterales. La temperatura media registrada durante todo el ciclo de cultivo adentro del invernadero fue de 18.45 °C, de 25.0 °C para el mes más caliente (abril) y 9.0 °C para el mes el más frío (septiembre).

Se usaron semillas de jitomate tipo saladette variedad Cid F1 de crecimiento indeterminado. Se sembró en charolas germinadoras el 5 de marzo, se trasplantó el 20 de abril y se finalizó la cosecha el 20 de septiembre de 2015. Las plantas se mantuvieron a 1, 2 y 3 ejes a través de poda de brotes laterales, y se despuntaron el 8 de julio de 2015, sobre el décimo racimo floral. El marco de plantación fue tresbolillo, con separación de 40 cm entre plantas y 40 cm entre líneas, trasplantadas en bolsas polietileno de color negro de 35 x 35 cm con tezontle rojo como sustrato, en camas con dimensiones de 1.2 m de ancho por 20 m de largo y, con densidad de plantación de 3 plantas m⁻².

Los tratamientos (T) consistieron en tres condiciones de manejo, en función de número de tallos por planta: con uno (T1), dos (T2) y tres (T3) tallos respectivamente por planta. El área de cada tratamiento fue de 53 m² con una superficie total de 159 m². La distribución de los tratamientos se hizo en parcelas divididas en bloques al azar con 4 repeticiones cuyas dimensiones fueron 10 m².

El sistema de riego fue goteo, con línea regante superficial de 16 mm en diámetro, con goteros auto compensados separados a 40 cm y un gasto de 4 L h⁻¹ por gotero, con una presión de operación de 68.64 KPa. El riego se aplicó con solución nutritiva Steiner con (Presión Osmótico = -0.087 MPa).

Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

Para medir la evapotranspiración del cultivo se utilizó macetas de control con 10 kg de tezontle con una capacidad de retención de agua 1.7 L. En cada tratamiento se instalaron cuatro repeticiones de macetas control y se cubrió con un plástico en la superficie de la maceta, para evitar la evaporación del agua del sustrato. En estas macetas se aplicó un volumen conocido de solución nutritiva a partir de las 9:00 a.m. que se dejó drenar durante 50 minutos, y se midió la solución nutritiva drenada, y por diferencia (volumen aplicado menos el drenado) se obtuvo el volumen evapotranspirado por planta (Fig. 1). Este procedimiento se repitió diariamente a las 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas con un total de cinco mediciones diarias desde el trasplante hasta la cosecha del décimo racimo.

Requerimiento hídrico del cultivo

La evapotranspiración y el requerimiento hídrico durante un periodo determinado, se considera igual a la diferencia entre la cantidad de agua aplicada y drenada, que se calculó con la (Ecuación 1).

$$ET_c = R - D \pm \Delta\theta \dots \dots \dots (1)$$

Dónde: ET_c es la evapotranspiración de cultivo, R es volumen de riego (L), D es el volumen agua drenada (L), $\Delta\theta$ es el cambio de almacenamiento en la humedad del sustrato (L). En ausencia de lluvia y otras aportaciones, el requerimiento de riego es igual a la evapotranspiración real del cultivo (ET_r) descrita por la (Ecuación 2).

$$RR = ET_r = \text{transpiración (L)} \dots \dots \dots (2)$$



Fig. 1. Medición de evapotranspiración diaria en macetas control en invernadero.

Evapotranspiración de referencia (ET_o) con el atmómetro

Para obtener la evapotranspiración de referencia de cultivo de tomate en condiciones protegidas se instaló en el interior del invernadero un Atmómetro Modelo A ETogage comercializado por la ETgage Company (Loveland, Colorado, EE. UU). Este equipo se instaló a 1.2 m de altura, y la cantidad de agua evaporada en las 24 horas previas se midió manualmente a las 8:00 am, a través de un tubo de cristal con una escala graduada montado en la parte exterior del equipo (Fig. 2). La lámina de agua evaporada se estimó por el cambio en dos niveles de agua de dos lecturas consecutivas.



Fig. 2 Instalación del Atmómetro en el interior del invernadero.

Descripción del atmómetro

El atmómetro consiste en un plato poroso de cerámica conectado internamente con una manguera a un reservorio cilíndrico de agua destilada. Este aparato simula la resistencia de difusión del vapor de agua de la superficie porosa evaporante. Usualmente se coloca una membrana de politetrafluoroetileno sobre el plato para prevenir la entrada de agua a través de este (Chen y Robinson, 2009). Además, tiene dos alambres rígidos de acero inoxidable de dos pulgadas en la parte superior para evitar que las aves se posen sobre el medidor (Fig. 2). Este modelo dispone de un depósito de agua de 300 mm, fabricado en PVC blanco para reflejar la radiación solar y evitar la transmisión de calor al agua que está almacenada en su interior.

Productividad del agua

Se estimó la productividad del agua (PA) y el rendimiento (R) de los tratamientos; la primera indica la relación de la producción total obtenida (RC, kg) con respecto del volumen de agua aplicada (VA, m³) (Bessembinder et al., 2005) y la segunda la producción obtenida en kg m⁻².

En cada corte se realizó clasificación de calidad de tamaño de frutos dividido en cinco categorías (extragrande, grande, mediano, chico y frutos pequeños) con base en la Norma Mexicana (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de frutos de jitomate tipo saladette de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-031-1997.

Tamaño	Diámetro [mm]	
	Mínimo	Máximo
Muy pequeños	26	37
Chico	37	51
Mediano	51	60
Grande	60	71
Extragrande	71	En adelante

Para determinar la diferencia significativa de las variables evaluadas, se realizó análisis de varianza, para el diseño de bloques al azar, y comparación de medias, por la prueba de Tukey (P=95%), con el paquete estadístico MINITAB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evapotranspiración de cultivo del jitomate mediante lisímetro de drenaje

En la (Fig. 3) presenta la variación diaria de los volúmenes evapotranspirados de una planta de jitomate, medidos con lisímetro de drenaje. Al inicio del ciclo se observa un bajo consumo de agua por la etapa inicial. Las variaciones en el consumo hídrico diario en el T1 se encuentra del orden de 0.1 L, en la etapa inicial, hasta 4.41 L m⁻² la máxima demanda, para el T2 fue (0.1-4.78 L m⁻²) en la etapa Inicial y máxima demanda y para el T3 fue (0.1- 6.0 L m⁻²) en la etapa inicial y máxima demanda que corresponde a los 100 días después de trasplante (ddt). Estos datos son similares a los resultados reportados por (Flores et al., 2007).

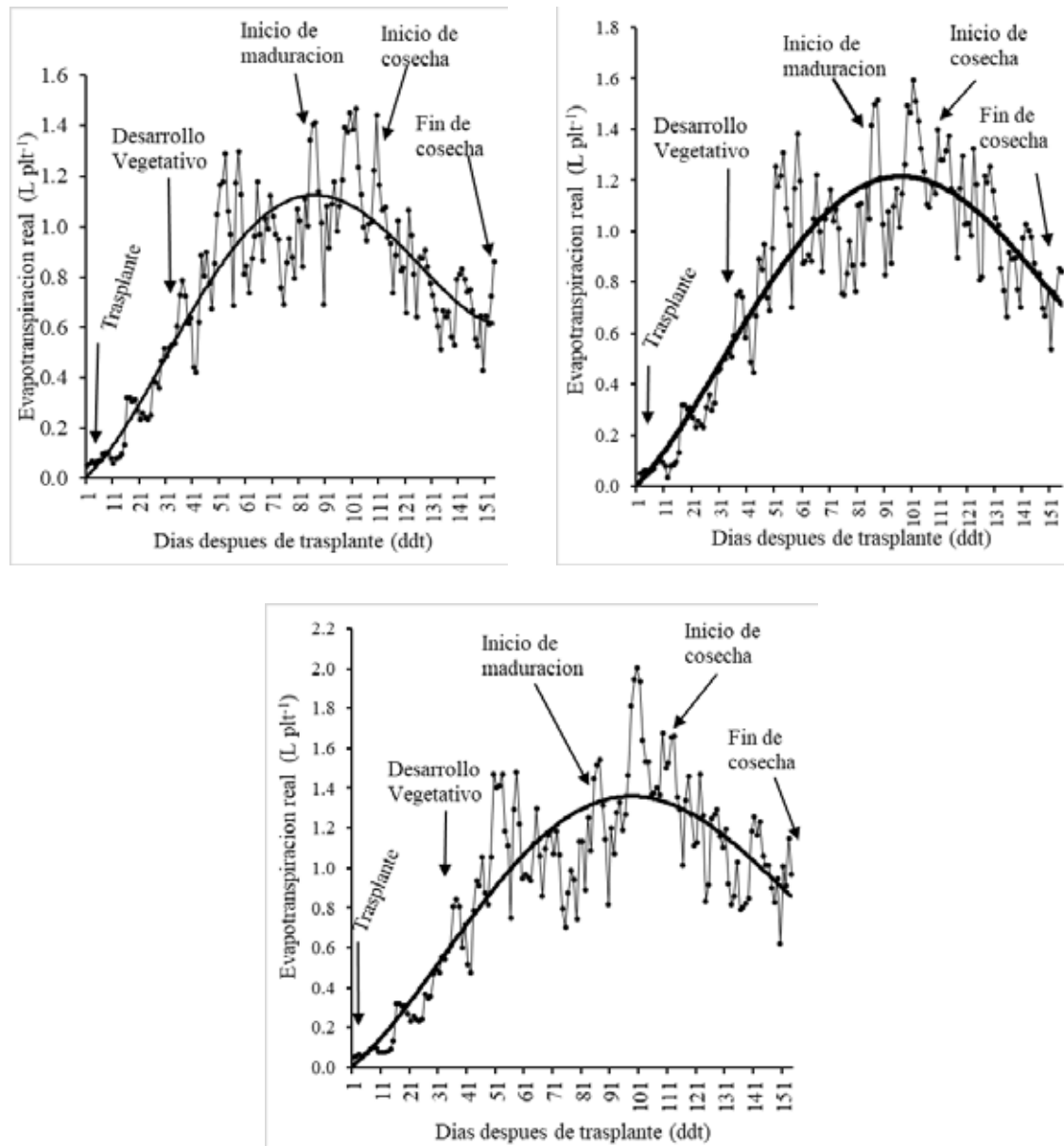


Fig. 3. Requerimiento hídrico neto para los tratamientos T1, T2 y T3.

El consumo neto medido mediante el lisímetro de drenaje es de 117, 130 y 145 L pl^{-1} para T1, T2 y T3 respectivamente, en un ciclo de 154 días, para el periodo de trasplante al 10^{mo} racimo. Se obtuvo una producción de 6.55, 5.91 y 5.31 kg pl^{-1} de fruto para T1, T2 y T3 respectivamente (Cuadros 2, 3 y 4).

Cuadro 2. Requerimiento hídrico neto por etapa de cultivo de jitomate para el T1

Etapa	Consumo de agua			Días después de trasplante	
	Diario	Periodo	Acumulado	Periodo	Acumulado
	L $\text{pl}^{-1} \text{d}^{-1}$	L pl^{-1}			
Inicial	0.09	1.50	1.50	16	16
Vegetativa	0.44	11.12	12.62	25	41
Desarrollo	0.95	29.32	41.94	31	72
Producción	1.04	55.16	97.10	53	125
Fin de ciclo	0.691	20.027	117.12	29	154

Cuadro 3. Requerimiento hídrico neto por etapa de cultivo de jitomate ara el T2

Etapa	Consumo de agua			Días después de trasplante	
	Diario	Periodo	Acumulado	Periodo	Acumulado
	L $\text{pl}^{-1} \text{d}^{-1}$	L pl^{-1}			
Inicial	0.09	1.48	1.48	16	16
Vegetativa	0.44	11.00	12.47	25	41
Desarrollo	0.99	30.78	43.25	31	72
Producción	1.14	60.52	103.77	53	125
Fin de ciclo	0.889	25.778	129.54	29	154

Cuadro 4. Requerimiento hídrico neto por etapa de cultivo de jitomate para el T3

Etapa	Consumo de agua			Días después de trasplante	
	Diario	Periodo	Acumulado	Periodo	Acumulado
	L $\text{pl}^{-1} \text{d}^{-1}$	L pl^{-1}			
Inicial	0.10	1.52	1.52	16	16
Vegetativa	0.46	11.50	13.02	25	41
Desarrollo	1.08	33.57	46.59	31	72
Producción	1.29	68.60	115.18	53	125
Fin de ciclo	1.015	29.438	144.62	29	154

Drenaje medida en el lisímetro

Se aplicó sobrieriego en las macetas de control para asegurar siempre de la generación de drenaje. En todo el ciclo se mantuvo el cultivo bajo condiciones de humedad óptima, al no generar condiciones de estrés hídrico del cultivo. Cada ocho días se aplicó agua acidulada con (100 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4 a 98%) en 1000 L) de agua para solubilizar los fertilizantes precipitados acumulados en

el fondo de la maceta y volver a ser aprovechada por la planta contribuyendo disminución de la contaminación.

Porcentaje de frutos por categoría

En lo referente al tamaño de los frutos de jitomate en (%) cosechado para cada tratamiento. Para un tallo (T1) fue mejor con 69, 23, 8 y 1 % frutos de categoría grande, mediana, chico y frutos pequeños, respectivamente (Cuadro 5). Los frutos obtenidos en este tratamiento cumplen con la NMX-FF-031-1997 para ser fruto de exportación al mercado internacional. Los resultados obtenidos en este trabajo son similares a los reportados por Rodríguez et al. (2008), en jitomate en condiciones de invernadero, encontraron que 60 % corresponde a calidad extra; el 20 % a primera, el 10 % a segunda y 10 % a pérdida.

Para dos tallos (T2) se obtuvieron 49, 33, 17 y 1 % frutos de categoría grande, mediano, chico y frutos pequeños, respectivamente. Los frutos obtenidos en este tratamiento se pueden considerar para el mercado nacional por su tamaño, se destina principalmente en tiendas de supermercados y central de abastos para su posterior distribución hacia los consumidores finales. Los resultados obtenidos en este trabajo son similares a lo reportado por Quintana-Baquero et al. (2010), en jitomate bajo invernadero reportaron que 9 % corresponde de calidad extra, 52 % de primera, 27 % de segunda, 11 % de tercera y el 2 % de cuarta.

Para tres tallos (T3) se obtuvieron 37, 39, 23 y 2 % de frutos de tamaño grande, mediano, chico y frutos pequeños, respectivamente. Los frutos obtenidos en este tratamiento se pueden considerar para el mercado local en los mercados de tianguis ya que la mayoría son frutos son de tamaño mediano. Estos frutos se consumen en estado fresco y se utilizan en la preparación de puré o salsa para la comida.

Cuadro 5. Clasificación de calidad en tamaño de los frutos de jitomate

Tratamientos	Grande (%)	Mediano (%)	Chico (%)	Frutos pequeños (%)
Un tallo (T1)	68.70a	22.93c	7.66 c	1.66 b
Dos tallos (T2)	49.10b	33.17 b	16.66 b	1.05 ab
Tres tallos (T3)	36.77c	38.54 a	23.00 a	0.68 b

Diferencia mínima significancia: medias seguidas por la misma letra dentro de una columna no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Productividad del agua

El volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo agrícola fue de 135, 146 y 148 L pl⁻¹ para T1, T2 y T3 respectivamente con una productividad de 49, 41 y 36 kg m⁻³ de agua y un rendimiento promedio de 20, 18 y 16 kg m⁻², con una densidad de plantación de 3 pl m⁻² este rendimiento es similar a lo reportado por (Flores et al., 2007).

Valores de conductividad eléctrica y pH manejados

Los valores del pH de la solución nutritiva de riego fueron en promedio 6.85, y variaron de 6.7 a 7.0; para conductividad eléctrica (C.E) en promedio fue de 1.85 dS m⁻¹ y varió entre 1.1 y 2.6 dS m⁻¹. Los valores promedios para solución drenada fueron de 7.6 para el pH y de 2.89 dS m⁻¹ para conductividad eléctrica. Estos valores de conductividad eléctrica para la solución drenada son menores que los recomendados para la producción en invernaderos, cuyo intervalo típico esta entre 2 y 4 dS m⁻¹.

CONCLUSIONES

Una de las limitantes para la elaboración del calendario del riego en ambientes controlados es la falta de información relacionada, que permita estimar los volúmenes suficientes y el poder aplicarlos oportunamente. Con la aplicación de riego de manera tradicional, aun en sistemas intensivos existe una tendencia a sobreirrigar, en el sentido que se dan pocos riegos y mucho volumen, sin embargo debido a la capacidad de retención del sustrato, solo una pequeña parte de esta es aprovechada por la planta. Por lo que se recomienda incrementar la frecuencia de riegos a medida que el volumen de sustrato disminuye.

Los resultados indican que el balance hídrico para estimar los requerimientos de riego de los cultivos bajo invernadero, es posible determinar mediante lisímetros de balance con buena precisión, los cuales presentan las ventajas de que son económicos, de fácil instalación y método de medición, y la condicionante mínima es que exista drenaje, es decir un control estricto en la aplicación del riego. Los lisímetros de balance, con un manejo adecuado son una herramienta robusta para determinar el volumen de riego.

Los valores experimentales muestran que los requerimientos de riego del jitomate varían de 0.1 L pl⁻¹ para los tres tratamientos en la etapa inicial, hasta 1.47, 1.59 y 2.0 L pl⁻¹ en la etapa de máxima demanda para T1, T2 y T3 respectivamente. El valor máximo del requerimiento de riego es menor que el reportado en la literatura para bajas densidades de plantación (López, 2007), lo que indica la importancia de estimar los requerimientos de riego de cultivos para condiciones locales. El volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo agrícola fue de 135, 146 y 148 L pl⁻¹ para T1, T2 y T3 respectivamente con una productividad de 49, 41 y 36 kg m⁻³ de agua y un rendimiento promedio de 20, 18 y 16 kg m⁻², con una densidad de 3 pl m⁻² este rendimiento es similar a lo reportado por (Flores et al., 2007).

Un mejor conocimiento de las demandas hídricas diarias del cultivo facilita ajustar el volumen requerido por riego, en función de la etapa fenológica del cultivo y las condiciones meteorológicas. Además, la poda en jitomate, es una práctica cultural que se utiliza para obtener plantas equilibradas y vigorosas, dando como resultado frutos de mejor calidad y mayores rendimientos.

LITERATURA CITADA

- Allen, G.R., Pereira, S.L., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration. FAO. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy. 300 p.
- Antón, A. (2002). El control del clima en los cultivos intensivos: del parral a los invernaderos modernos. Fórum Internacional de Tecnología Hortícola. (FITECH VI). Almería, España.
- Bessembinder, J.E., Leffelaar, P.A., Dhindwal, A.S., Ponsioen, T.C. (2005). Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agricultural Water Management*, 73:113-130.
- Burman, R.L., O. Pochov. 1. (1994). Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data. *Developments in Atmospheric Science*, 22. Elsevier Science B.V. U.S.A. 278 p.
- Catalán, V.E.A., Villa, M.M. (2009). Sistema experto para el manejo eficiente del riego parcelario. Red Temática de Agua del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Chapagain, P.B., Wiesman, Z. (2004). Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 99:279-288.
- Doorenbos, J., W.O Pruitt. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. F.A.O., Rome. 144 p.
- Dodds E P., S.M. Wayne, A. Barton. (2005). A Review of Methods to Estimate Irrigated Reference Crop Evapotranspiration across Australia. CRC for Irrigation Futures Technical Report No. 04/05. CSIRO Land and Water. Disponible en: <http://www.clw.csiro.au/publications/consultancy/2005> (Abril 2005).
- Fernández, Ma. D. (2000). Necesidades hídricas y programación de riegos en los cultivos hortícolas en invernadero y suelo enarenado de Almería. Tesis de Doctorado. España.
- Flores, J., Ojeda, W., López, I., Rojano, A. y Salazar, I. (2007). Requerimiento de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25: 127-134.
- Hillel, D. (1980) *Fundamentals of Soils Physics*. Academic Press, Inc. New York. 413 p.
- Jensen, M.E. (1981). Summary and challenges. In: *Irrigation Scheduling for Water and Energy Conservation in the 80's*. Proc. ASAE, Irrigation Scheduling Conference. ASAE. P.O. Box 410. St. Joseph, Michigan. pp: 225-231.
- López, O.A. (2007). Señales químicas en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) y su potencial para incrementar la eficiencia en el uso del agua. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Lubana, P.P S, N.K, Narda., S. Thaman. (2001). Performance of summer planted bunch groundnut under different levels of irrigation. *Indian J. Agric. Sci.* 71:783.
- Perrier, A.; Archer, P y Blanco de pablos, A. (1974). Etude de l'évapotranspiration réelle et maximale de diverses cultures: dispositif et mesures. *Ann. Agro.*, 25:697-731.
- Pruitt, W.O., E. Fereres, K. Kaita, R.L. Snyder. (1987). Reference evapotranspiration (ET_o) for California. *Agr. Exp. Sta. Bull.* 1922, Univ. of California, 16 pp.
- Pruitt, W.O y Angus, L. (1960). Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. *Tran. Of the ASAE*, 3:13:18.
- Quintana-Baquero, R.A., Balaguera-López, H.E., Álvarez-Herrera, J.G., Cárdenas-Hernández, J. F., Hernando-Pinzón, E. (2010). Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 4:199-208.
- Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Figueroa, V.U., Palomo, G.P., Favela, C. E., Álvarez, R.V.P., Márquez, H.C., Moreno, R.A. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 265-272.
- Rosegrant, M. W., S. Msangi, T. Sulser y C. Ringler. (2007). Future Scenarios for Agriculture: Plausible Futures to 2030 and Key Trends in Agricultural Growth". Documento de antecedentes elaborado para el Informe sobre el desarrollo mundial 2008.
- Zamora, E. y C. Guerrero. (2005). Sistemas utilizados para el control del clima bajo invernaderos. *Tecnoagro* núm. 23 editada por Elto S.A de C.V. Estado de México, México.

Capítulo II

Cristian Alejandro Chávez Juárez¹, María del Rosario Baray Guerrero²,
Jorge Alberto Sánchez Bernal³ y María Elvira González Anchondo⁴

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE CUATRO CONCENTRACIONES DE ETILENO PARA LA PRODUCCIÓN DE GOMA DE MEZQUITE (*PROSOPIS SPP*) EN NAICA, CHIHUAHUA

RESUMEN

La producción goma de mezquite podría ser la solución a los problemas del ejido Naica, ubicado en el municipio de Saucillo, Chihuahua; debido a que la mina de la localidad, su principal fuente de ingresos, fue cerrada por problemas de inundación, los habitantes de este ejido tuvieron que buscar otras alternativas, por lo cual, se busca aprovechar el área del desierto chihuahuense con la que cuenta, para impulsar el desarrollo económico, esto sin tener que explotar los recursos. Se realizó un experimento en un rodal de árboles de mezquite (*prosopis spp*), el cual consistió en la aplicación de un tratamiento de etileno en cuatro diferentes concentraciones (5%, 10%, 15% y 20%), para la producción de goma de dicho árbol, por lo cual se seleccionaron 80 árboles, categorizados en 2 tamaños de perímetro; siendo así grupos de 10 árboles de cada perímetro, los que recibieron el tratamiento en sus cuatro concentraciones. Se evaluó la producción de goma basados en el tiempo de producción y cosecha, y en base a la producción de cada una de las concentraciones aplicadas, para de esta manera determinar la concentración idónea y mejor tiempo para cosecha, dando como resultado que el tiempo de mejor cosecha va de entre los 30 y 60 días y a un 15% de concentración, no se pudo demostrar que existiera relación entre producción y tamaño del perímetro del árbol.

Palabras Clave: Desarrollo económico, tratamiento, experimento.

¹ Estudiante de la Maestría en Agronegocios FCAYF-UACH p257648@uach.mx

² Autor de correspondencia, Docente Investigador FCAYF-UACH rbaray@uach.mx

³ Docente Investigador FCAYF-UACH jsanchez@uach.mx

⁴ Docente Investigador FCAYF-UACH elviragonan@gmail.com

ABSTRACT

Mesquite rubber production could be the solution to the problems of the Naica ejido, located in the municipality of Saucillo, Chihuahua, which was the main source income, its main source of income, was closed due to flood problems, the habitants of this ejido had to look for other alternatives, therefore, it seeks to take advantage of the Chihuahuan desert area that it has, to promote economic development, this without having to exploit resources. An experiment was carried out in a stand of mesquite trees (*prosopis spp*), which consisted in the application of an ethylene treatment in four different concentrations (5%, 10%, 15% and 20%), for the production of rubber. of said tree, for which 80 trees were selected, categorized in 2 perimeter sizes, thus being groups of 10 trees of each perimeter, those that received the treatment in their four contractions. Gum production was evaluated based on the production and harvest time, and based on the production of each of the applied concentrations, in order to determine the ideal concentration and best time for harvest, resulting in the best harvest is between 30 and 60 days and at a 15% concentration, it could not be demonstrated that there was a relationship between production and size of the perimeter of the tree.

Keywords: Economic development, treatment, experiment.

INTRODUCCIÓN

El ejido Naica, ubicado en el municipio de Saucillo, Chih., tuvo una gran afectación después del cierre de su mina, la cual era su principal fuente de empleo, debido a esto las personas comenzaron a emigrar, por lo cual la economía de este sitio empezó a irse abajo. Al ser un lugar con carencias de agua para la producción de ciertos cultivos (Magaña et al., 2017).

Se busca ayudar al desarrollo económico de la zona y la preservación de la especie de mezquite (*prosopis spp*), la cual había sido atacada por la deforestación, por lo cual, se trabaja con los árboles de mezquite y la producción de su goma (Magaña et al., 2020). El mezquite es un recurso importante para las comunidades rurales y este se distribuye en el norte de México sur de los Estados Unidos.

El desierto más grande de Norteamérica, es el Desierto Chihuahuense, que también es el segundo con mayor diversidad a nivel mundial, este se encuentra compartiendo territorio en México y Estados Unidos y tiene una extensión de 630,000 km². Abarca 6 estados del territorio mexicano y 3 dentro de estados unidos. El estado de Chihuahua es uno de los estados mexicanos de los que recorre este desierto (WFF, s.f.).

Los ecosistemas sanos tienen un potencial productivo -incluye las zonas áridas y semiáridas-, las cuales cuentan con una gran variedad de especies, entre ellas el mezquite, lo cual nos da la oportunidad de aprovecharlos como negocios, esto sin tener que llegar a dañarlos. Existe un proyecto de desarrollo sustentable, el cual fue creado por la Comisión Nacional Forestal y cuenta con financiamiento por parte del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola y del Fondo Fiduciario Español para la Seguridad Alimentaria (Comisión Nacional Forestal, 2018).

Un artículo de López-Franco et al., 2006 nos dice que el árbol de mezquite es una leguminosa que produce una goma con propiedades que son favorables para uso industrial, por lo cual, se convierte en una alternativa como insumo para las grandes empresas. Este árbol es nativo de zonas áridas y semiáridas, lo cual lo convierte en un árbol de poco requerimiento de agua; México posee una extensión de 56 y 23 millones de km² de zonas áridas y semiáridas respectivamente, por lo cual el mezquite se convierte en una alternativa de desarrollo agropecuario.

Reséndiz et al., 2016 propusieron implementar un sistema para la recolección de la goma de mezquite, todo esto con el objetivo de potencializar el uso de las resinas del árbol mezquite. También se menciona que la goma de mezquite mejora los parámetros de la Goma Arábica -según parámetros requeridos por *Food and Drug Administration*- para el uso de la goma arábica en la industria alimenticia, siendo inferiores las impurezas y los taninos en la goma de mezquite, en comparación a la goma arábica.

En un experimento realizado, se evaluaron las propiedades estabilizantes que tiene la goma de mezquite en formulaciones lácteas para helados, en el cual se pudieron observar mejores parámetros a la ya utilizada goma arábica; teniendo una mayor estabilidad como emulsionantes -entre otros parámetros analizados- por kilo, por lo cual la goma de mezquite sigue superando a la otra goma. La goma de mezquite puede ser utilizada como estabilizante en este nicho de productos lácteos debido a sus características y disponibilidad en comparación de la goma arábica (Encinas Cárdenas, 2016).

La goma arábica, es la más antigua y conocida de todas las gomas naturales, esta se obtiene de distintas variedades de acacias, pero solo algunas son utilizadas comercialmente. La goma es recolectada a mano y se exporta a nivel mundial, esta debe cumplir ciertos estándares mínimos de calidad para poder ser exportada. Debido a su alta solubilidad en el agua, esta tiene distintos usos, como lo es la confitería, productos de panificación, lácteos, bebidas, entre otras más; y por ello se vuelve un producto sumamente valioso dentro de la industria alimenticia (García, 1998).

Debido a lo ya conocido sobre la goma de mezquite y sus características potencialmente comerciales y a la problemática del Ejido Naica, se comenzó a trabajar en los mezquites que existen en la zona, para poder utilizarlos como alternativa para el desarrollo económico de la misma. La segregación de la goma se da de forma natural, pero se buscó una alternativa para potenciar la generación de la misma, por ello la realización de un experimento, el cual consiste en la aplicación de la hormona “etileno”, en diferentes concentraciones a distintos grupos de árboles. El objetivo es evaluar la producción de goma de mezquite en base al tratamiento de la hormona vegetal “etileno” en sus cuatro diferentes concentraciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en tres fases: selección, aplicación y cosecha; la selección consistió en localizar una cantidad de 80 árboles de mezquite divididos en dos categorías de diámetros (diámetro chico y diámetro grande), a los cuales se les aplicó el tratamiento. En la fase de aplicación, se realizó la misma en sus cuatro concentraciones a cada grupo de 10 árboles de ambas categorías.

Dentro de la fase de cosecha, se programaron tres recolecciones de la goma de mezquite y estas fueron realizadas con un tiempo de entre 15 y 20 días, entre cada una de ellas.

El trabajo se llevó a cabo dentro del ejido Naica, ubicado en el municipio de Saucillo, Chihuahua.

1. Materiales: El producto a aplicar es una hormona vegetal (etileno) y agua destilada.
2. Herramientas para limpieza y delimitación de las áreas: machetes y tijeras para poda.
3. Equipo para realizar los cortes en fuste y ramas: formón y martillo.
4. Equipo de aplicación: jeringas, recipientes plásticos para colocar la mezcla de la hormona vegetal con agua destilada, una para cada porcentaje de tratamiento.
5. Equipo de protección: guantes y máscara.
6. Equipo para recolección de la goma: formón, bolsas plásticas.
7. Equipo para pesado: báscula de precisión.
8. Se eligió el rodal en base a la cantidad y calidad de los árboles.
9. Se realizó la selección de los 80 árboles, conforme a las especificaciones requeridas (vigorosidad y diámetro).
10. Se segmentó cada árbol en base a su perímetro y se conformaron 2 categorías: perímetro chico y perímetro grande, con medidas de 20 a 40cm y 40.1 a 60cm, respectivamente.
11. Se acondicionó el área de trabajo alrededor de las zonas de árboles seleccionados anteriormente.
12. Se prepararon las mezclas en los recipientes plásticos, uno por cada tratamiento, cada recipiente contenía una mezcla de etileno y agua destilada, según al porcentaje deseado de concentración (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición de tratamientos por cada 100 ml de solución.

Tratamiento (%)	Etileno (ml)	Agua (ml)
5	13.83	46.17
10	27.60	32.30
15	41.47	18.52
20	55.3	4.70

Fuente: Elaboración propia.

13. Se realizaron de 5 a 7 cortes entre el fuste y ramas con al menos una profundidad de entre 2-4mm. Con un ángulo de 45°.
14. Se aplicó el tratamiento de etileno a grupos de 10 árboles de ambas categorías de diámetro en cuatro diferentes concentraciones, 5%, 10%, 15%, y 20%, 2.5ml. por árbol.
15. Se llevó a cabo tres cosechas de la goma de mezquite, con un periodo de espera de

15 días después de la aplicación, y 15-20 días después de cada cosecha, esto con ayuda del formón y bolsas plásticas, para remover y almacenar la goma.

16. La observación de los arboles tratados debe ser continua, para checar avances en la segregación de la goma.

RESULTADOS

En el cuadro 2, podemos ver la tabla de frecuencias, donde nos muestra la media y la desviación estándar de los perímetros, diámetros y peso por recolección y total de los 80 árboles tratados.

Cuadro 2. Tabla de frecuencias

	Perímetros de los árboles tratados (cm)	Diámetros de los árboles tratados	Peso de la goma de mezquite (1er corte)	Peso de la goma de mezquite (2do corte)	Peso de la goma de mezquite (3er corte)	Peso Total (gr)
N	80	80	80	80	80	80
Media	40.76	12.97	21.07	23.13	9.37	53.58
Desv. Est.	11.57	3.68	21.59	27.55	13.58	56.48
Rango	40	12.73	98	145	81	281
Mínimo	20	6.37	.00	.00	.00	.00
Máximo	60	19.10	98	145	81	281

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 3, se puede observar la producción total de goma de mezquite por categoría de perímetros, bajo el tratamiento de etileno, en las cuatro diferentes concentraciones. Se muestra el peso en gramos por cada concentración.

Cuadro 3. Recolección total por tratamiento y perímetro.

Tratamiento (%)	No. de árboles	Recolección diámetro chico (gr)	Recolección diámetro grande (gr)	Recolección total (gr)
5	20	253	306	559
10	20	329	424	753
15	20	974	824	1798
20	20	666	719	1385

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 1, se puede observar la producción total de goma de mezquite por concentración. El 5% de concentración, es en el que menor producción de goma se obtiene y por lado contrario el 15% rebasa notablemente la producción de los demás tratamientos.

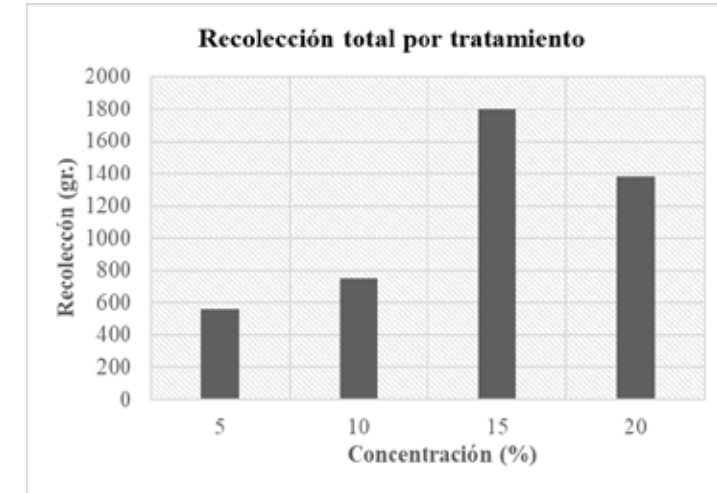


Gráfico 1. Recolección total por tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 2, se observa la comparativa de producción de goma de mezquite, por tratamiento y categorización de perímetros, en el cual existe una mayor producción en los árboles de perímetro grande, esto es el 75% de ellos; los árboles de perímetro chico rebasan la producción en solo un tratamiento de los cuatro aplicados (15% de concentración). No existe una correlación entre producción y perímetro.

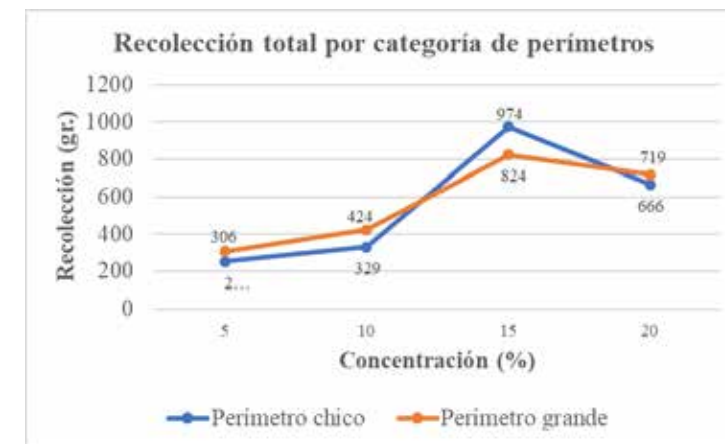


Gráfico 2. Recolección total categoría de perímetros.

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 4, observamos la producción por recolección, de cada concentración de tratamiento con su categorización por perímetros.

Cuadro 4. Recolección por concentración y perímetro.

Tratamiento (%)	Recolección 1		Recolección 2		Recolección 3	
	Perímetro chico (gr)	Perímetro grande (gr)	Perímetro chico (gr)	Perímetro grande (gr)	Perímetro chico (gr)	Perímetro grande (gr)
5	127	162	106	98	20	45
10	196	223	79	121	54	80
15	354	271	443	417	177	136
20	179	168	417	384	70	167

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 2 nos muestra el peso total por cada una de las recolecciones realizadas de los 80 árboles de mezquite con las cuatro concentraciones distintas. Podemos observar como la recolección 2 es en la que más producción se obtuvo, esto después de 1 mes de haber aplicado el tratamiento.

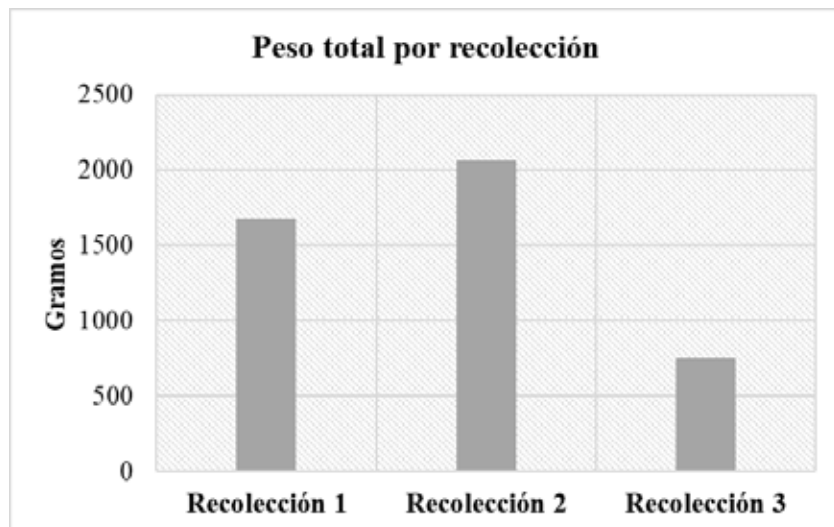


Gráfico 3. Peso total por recolección

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 5 se muestra la media de producción por recolección y categoría de perímetro, en cada una de las cuatro concentraciones.

Cuadro 5. Medias de producción por recolección y perímetro.

Tratamiento (%)	Recolección 1		Recolección 2		Recolección 3	
	Perímetro chico (gr)	Perímetro grande (gr)	Perímetro chico (gr)	Perímetro grande (gr)	Perímetro chico (gr)	Perímetro grande (gr)
5	12.7	16.2	10.6	9.8	2	4.6
10	20.2	22.3	7.9	12.1	5.4	8
15	35.4	27.1	44.3	41.7	17.7	13.6
20	17.9	16.8	20.3	38.4	7	16.7

Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 4 muestra la comparativa de las medias de producción total de ambas categorías de perímetro, en cada una de las cuatro concentraciones de tratamiento.

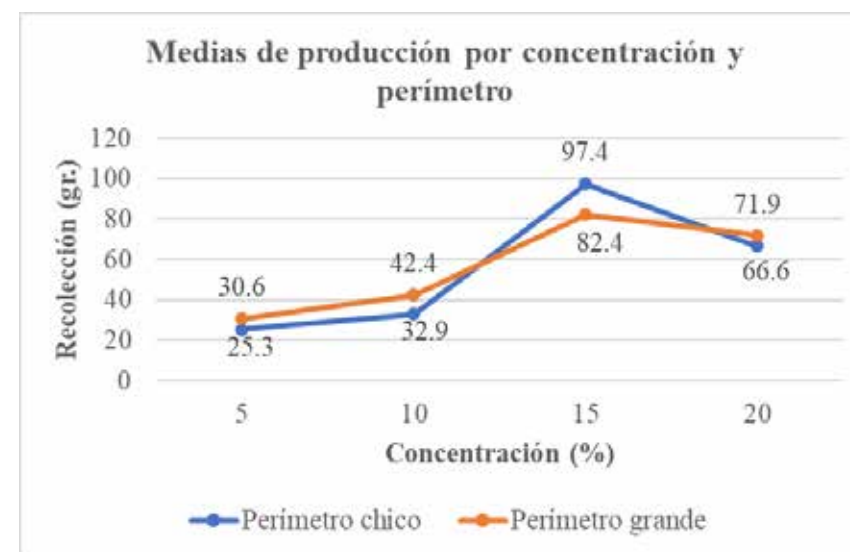


Gráfico 4. Medias de producción total por concentración y perímetro.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 5 se observa la producción en gramos de ambos perímetros de las tres recolecciones realizadas, esto en el tratamiento a un 5% de concentración, siendo dominante en producción los árboles de perímetro grande y la primera recolección la más productiva.

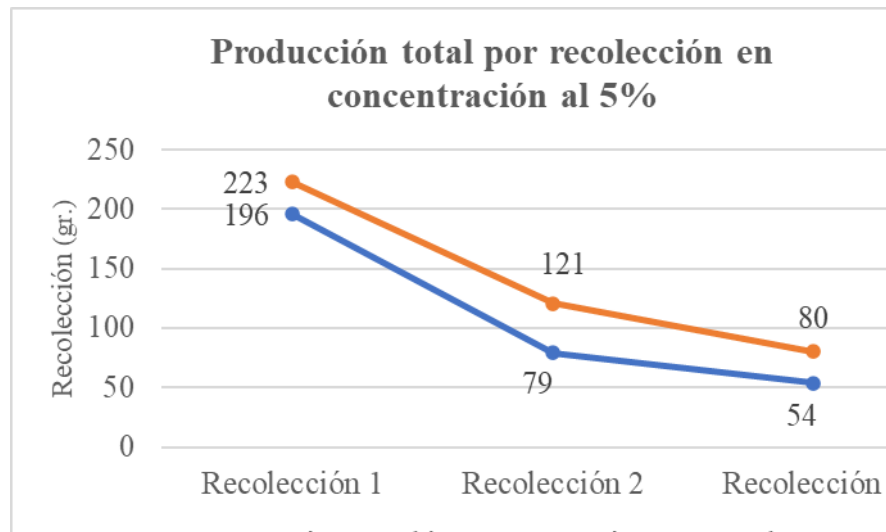


Grafico 5. Producción total por recolección en concentración al 5%.

Fuente: Elaboración propia.

En el Grafico 6, se observa la producción en gramos de ambos perímetros de las tres recolecciones realizadas, esto en el tratamiento a un 10% de concentración, aunque en dos recolecciones es mayor en los de perímetro grande, la tendencia de mayoría total cambió.

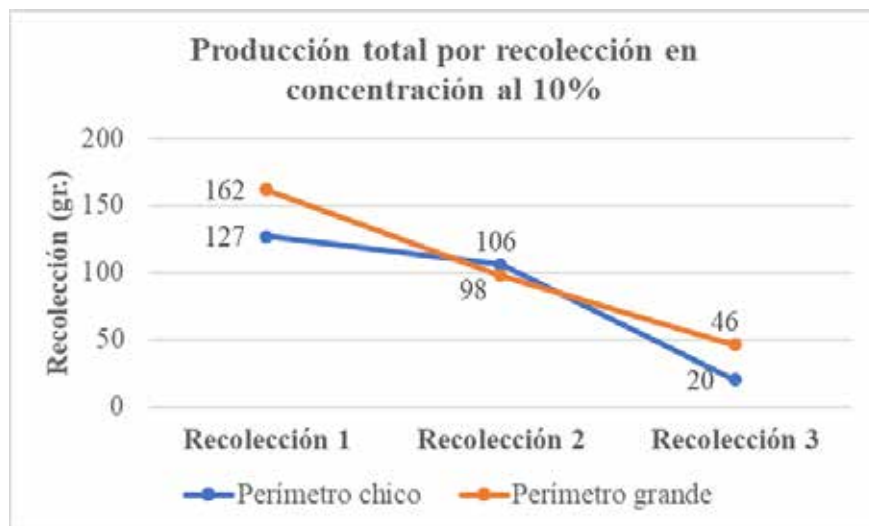


Grafico 6. Producción total por recolección en concentración al 10%.

Fuente: Elaboración propia.

En el Grafico 7 se nos indica la producción en gramos de ambos perímetros de las tres recolecciones realizadas, esto en el tratamiento a un 15% de concentración, los árboles de perímetro chico son los que arrojaron mayor producción, en este porcentaje la segunda recolección es más productiva.

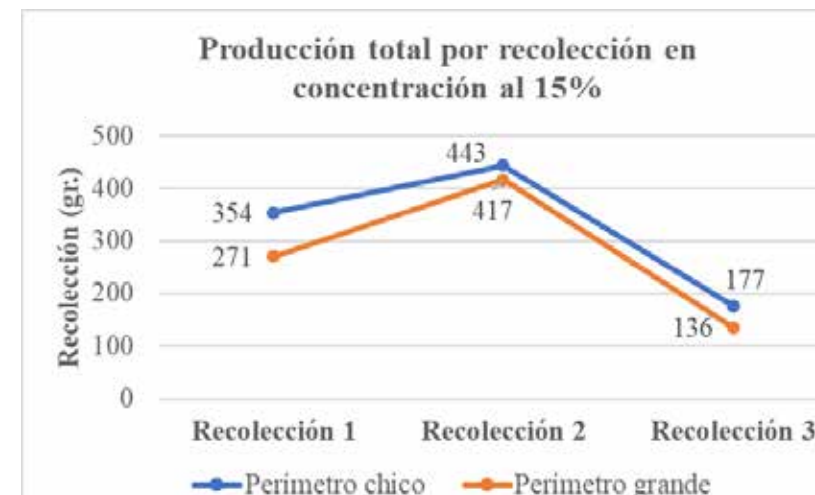


Grafico 7. Producción total por recolección en concentración al 15%.

Fuente: Elaboración propia.

En el Grafico 8, se muestra la producción en gramos de ambos perímetros de las tres recolecciones realizadas, en el tratamiento a un 20% de concentración, los árboles de perímetro son los de mayor producción en las primeras dos recolecciones; siendo de nuevo la segunda recolección la más productiva.

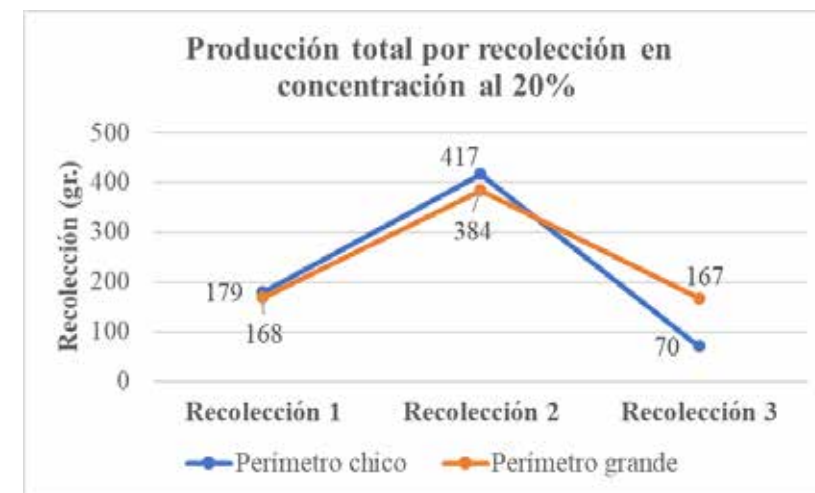


Grafico 8. Producción total por recolección en concentración al 20%.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En relación a lo antes expuesto, podemos determinar en base a la evaluación de la aplicación del tratamiento de la hormona vegetal “etileno” en sus cuatro diferentes concentraciones (5%, 10%, 15% y 20%), que cada una de ellas es funcional para la producción de la goma en el árbol de mezquite, se pudo detectar cuál de estas concentraciones es la más productiva y por otro lado también pudimos conocer el periodo de tiempo en el cual la producción es más alta, esto luego de haber aplicado el tratamiento en los 80 árboles seleccionados.

Con base a la aplicación del tratamiento, la realización de una incisión de aproximadamente entre 2.5mm en un ángulo de 45°, dio muy buenos resultados, ya que de esta manera el líquido de la hormona entraba y se mantenía; evitando así la mayor cantidad de pérdida, ya que esta misma podía escurrir.

Dada la producción de goma, existe una notable diferencia entre cada una de las concentraciones aplicadas, teniendo como más viable la aplicación de la hormona vegetal en un 15% de concentración, qué si bien no está muy alejada del 20%, dentro de las observaciones físicas de los resultados, se puede apreciar que esta última concentración es más agresiva, por lo cual la segregación de la goma se da en demasía, lo que la hace más complicada su recolección. La producción en concentraciones al 5% y 10%, son las que menos producción generaron, por lo tanto, quedarían descartadas como opción para una producción a mayor escala.

El tiempo entre cada cosecha va de los 15 a 20 días después de la aplicación del tratamiento, siendo considerada la mejor cosecha en el lapso que va de 30 y 40 días, ya que es cuando el árbol segrega mayor cantidad de goma. Y, puede considerarse una cuarta recolección ya que en las observaciones posteriores a la última realizada, los arboles aún seguían produciendo goma, aunque ya en menor cantidad.

La especie nativa del árbol de mezquite (*prosopis spp*), no sufrió ningún daño debido a la aplicación de dicho tratamiento en ninguna de sus cuatro distintas concentraciones, sino al contrario, conforme pasaban los días, dichos árboles mejoraban su aspecto físico, dado que comenzaban a dar nuevas ramas y se les notaba más vigorosos que en el momento de la selección de los mismos.

La goma se mandó a analizar para determinar su factibilidad para uso comercial y que de esta manera los habitantes del ejido Naica puedan utilizar este recurso natural que tienen a su alrededor para la generación de oportunidades de empleo y poder así aumentar de manera considerable el desarrollo económico de la zona.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, por la oportunidad de realizar tan grande proyecto.

A CONACYT por el financiamiento del proyecto por medio del Programa Nacional de Posgrados de Calidad.

Al director de la investigación: Ph.D. José Eduardo Magaña Magaña por su paciencia, apoyo y conocimientos otorgados para la realización del proyecto.

A todos mis compañeros, por su apoyo incondicional en el trabajo de campo; ya que día a día estuvieron presentes para darle continuidad al proyecto, especialmente a María Laura Díaz, Jorge Fernández y Cristina Dávila.

LITERATURA CITADA

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2018, “Las zonas áridas son más que desierto”, *Comisión Nacional Forestal*, <https://www.gob.mx/conafor/articulos/las-zonas-aridas-son-mas-que-desierto>
- Encinas Cárdenas, A. G. (2016). Utilización de la goma de mezquite (*Prosopis spp*) como sustituto de la goma arábica (*Acacia spp*) en formulaciones de helados lácteos.
- Gracia, O. (1998). La goma arábica: Una maravilla natural que nos beneficia a todos. *Industria Alimentaria*.
- López-Franco, Y. L., Goycoolea, F. M., Valdez, M. A., & de la Barca, A. M. C. (2006). Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*, 31(3).
- Magaña, J. E. M., Ramírez, V. H. V., Davison, C. M. K., Ochoa, L. E., & Nieto, J. H. (2017). Perfil social y económico del Ejido Naica. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 5(2).
- Magaña, J. E. M., Lara, M. D. L. Á. R., Ramírez, V. H. V., Anchondo, M. E. G., & López, M. G. M. (2020). Extracción de goma en mezquite (*Prosopis spp*) nativo usando etileno como hormona vegetal. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 8(1).
- Reséndiz Flores, N. S., García Núñez, R. M., Hernández Martínez, M. Á., Uribe Gómez, M., & Leos Rodríguez, J. A. (2016). Goma de mezquite y huizache como alternativa de aprovechamiento en sistemas agroforestales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE16).
- WWF (World Wildlife Fund), (s.f.), “Desierto chihuahuense”, *World Wildlife Fund*, https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/programas/desierto_chihuahuense/

Capítulo III

Eduardo Santiago Elena¹

PROPUESTA DE MANEJO DE LA ROYA DEL CAFETO (*HEMILEIA VASTATRIX*)

RESUMEN

El café (*Coffea arabica*) es cultivado en 56 países, siendo México el séptimo lugar con 953,683 toneladas de café cereza en 2021. El cultivo es susceptible a problemas fitosanitarios, siendo la roya (*Hemileia vastatrix*) que afecta de un 50 a 60% en rendimiento, debido a la caída prematura de las hojas, propiciando la reducción de la capacidad fotosintética, y el debilitamiento de árboles (APS, 2015) por lo que el objetivo es determinar el efecto fungicida y fungistáticos de diversos ingredientes activos sobre el manejo de la roya (*Hemileia vastatrix*) en el cultivo de café. Durante los meses de mayo a agosto de 2019, se establecieron evaluaciones de fungicidas en un cultivo de café en la variedad “Costa Rica 95”. El diseño experimental utilizado fue en bloques completamente al azar, con 10 tratamientos: Azoxystrobin (50%), Azufre (80%) + Hidróxido de Calcio (50%), *Bacillus subtilis* (13.4%) + Clorotalonil (50%), Clorotalonil (50%), Ciproconazol (10%), Mancozeb (80%), Nanopartículas de Ag (0.5%) (NPsAg), Nanopartículas de Au (0.5%) (NPsAu), Piraclostrobin (25%) y un testigo absoluto (Agua corriente) en 3 bloques. La unidad experimental estuvo conformada de 4 plantas (2x2). La primera aplicación y evaluación fue en la segunda semana de mayo de 2019, la segunda, tercera y cuarta evaluación se realizaron en la segunda semana de junio, julio y agosto respectivamente, siendo los tratamientos más eficaces: Ciproconazol (10%) con un 90%, Piraclostrobin (25%) con un 90%, Mancozeb (50%) con un 86% y AuNPs (0.5%) con un 83%, Azoxystrobin (50%) con un 79% de eficacia, por lo que pueden considerarse alternativas viables para el manejo de la roya del café y poder utilizarlos en programas de manejo en donde se combinen diferentes ingredientes activos y evitar problemas de resistencia.

Palabras clave: *Coffea*, Manejo, *Hemileia vastatrix*, AuNPs, Ciproconazol.

¹Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Chapingo, México. esantiagoe@chapingo.mx; riquelme_124@hotmail.com

ASBTRACT

The Coffee (*Coffea arabica*) is cultivated in 56 countries, with Mexico in seventh place with 953,683 tons of cherry coffee in 2021. The crop is susceptible to phytosanitary problems, with rust (*Hemileia vastatrix*) affecting 50 to 60% of yield, due to the premature fall of the leaves, favoring the reduction of the photosynthetic capacity, and the weakening of trees (APS, 2015) for which the objective is to determine the fungicidal and fungistatic effect of various active ingredients on the management of the rust (*Hemileia vastatrix*) in coffee cultivation. During the months of May to August 2019, the damage of fungicides in a coffee crop in the “Costa Rica 95” variety was evaluated. The experimental design used was completely randomized blocks, with 10 treatments: Azoxystrobin (50%), Sulfur (80%) + Calcium hydroxide (50%), *Bacillus subtilis* (13.4%) + Chlorothalonil (50%), Chlorothalonil (50%), Cyproconazol (10%), Mancozeb (80%), Ag Nanoparticles (0.5%) (NPsAg), Au Nanoparticles (0.5%) (NPsAu), Piraclostrobin (25%) and an absolute witness (Agua tap) in 3 blocks. The experimental unit consisted of 4 plants (2x2). The first application and evaluation was in the second week of May 2019, the second, third and fourth evaluation were carried out in the second week of June, July and August respectively, the most effective treatments being: Ciproconazole (10%) with 90 %, Piraclostrobin (25%) with 90%, Mancozeb (50%) with 86% and AuNPs (0.5%) with 83%, Azoxystrobin (50%) with 79% efficacy, so alternatives may be needed viable for the management of coffee rust and to be able to use them in management programs where different active ingredients are combined and to be able to avoid resistance problems.

Keywords: *Coffea*, Management, *Hemileia vastatrix*, AuNPs, Ciproconazol.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) es un producto agrícola importante en el mundo, cultivado por 20 millones de productores en 56 países. México ocupa el séptimo lugar en producción después de Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, India y Etiopía. El cultivo del café se desarrolla en doce estados reconocidos, de los cuales Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero e Hidalgo son los principales productores. La superficie de cultivo es superior a 688,700 ha. (PEFM, 2011).

La importancia de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome (1869)) en México se da porque la superficie sembrada de café es de 737,376.45 hectáreas aproximadamente; de las cuales se cosechan 699,307 con una producción de 1,166,025 Ton de café en cereza, cuyo valor de producción es superior a los 5,593 millones de pesos (SIAP, 2015).

H. vastatrix, es la enfermedad más destructiva del café y la de mayor importancia económica a nivel mundial, debido a que esta enfermedad provoca la caída prematura de las hojas, propiciando la reducción de la capacidad fotosintética, y el debilitamiento de árboles afectados y con daños severos puede ocasionar muerte progresiva en ramas e incluso la muerte de los árboles (APS, 2015). Para evitar estos daños por la roya, se requiere determinar las condiciones específicas para realizar aplicaciones de fungicidas en la etapa fenológica de la de la planta, para evitar el desarrollo de las urediosporas, tomando en cuenta una aplicación efectiva, viable, con el menor impacto ambiental. Por ello se recomienda al inicio del nuevo ciclo de cultivo, realizar aplicaciones

de fungicidas con productos de contacto y posteriormente aplicar un fungicida sistémico para reducir la carga de inóculo que se encuentra en las plantas de café y malezas (SENASICA, 2013). Por ello, este trabajo tiene como objetivo determinar el efecto fungicida que presentan diversos productos químicos sobre el manejo de la roya (*Hemileia vastatrix*) en el cultivo de café.

MATERIALES Y METODOS

Durante los meses de mayo a agosto de 2019, se estableció un experimento de evaluación de productos fungicidas y fungistáticos en un cultivo de café de la variedad “Costa Rica 95” el cual es susceptible a la roya (*H. vastatrix*) a una densidad de 2600 plantas por hectárea (2.5x2.5 m), manteniendo un 35% de sombra con árboles como Ilite (*Alnus spp.*) y Chalahuite (*Inga chalahuite*; *I. vera*) en el sitio denominado “Cuetzinapan” (19° 97’ 77” latitud norte y 97° 63’ 56” longitud oeste), en el municipio de Xochitlán de Vicente Suarez, Puebla; donde el clima predominante es cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 25°C, y con una altitud que va desde los 600 a 1250 msnm (Google maps, 2021). Todas las actividades de manejo agronómico que se realizaron en la zona de estudio fueron podas de formación fitosanitarias. La nutrición del cultivo fue 18 (N), 5 (P₂O₅), 17 (K₂O), 4 (Mg) y 0.35 (B), en base al análisis de suelo realizado por laboratorios Fertilab.

La primera aplicación y evaluación fue en la segunda semana de mayo de 2019, la segunda, tercera y cuarta evaluación se realizaron en la segunda semana de junio, julio y agosto respectivamente. El diseño experimental utilizado fue en bloques completamente al azar, formado por 9 tratamientos y un testigo absoluto (agua corriente) en 3 bloques. La unidad experimental estuvo conformada de 4 plantas (2x2), Los tratamientos evaluados se describen en el Cuadro 1. Las aplicaciones de fungicidas, productos alternativos, mezclas y biológicos durante el experimento fueron con ayuda de una aspersora motorizada (Swismex SHP800 PRO).

Cuadro 1: Tratamientos del ensayo experimental

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis/ Litros
T1	Azoxystrobin (50%)	500 g/ 200 L
T2	Azufre (80%) + Hidróxido de Calcio (50%)	20 g/5 L
T3	<i>Bacillus subtilis</i> (13.4%) + Clorotalonil (50%)	6000+3000 mL/200 L
T4	Clorotalonil (50%)	3000 mL/200 L
T5	Ciproconazol (10%)	500 mL/200 L
T6	Mancozeb (80%)	500 g/ 100 L
T7	Nanopartículas de Ag (0.5%) (NPsAg)	2 mL/ 2 L
T8	Nanopartículas de Au (0.5%) (NPsAu)	2 mL/ 2 L
T9	Piraclostrobin (25%)	500 mL/ 200 L
T10	Testigo absoluto (Agua corriente)	1000 mL

La evaluación de *H. vastatrix*, en los 10 tratamientos, durante los 4 meses se realizó en base a la escala de severidad, establecida por el Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria (SENASICA).

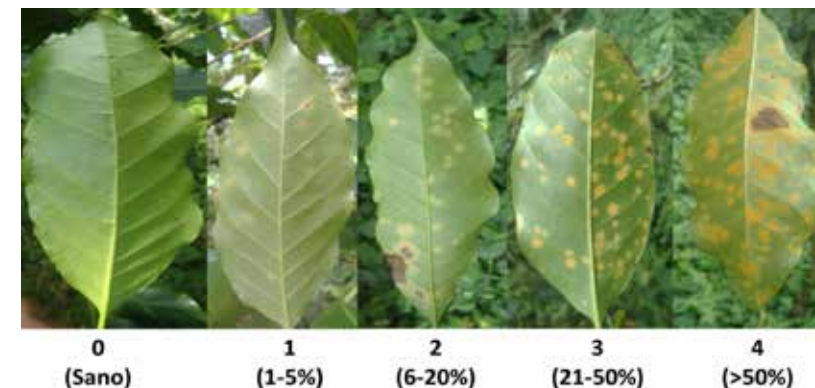


Fig. 1. Escala de severidad de la roya del café en la hoja donde cada clase es representada la siguiente significancia 0= Sano sin síntomas visibles; 1= 1-5% de área afectada; 2= 6-20% de área afectada; 3= 21-50% de área afectada y 4= Más de 50% de área afectada (SENASICA, 2013).

El nivel de infección por unidad experimental, los datos generados se les aplicó la fórmula de Townsend y Heuberger para determinar la media ponderada de la severidad:

$$%I = \frac{\sum n \cdot v}{CM \cdot N} \cdot 100$$

Dónde: I= media ponderada de severidad; n= número de plantas por cada clase en la escala; v= valor numérico en cada clase; CM= categoría mayor y N= número total de plantas en la muestra.

A partir de estos datos del porcentaje de severidad se calcularon los porcentajes de efectividad biológica (EB) con la ayuda de la fórmula de Abbott (1925).

$$%E = [IT - It / IT] \cdot 100.$$

Donde E = Porcentaje de eficacia o control; IT = Infección en el testigo y It = Infección en el tratamiento. El análisis de datos se realizó con el software SAS V9., mediante un análisis de varianza y una comparación múltiples de medias (Tukey, $\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

En las cuatro evaluaciones realizadas en Cuetzinapan, Xochitlán de Vicente Suarez, Puebla, la severidad se puede ver en las figuras 2, 3, 4 y 5. En la Fig. 2, (Primera evaluación, mayo 2019) se encontró que Clorotalonil (50%) presentó 12.93% en relación con el testigo absoluto, lo cual nos indicó que este ingrediente activo, al presentar un modo de acción de contacto, tiene una actividad limitada por las condiciones ambientales como la alta humedad relativa y la radiación (Syngenta, 2021a).

En la fig. 3. (Segunda evaluación, junio de 2019), el porcentaje de severidad aumentó en varios tratamientos, solo en el caso de Ciproconazol (10%) se mantuvo en la severidad más baja 1.85%; así como en la tercera evaluación con 5.57% en el mismo caso se mantuvo NanoAu (0.5%) con una severidad de 1.85% y 5.56% en su segunda y tercera evaluación.

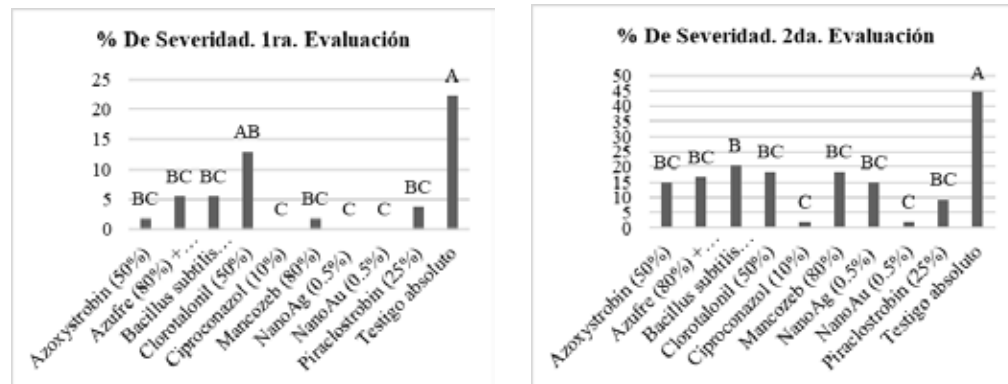


Fig. 2. Porcentaje de severidad, 1ra. Evaluación (mayo 2019). Fig. 3. Porcentaje de severidad, 2da. Evaluación (junio 2019).

En la tercera evaluación llevada a cabo en julio de 2019 (Fig. 4), algunos productos de contacto como Clorotalonil (50%), (38.89%), y su mezcla con *Bacillus subtilis* (13.4%) (31.48%), Mancozeb (50%), (24.07%) y Azulfre (80%) más Hidróxido de calcio (50%) (22.23%), lo cual indica que dichos productos -de un modo de acción denominado de contacto- pierden efectividad al estar en diversas condiciones ambientales. En el sitio del experimento “Cuetzinapan” la precipitación es de 1500 mm anuales en los meses de junio, julio y agosto se presenta hasta más de la mitad la precipitación anual, lo cual afecta la efectividad de dichos productos, no dejando realizar su actividad fungicida por lo que se arrastran del follaje (Fry, 1982; Lyr, 1996).

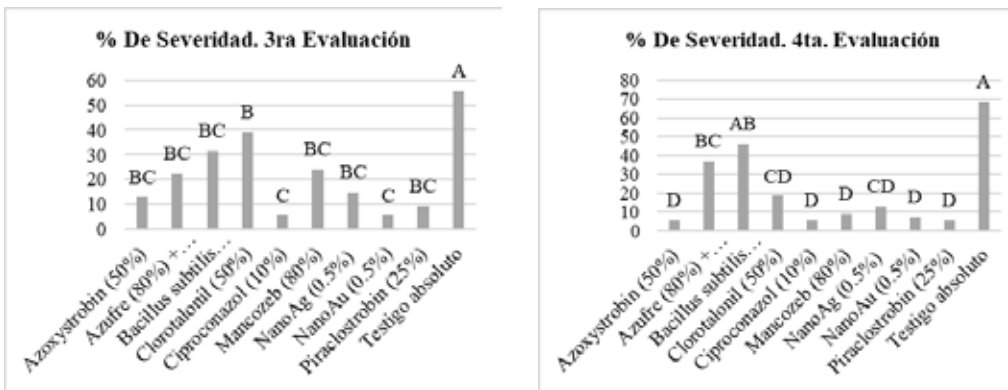


Fig. 4. Porcentaje de severidad, 3ra. Evaluación (julio 2019). Fig. 5. Porcentaje de severidad, 4ta. Evaluación (agosto 2019).

En la cuarta evaluación, (Fig. 5) los tratamientos Azulfre (80%) más Hidróxido de calcio (50%) con 37.03% y *Bacillus subtilis* (13.4%) en mezcla con Clorotalonil (50%) con un 46.3% de severidad, en comparación con el testigo absoluto (68.52%), fueron los productos de contacto que demostraron mayor severidad de todo el experimento y generando un mayor progreso de la enfermedad en base a las escalas de escalas de severidad de la roya del cafeto en la hoja (SENASICA, 2013).

Porcentaje de Eficacia biológica

En la primera evaluación, los productos sistémicos presentan la misma significancia en base al análisis estadístico ($\alpha=0.05$) en el caso de algunos productos de contacto y sistémicos como Azoxystrobin (50%) con 91.67%, Ciproconazol (10%) con 100%, Mancozeb (80%) con 91.67%, NanoAg (0.5%) con 100%, NanoAu (0.5%) con 100% y Piraclostrobin (25%) 83.33% de eficacia, esto puede deberse principalmente a que al ser las primeras aplicaciones y con base en las escala de severidad de roya del cafeto en la hoja, manejado por el SENASICA (2013), se presentaron daños en hojas en el segundo y tercer estrato de muestreo con valor de 0= Sano sin síntomas visibles; 1= 1-5% de área afectada y 2= 6-20% de área afectada, descartando los niveles 3= 21-50% de área afectada y 4= Más de 50% de área afectada, con apoyo de la Fig. 1. Escala de severidad de la roya del cafeto.

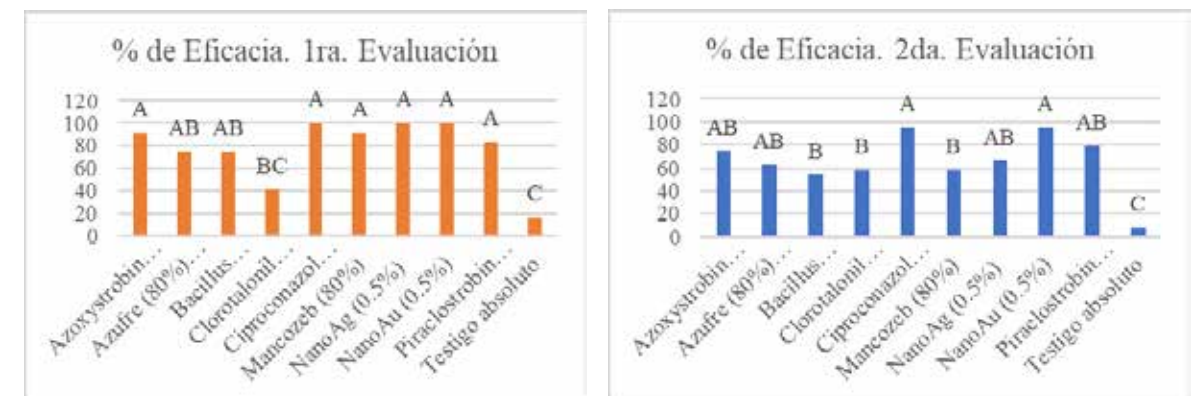


Fig. 6. Porcentaje de efectividad biológica, 1ra. Evaluación (mayo 2019). Fig. 7. Porcentaje de efectividad biológica, 2da. Evaluación (junio 2019).

Para la Segunda y tercera evaluación, las NanoAu (0.5%) con 95.83% y 83.33%, presentaron la mayor eficacia; así como Ciproconazol (10%) 95.83% y 90% de efectividad, esto puede deberse a que afecta a las urediosporas de *H. vastatrix* durante la penetración y formación de haustorios; y a qué en las células del hongo afecta la biosíntesis de las membranas celulares, por que el ingrediente activo Ciproconazol (triazol) es absorbido por la planta y distribuido acropetalamente. Tiene también una fuerte actividad preventiva y curativa, por eso es que es de los productos más persistentes en todo el experimento y fue el más utilizado en el manejo de la roya del cafeto, debido a que su modo de acción permite el uso protectante y curativa, sin embargo su alto nivel de tendencia a la resistencia, tiende a que se alterne con otro ingrediente activo (Syngenta, 2021b).

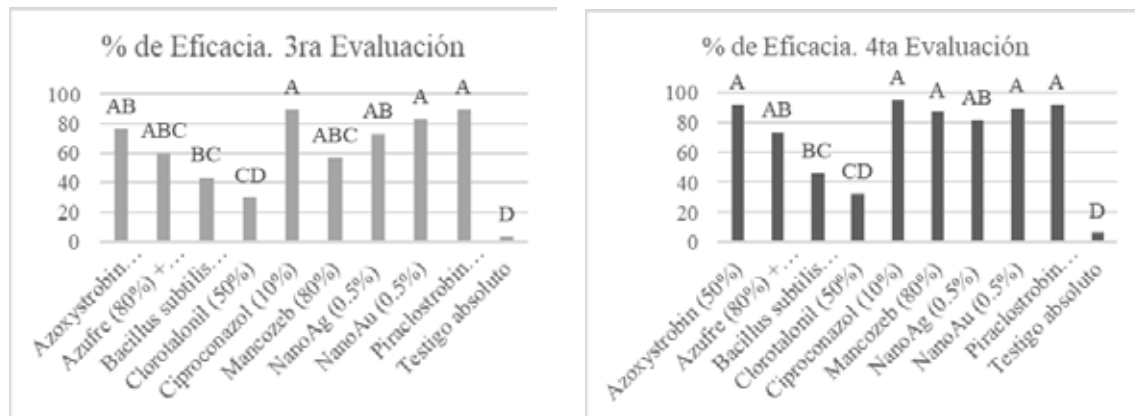


Fig. 8. Porcentaje de efectividad biológica, 3ra. Evaluación (julio 2019). Fig. 9. Porcentaje de efectividad biológica, 4ta. Evaluación (agosto 2019).

Para la tercera y cuarta evaluación, Ciproconazol (10%) con 90% y 94.59% de efectividad, así como Piraclostrobin (25%) con 90% y 91.89% respectivamente, presentaron los niveles más altos de efectividad biológica, esto puede deberse a que los tratamientos son triazoles, donde el modo de acción que ejerce Piraclostrobin es de contacto y sistémico de forma ascendente e inclusive translaminar; ya que el producto presenta una alta adherencia a la cutícula cerosa de la hoja de café, por lo que otorga un prolongado control sobre *H. vastatrix* y posee una elevada resistencia al lavado por lluvia o rocío, siendo su mecanismo de acción donde actúa como inhibidor del transporte de electrones en las mitocondrias de las células de los hongos, inhibiendo la formación de ATP (Montana, 2017).

En todas las evaluaciones, las NanoAu (0.5%), presentaron eficacias que van de 83.33 hasta el 100%, esto puede deberse a la forma de como presentan el efecto antibacteriano, afectando la disrupción de la membrana y siendo unos de los mejores tratamientos. Esto puede respaldarse con lo reportado por Huang et al., 2007, donde las NanoAu presentan propiedades antimicrobiales con *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* y *Actinobacter baumannii* (Ghosh et al., 2012). Naranjo et al., (2017) mencionan que pueden afectar el desarrollo de *Fusarium* sp. *in vitro*, lo que ha de reflejarse contra *H. vastatrix*, en hojas de café, donde se redujeron la cantidad de pústulas por estrato de la planta en las últimas dos aplicaciones.

En el caso de Azoxystrobin (50%) y Ciproconazol (10%), los tratamientos tienen como ingredientes activos, Triazoles y Estrobirulinas que sobresalieron medianamente del resto y coinciden con lo que mencionó Avelino et al., en el 2013, en donde posiblemente la mezcla de una Estrobirulina más un Triazol, puede presentar un menor porcentaje de severidad, por lo que se puede utilizar alguna mezcla de estos ingredientes activos (Campos et al. 2013), para el caso de Azoxystrobin, es un fungicida sistémico y de contacto, perteneciente al grupo químico de las estrobirulinas con acción preventiva, curativa y antiesporulante. Y actúa inhibiendo el proceso respiratorio de los hongos, resultando especialmente eficaz para impedir la germinación de esporas

y el desarrollo inicial del patógeno, por lo que es muy recomendado para el manejo de royas en campo (Syngenta, 2021c)

En el caso del Mancozeb (80%), siendo un fungicida de contacto que actúa preventivamente, alterando las funciones de la membrana celular, inhibiendo la respiración de los hongos, presentó un 86.48% de efectividad lo que puede considerarse como producto básico para el manejo de la roya del café, debido al precio accesible para los productores (Anónimo, 2021).

Estos resultados pueden atribuirse al manejo agronómico del cultivo (podas, eliminación de sombra adecuadamente, nutrición) e influye sobre la activación, dispersión y desarrollo de las pústulas (urediosporas) de *H. vastatrix*, por lo que se considera que se redujo el inóculo de roya y que pueden, en el complemento de los diferentes tratamientos aplicados en los cuatro meses que duró el experimento, favorecen el manejo de la roya del café.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con mayor eficacia fueron AuNPs (NanoAu) (0.5%), Ciproconazol (10%), Piraclostrobin (25%), Mancozeb (50%) y Azoxystrobin (50%) por lo que pueden considerarse alternativas viables para el manejo de la roya del café y pueden utilizarse en programas de manejo en donde se combinen diferentes ingredientes activos y así evitar problemas de resistencia que se presentan al utilizar un mismo mecanismo y modo de acción; o los mismos ingredientes activos, además de que se puede economizar en el uso de fungicidas y resulta amigable con el ambiente.

LITERATURA CITADA

- Abbot, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- American Phytopathological Society (APS). 2015. Coffee rust (*Hemileia vastatrix*). <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx>
- Anonimo, 2021. Ficha Técnica Mancozeb 80 WP. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/mancozeb_80_wp_07-02-2019.pdf
- Avelino, J.; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del café. CIRAD-CATIE-IICA/PROMECAFE. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>, 47 p.
- Campos A., O. G.; J. C., Gento R.; Santos C., D.; J.N., Reyes M. y Jasinto M., R. 2013. Análisis sobre eficiencia de fungicidas contra la roya del café. *El Cafetalero*. Cedicafé-Anacafé. <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=16TEC:Eficiencia-fungicidas-roya>
- Fry, W. E. 1982. *Principles of Plant Disease Management*. Academic Press. New York, NY.
- Huang, J. L. et al. Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphora* leaf. *Nanotechnology*, volumen 18, 2007
- Ghosh S. et al. Synthesis of silver nanoparticles using *Dioscorea bulbifera* tuber extract and evaluation of its synergistic potential in combination with antimicrobial agents, *Int J Nanomed*, volumen 7, 2012: 483-96.

- Lyr, H., Russell, P.E., and Sisler, H.D. 1996. Modern Fungicides and Antifungal Compounds. Intercept Limited. Andover, United Kingdom.
- Montana. 2017. Ficha Técnica Endura, SENASA. <https://www.corpmontana.com/wp-content/uploads/2018/04/Ficha-Tecnica-ENDURA.pdf>
- Naranjo, H. A. M; Correa, T. S. N; Herrera, B. A. P. Evaluación de la propiedad antimicrobial de las nanopartículas de oro sintetizadas con extractos de *Tamarindus Indica* L y *Mangifera Indica* L. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVIII (número 4), octubre-diciembre 2017: 389-398.
- Proyecto estratégico fomento productivo (PEFP), SAGARPA, COFUPRO, INCA RURAL, AMECAFE, SISTEMA PRODUCTO CAFÉ, y CRUO-UACH. 2011. Plan de innovación de la cafecultura en el estado de Puebla. 108p.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2013. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley y Broome). Dirección General de Sanidad Vegetal. Sistema nacional de vigilancia epidemiológica fitosanitaria. México, D.F. Ficha técnica No. 40. 27 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. “Cierre de producción de cultivos cíclicos y perennes 2015”. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Syngenta. 2021a. Ficha Técnica Bravo 720 SC. https://www.syngenta.com.co/sites/g/files/zhg481/f/bravonil_720_sc_ficha_tecnica.pdf?token=1531501654
- Syngenta. 2021b. Ficha Técnica Alto 10. https://www.syngenta.com.pa/sites/g/files/zhg536/f/pa-alto_sl_-v1.pdf
- Syngenta. 2021c. Ficha Técnica Amystar SC. https://www.syngenta.com.ar/sites/g/files/zhg331/f/amistar_etiqueta_0.pdf?token=1570665635

Capítulo IV

José Elías Méndez Cervantes¹, Rosa María García Núñez²,
Miguel Uribe Gómez² y Mayra Clementina Zamora Elizalde³

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON METEPANTLE EN ESPAÑITA, TLAXCALA

RESUMEN

La caracterización de sistemas agroforestales (SAF) es pieza clave para la planeación y evaluación; debe permitir descifrar la importancia de las tecnologías agroforestales para solucionar problemas, desarrollar el potencial agroforestal, fortalecer la identidad cultural y mejorar el autoabastecimiento de productos sanos. Por otra parte, para comprender, evaluar y desarrollar planes de acción que mejoren los SAF, es necesario clasificarlos. Es por ello que este trabajo tuvo como objetivo caracterizar y clasificar SAF con metepantle en Españita, Tlaxcala. El área de estudio se delimitó con un polígono dentro del municipio, incluyendo tres localidades. El proceso de caracterización incluyó la consulta constante de fuentes secundarias, la elaboración de mapas de climas, uso de suelo y vegetación, fisiografía y tipos de suelos, para generar unidades de paisaje homogéneas. Para la caracterización socioeconómica se aplicó un guión de entrevista semiestructurado a 14 productores de las 3 localidades, definidos a partir del método bola de nieve. Una vez recabada la información se procedió a clasificar los sistemas de producción a partir de cuatro criterios. Como resultado se obtuvo la historia agraria, un mapa con la distribución de los SAF en las unidades de paisaje delimitadas, la clasificación de los SAF y tres categorías de productores.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, tecnologías agroforestales, caracterización, clasificación, categorías de productores.

¹ Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. e-mail: elias941207@gmail.com.

² Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. e-mail: migueluribe123@gmail.com

³ Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. e-mail: mayracze1@gmail.com.

ABSTRACT

The characterization of agroforestry systems (AFS) is a key element for planning and evaluation; it should make it possible to decipher the importance of agroforestry technologies to solve problems, develop agroforestry potential, strengthen cultural identity and improve the self-sufficiency of healthy products. On the other hand, in order to understand, evaluate and develop action plans to improve FFS, it is necessary to classify them. For this reason, the objective of this study was to characterize and classify AFS with metepantle in Españita, Tlaxcala. The study area was delimited with a polygon within the municipality, including 3 localities. The characterization process included the constant consultation of secondary sources, the elaboration of maps of climates, land use and vegetation, physiography and soil types, to generate homogeneous landscape units. For the socioeconomic characterization, a semi-structured interview script was applied to 14 farmers from the 3 localities, defined using the snowball method. Once the information was collected, the production systems were classified according to four criteria. As a result, we obtained the agrarian history, a map with the distribution of the AFS in the delimited landscape units, the classification of the AFS and three farmer categories.

Keywords: Agroforestry systems, agroforestry technologies, characterization, classification, farmer categories.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales son agroecosistemas cuyos componentes pueden estar comprendidos por árboles, cultivos y/o animales, que interactúan de manera compleja y dinámica (Jiménez & Muschler, 1999). Se requiere de la caracterización de sistemas agroforestales (SAF) para identificar el patrón de uso de la tierra en la tradición agroforestal de la región a estudiar, incluyendo los componentes, su distribución, prácticas de manejo y el objetivo de producción (Krishnamurthy et al., 2002). Este proceso consiste en la identificación analítica de características de sistemas y tecnologías agroforestales. Es pieza clave para la planeación y evaluación; debe permitir descifrar la importancia de las tecnologías agroforestales para solucionar problemas, desarrollar el potencial agroforestal, fortalecer la identidad cultural y mejorar el autoabastecimiento de productos sanos (Ospina, 2006). Para comprender, evaluar y desarrollar planes de acción para mejorar los SAF, es necesario clasificarlos según algunos criterios comunes, proporcionando así un marco práctico para la síntesis y el análisis de la información sobre los sistemas agroforestales y el desarrollo de otros nuevos y prometedores (Nair, 1993). El proceso de clasificación consiste en la denominación de categorías para la comprensión sistematizada y el análisis agroforestal (Ospina, 2004).

Los sistemas tradicionales que practican las comunidades indígenas y campesinas están en estrecha relación con el medio geográfico (Pérez et al., 2017). Para el caso de los SAF con metepantle su estructura y diseño se ven influenciados por condiciones de relieve, pendiente, altitud, clima, tipos de suelo, etc. A pesar de que este tipo de sistemas presentan el mismo objetivo fundamental que es la conservación de suelo y agua en lugares de tierra de ladera, dentro de una misma región o área, se presentan variaciones en cuanto a su estructura y funcionamiento debido a que también hay influencia

del ámbito socioeconómico, adecuándolos para cumplir objetivos específicos, considerando sus intereses y alcances. Por ello, este trabajo tiene como objetivo caracterizar y clasificar los principales SAF con metepantle en Españita, Tlaxcala a partir de la metodología para el estudio de la agricultura familiar, generando elementos de análisis y dar paso al proceso de evaluación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de Españita se encuentra ubicado entre los paralelos 19° 22' y 19° 30' latitud Norte y los meridianos -98° 20' y -98° 31' longitud Oeste, presenta altitudes que van de los 2315 a los 2933 msnm. Está comprendido por una superficie total de 13959.48 hectáreas (INEGI, 2009). El área de estudio cuenta con una superficie de 1451.17 ha, presenta altitudes que van desde los 2385 a los 2790 msnm. Dentro de ella se ubican las localidades de Álvaro Obregón con longitud 19° 27' 51.0" N y latitud -98° 28' 27.0" W; San Francisco Mitepec con longitud 19° 26' 15.0" N y latitud -98° 26' 38.0" W; y San Miguel Pipiyola con longitud 19° 24' 49.0" N y latitud -98° 26' 24.0" W" (Figura 1).

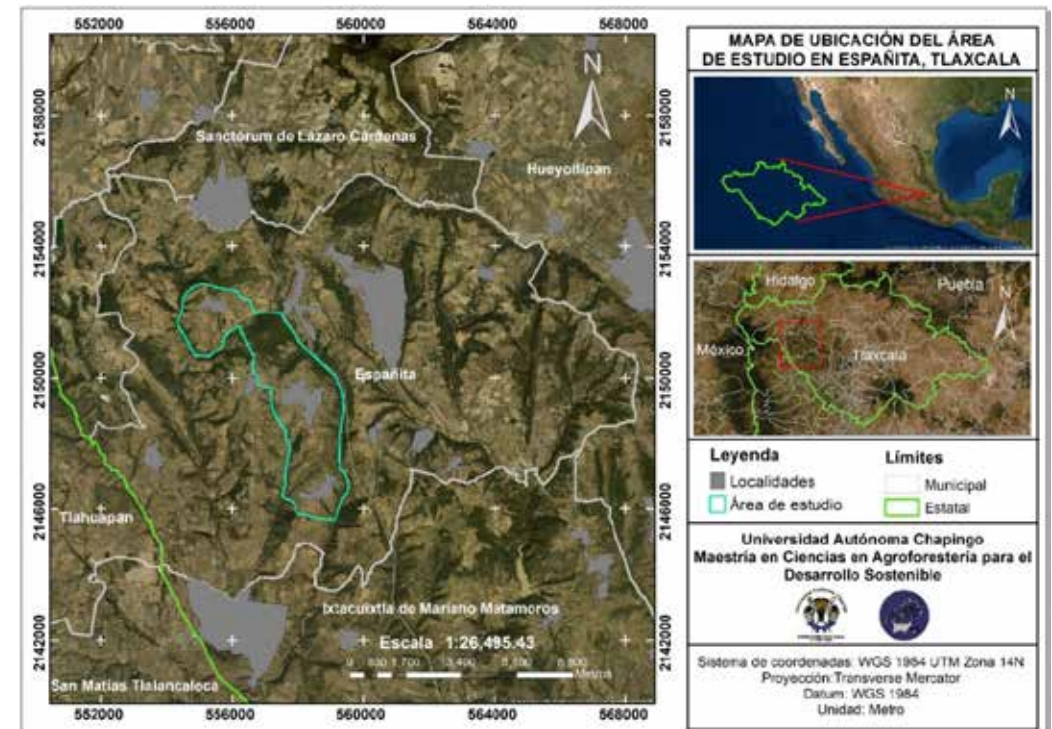


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de Españita, Tlaxcala

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de las unidades de paisaje

Se utilizó la metodología propuesta por Gómez et al. (2008) en donde se elaboraron mapas de fisiografía, clima, uso de suelo y vegetación, y tipo de suelo, con ayuda del Sistema de Información Geográfica ArcMap 10.5. Posteriormente los cuatro mapas se intersecaron para dar lugar a las unidades de paisaje primarias relativamente homogéneas. A cada una de ellas se le asignó un nombre, comenzando por el uso de suelo y vegetación, seguido del tipo de clima, la geofoma del terreno de cada unidad y el tipo de suelo. A continuación, se describe con detalle cómo se elaboró cada mapa.

Caracterización socioeconómica

Se consultó la información presentada por INEGI (s.f.) respecto a las tres localidades incluidas en el área de estudio, resaltando aspectos de actividades económicas, estructura organizativa, estadística poblacional y servicios con los que cuentan.

Historia agraria

Se consultaron fuentes de información secundaria para elaborar una breve reseña histórica de los sucesos más importantes relacionados con los sistemas agroforestales con metepantle y del cultivo de maguey.

Caracterización de los SAF

Se utilizó un muestreo de tipo bola de nieve, que de acuerdo con Martín-Crespo & Salamanca (2007) se basa en la idea de red social. Se aplicó un guión de entrevista semiestructurada a 14 productores de las tres localidades, elaborado a partir de los factores expuestos por Cruz (s.f.).

Clasificación de los SAF y tipología de productores

Se realizó la clasificación de sistemas y tecnologías agroforestales definida por Ospina (2006). La tipología de productores se desarrolló mediante la agrupación de los atributos socioeconómicos de cada productor.

RESULTADOS

Caracterización de las unidades de paisaje

Se obtuvieron 33 Unidades de Paisaje dentro del polígono, distribuidas como se muestra en la figura 2 y descritas en el cuadro 1. La Unidad que predomina es la Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo cambisol éutrico y clima Cb (w2) (w) i g con un 30.26% de la superficie total. En cambio, la unidad de paisaje con menor representatividad es la Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w1) (w) (i') g con apenas el 0.002%.

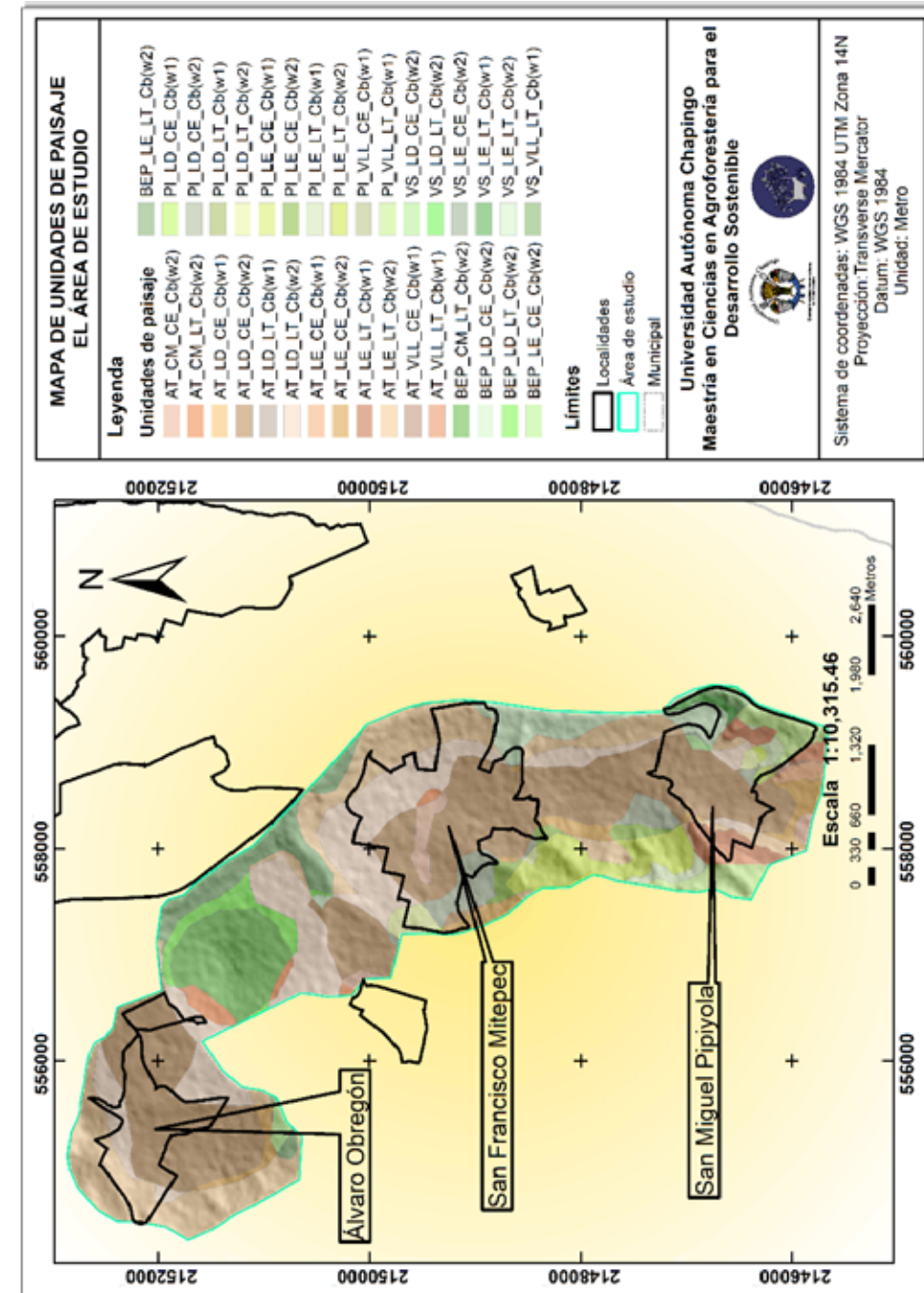


Figura 2. Unidades de paisaje Relativamente Homogéneas en Española, Tlaxcala

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 1. Unidades de Paisaje Relativamente Homogéneas en del área de estudio

CLAVE	Descripción	Área	Porcentaje
AT_CM_CE_Cb(w ₂)	Agricultura de temporal anual y permanente en una cima, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₂) (w) i g.	19.19	1.33
AT_CM_LT_Cb(w ₂)	Agricultura de temporal anual y permanente en una cima, con suelo litosol y clima Cb (w ₂) (w) i g.	14.95	1.04
AT_LD_CE_Cb(w ₁)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	0.12	0.01
AT_LD_CE_Cb(w ₂)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₂) (w) i g.	436.87	30.26
AT_LD_LT_Cb(w ₁)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	0.03	0.002
AT_LD_LT_Cb(w ₂)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w ₂) (w) i g.	230.13	15.94
AT_LE_CE_Cb(w ₁)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas escarpadas con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	7.07	0.49
AT_LE_CE_Cb(w ₂)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas escarpadas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₂) (w) i g.	46.28	3.21
AT_LE_LT_Cb(w ₁)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	20.14	1.40
AT_LE_LT_Cb(w ₂)	Agricultura de temporal anual y permanente en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w ₂) (w) i g.	231.75	16.05
AT_VLL_CE_Cb(w ₁)	Agricultura de temporal anual y permanente en un valle, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	1.09	0.08
AT_VLL_LT_Cb(w ₁)	Agricultura de temporal anual y permanente en un valle, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	13.81	0.96
BEP_CM_LT_Cb(w ₁)	Bosque de Encino-Pino en una cima, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) i g.	81.09	5.62
BEP_LD_CE_Cb(w ₁)	Bosque de Encino-Pino en laderas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) i g.	1.32	0.09
BEP_LD_LT_Cb(w ₁)	Bosque de Encino-Pino en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) i g.	25.34	1.76
BEP_LE_CE_Cb(w ₁)	Bosque de Encino-Pino en laderas escarpadas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) i g.	5.44	0.38
BEP_LE_LT_Cb(w ₁)	Bosque de Encino-Pino en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) i g.	60.31	4.18
PI_LD_CE_Cb(w ₁)	Pastizal inducido en laderas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) i g.	0.80	0.06
PI_LD_CE_Cb(w ₂)	Pastizal inducido en laderas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₂) (w) i g.	39.36	2.73
PI_LD_LT_Cb(w ₁)	Pastizal inducido en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	0.07	0.005
PI_LD_LT_Cb(w ₂)	Pastizal inducido en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w ₂) (w) i g.	14.37	1.00
PI_LE_CE_Cb(w ₁)	Pastizal inducido en laderas escarpadas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	1.46	0.10
PI_LE_CE_Cb(w ₂)	Pastizal inducido en laderas escarpadas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₂) (w) i g.	15.50	1.07
PI_LE_LT_Cb(w ₁)	Pastizal inducido en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	11.60	0.80
PI_LE_LT_Cb(w ₂)	Pastizal inducido en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w ₂) (w) i g.	56.52	3.91
PI_VLL_CE_Cb(w ₁)	Pastizal inducido en un valle, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	0.56	0.04
PI_VLL_LT_Cb(w ₁)	Pastizal inducido en un valle, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	40.83	2.83
VS_LD_CE_Cb(w ₂)	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de Encino en laderas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₂) (w) i g.	2.01	0.14
VS_LD_LT_Cb(w ₂)	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de Encino en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w ₂) (w) i g.	0.20	0.01
VS_LE_CE_Cb(w ₂)	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de Encino en laderas escarpadas, con suelo cambisol éútrico y clima Cb (w ₂) (w) i g.	0.60	0.04
VS_LE_LT_Cb(w ₂)	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de Encino en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w ₂) (w) (i') g.	7.53	0.52
VS_VLL_CE_Cb(w ₁)	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de Encino en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) i g.	52.69	3.65
VS_VLL_LT_Cb(w ₁)	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de Encino en un valle, con suelo litosol y clima Cb (w ₁) (w) (i') g.	4.66	0.32

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización socioeconómica

En la localidad de Álvaro Obregón, los alimentos con los que se abastecen son: maíz, frijol, arroz, leche, huevo, frutas y verduras. La principal actividad económica es la agricultura, bajo la producción principalmente de maíz; también se lleva a cabo la cría y explotación de animales y explotación de minas. Se han presentado daños por sequía, heladas o granizo, incendios forestales y ciclones o huracanes; el principal problema socioeconómico es la carencia de equipamiento y servicios de otro tipo. La población total es de 162 personas, de las cuales la tercera parte se encuentra en un rango de edad de 30 a 59 años. San Francisco Mitepec cuenta con auto abasto de frijol, maíz, arroz, leche, huevo, carne de puerco, pollo, frutas y verduras. La principal actividad económica es la agricultura, representada por la producción de maíz, también se presenta la cría y explotación de ganado, la minería y el comercio. Se han presentado daños por sequía, helada o granizada, incendio forestal y temblor. El principal problema socioeconómico es la deficiencia de empleo. La población total es de 740 habitantes, de los cuales la mayor parte se ubican en un rango de edad de 30 a 59 años. En San miguel Pipiyola hay abasto de alimentos como maíz, frijol, huevo, frutas y verduras. Dentro de los comercios que se presentan están tienda de abarrotes, tienda Diconsa, y venta de gas. La principal actividad económica es la agricultura con la producción principal de maíz, también se presenta la cría y explotación de animales. Se han presentado daños por lluvia o desbordamientos, y ciclón o huracán. El principal problema socioeconómico es la carencia de equipamiento y servicios de otro tipo. Cuenta con una población total de 382 habitantes, de los que la mayoría se encuentran en un rango de edad de 30 a 59 años (INEGI, s.f.).

Historia agraria

A partir del 1500 antes de nuestra era surge el terracedo y con él, los cultivos en la huerta familiar (García, 1968). Durante el virreinato, la creación de asentamientos humanos y su expansión hacia los cerros se asocia también con la presencia de zonas erosionadas además de la conversión de terrenos agrícolas en zonas de pastoreo para los rebaños de ovejas (González, 2016). La agricultura indígena del siglo XVI combinó el cultivo en los solares para completar la dieta de los pobladores tlaxcaltecas; la tecnología y los animales de especies menores pasaron a formar parte de las unidades de producción domésticas (González, 2006). En el siglo XIX las haciendas pulqueras fueron relevantes en el control de la erosión de los suelos y para la economía regional y estatal, manejaron una combinación de cultivos comerciales (trigo/maguey o cebada/maguey) a través del sistema agrícola de bancales (González, 2016). La gran propiedad rural en Tlaxcala, conoce quizá su máxima época de esplendor a finales del siglo XIX con la aparición de los ferrocarriles. A partir de 1940 las haciendas mantienen una cierta importancia en la economía local (Ramírez, 1990). Ya en el XX, varias zonas erosionadas del Bloque Tlaxcala fueron utilizadas como minas. La construcción inadecuada de caminos incrementó el proceso de formación de barrancas y, junto con la introducción de maquinaria agrícola pesada, la deforestación creciente, el monocultivo y el pastoreo, se acentuaron los procesos de erosión del suelo en Tlaxcala (Werner, 2012, citado por González, 2014). Desde la década de 1960 surgió una disminución en la demanda del pulque debido a un incremento en el cultivo de cebada por la demanda de cerveza (Muñiz-Márquez et al., 2013). A lo largo del siglo XX, procesos como la modernización agrícola del campo se

expresaron en prácticas como la aplicación indiscriminada de insumos químicos; como fertilizantes y herbicidas que alteran la vegetación natural, disminuyen la diversidad de especies y hacen decrecer la fertilidad natural del suelo, además de incrementar la necesidad de adquirir insumos tecnológicos, que además de sus costos, dependen de recursos no renovables (González, 2003). Durante el periodo 1940 a 2012, la superficie de plantaciones de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* ha disminuido en más del 80% en el valle de México y esta tendencia continúa. El robo del mixiote, el tiempo de cultivo del maguey y la comercialización son las principales situaciones que desmotivan a los productores que dejan de plantar la cantidad suficiente de agaves (Aguilar et al., 2014). En el 2018 es emitida la *Ley para el fomento y conservación del maguey y sus derivados del estado de Tlaxcala* por el Gobernador en turno Mariano González Zarur.

Caracterización de los SAF

Se ubicaron los SAF de cada productor en las Unidades de paisaje relativamente homogéneas (Cuadro 2), presentándose sólo en 7 de las 33 delimitadas. La unidad de paisaje en la que se presentan con mayor frecuencia es la de Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo cambisol éutrico y clima Cb (w₂) (w) i g.

Cuadro 2. Relación de los productores y distribución de los SAF en el las unidades de paisaje

ID	Nombre	Localidad	Latitud	Longitud	*Unidad de paisaje
1	Gabriel Leonardo Contreras Álvarez	A. Obregón	19°27'54.98"N	98°28'15.19"O	AT_LD_LT_Cb(w ₂)
2	Adrián Eustasio Pérez Contreras	A. Obregón	19°27'39.94"N	98°28'46.69"O	AT_LE_LT_Cb(w ₂)
3	José Cupertino Contreras Pérez	A. Obregón	19°27'24.60"N	98°28'39.00"O	AT_LE_CE_Cb(w ₂)
4	Francisco Pérez Huesca	A. Obregón	19°27'47.90"N	98°28'20.24"O	AT_LD_CE_Cb(w ₂)
5	José Pablo García Hernández	A. Obregón	19°27'12.15"N	98°28'28.81"O	AT_LD_CE_Cb(w ₂)
6	Salomón García Hernández	A. Obregón	19°27'48.17"N	98°28'34.49"O	AT_LD_CE_Cb(w ₂)
7	Florentino Pérez Huesca	A. Obregón	19°27'41.56"N	98°28'36.58"O	AT_LD_CE_Cb(w ₂)
8	Delfina García Hernández	A. Obregón	19°27'3.55"N	98°28'31.13"O	AT_LE_LT_Cb(w ₂)
9	Juan Romero Fuentes	Sn. Fco. Mitepec	19°26'15.50"N	98°26'27.85"O	AT_LD_LT_Cb(w ₂)
10	Luis Ramírez Romero	Sn. Fco. Mitepec	19°26'1.56"N	98°26'33.53"O	AT_LD_CE_Cb(w ₂)
11	Fernando Fuentes Cruz	Sn. Fco. Mitepec	19°26'16.76"N	98°27'16.63"O	PI_LD_LT_Cb(w ₂)
12	Pablo Torres Castañeda	Sn. M. Pipiyola	19°24'37.53"N	98°26'14.84"O	AT_LE_LT_Cb(w ₁)
13	Dimas Mayolo Torres	Sn. M. Pipiyola	19°24'35.06"N	98°26'16.78"O	AT_LE_LT_Cb(w ₁)
14	Isidro Quiróz García	Sn. M. Pipiyola	19°24'42.23"N	98°26'9.07"O	PI_VLL_LT_Cb(w ₁)

Fuente: Elaboración propia. *AT_LD_CE_Cb(w₂) = Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo cambisol éutrico y clima Cb (w₂) (w) i g; AT_LD_LT_Cb(w₂) = Agricultura de temporal anual y permanente en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w₂) (w) i g; AT_LE_CE_Cb(w₂) = Agricultura de temporal anual y permanente en laderas escarpadas, con suelo cambisol éutrico y clima Cb (w₂) (w) i g; AT_LE_LT_Cb(w₁) = Agricultura de temporal anual y permanente en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w₁) (w) (i') g; AT_LE_LT_Cb(w₂) = Agricultura de temporal anual y permanente en laderas escarpadas, con suelo litosol y clima Cb (w₂) (w) i g; PI_LD_LT_Cb(w₂) = Pastizal inducido en laderas, con suelo litosol y clima Cb (w₂) (w) i g; PI_VLL_LT_Cb(w₁) = Pastizal inducido en un valle, con suelo litosol y clima Cb (w₁) (w) (i') g.

La información del Cuadro 3 muestra que la edad promedio del jefe de la unidad de producción es de 57 años. En promedio cada familia cuenta con 4 integrantes pertenecientes a distintos grupos de edades. Los productores presentan un promedio de 2.5 unidades de trabajo hombre (UTH). Todos los productores presentan mano de obra mixta. La superficie promedio es de 4.7 ha. Predominan los agricultores que poseen propiedad privada y ejidal. En su mayoría destinan su producción para la venta y el auto abasto. Sólo una persona cuenta con producción de riego y temporal. Sólo 6 productores utilizan insumos convencionales, mientras que 5 productores han optado por utilizar insumos alternativos. La diversificación de cada sistema no está relacionada con la superficie de producción, esto se puede observar debido a que uno de los productores tiene 11 componentes distintos en una superficie de 2.25 ha, mientras que otro presenta la misma cantidad de componentes en 6 ha. Por otra parte, el productor con mayor superficie (10 ha) presenta apenas 3 componentes, mientras que el que cuenta con 1 ha presenta 5 componentes.

Cuadro 3. Características socioeconómicas de los SAF

ID	No. Integrantes	UTH	Edad	Mano de obra	Superficie (ha)	Tipo de propiedad	No. Total de componentes	Propósito	Tipo de producción	Mercado de venta	Tipo de material utilizado	Tipo de insumos utilizados
1	3	2.2	85	MX	8	PP/EJ	6	V/AA	T	CNV	Criollo	CNV
2	4	4	49	MX	4	PP/EJ	9	V/AA	T	ALT	Criollo	ALT
3	4	3	52	MX	8	PP/EJ	5	V/AA	T	CNV	Criollo	CNV
4	3	3	62	MX	3.5	EJ	4	AA	T	N/A	Criollo	CNV
5	4	3.4	50	MX	7	PP/EJ	12	V/AA	T	ALT	Criollo	CNV/ALT
6	4	2.6	55	MX	4	PP/EJ	4	AA	T	N/A	Criollo	CNV
7	3	1.4	71	MX	10	PP/EJ	3	V/AA	T	CNV	Criollo	CNV/ALT
8	3	2	46	MX	4	EJ	6	AA	T	N/A	Criollo	ALT
9	4	3.2	55	MX	5	PP/EJ	5	V/AA	T	ALT	Criollo	ALT/CNV
10	3	1.4	53	MX	1	PP	5	AA	T	N/A	Criollo	CNV
11	5	2.4	42	MX	2.25	EJ	11	V/AA	T	ALT	Criollo	ALT
12	6	2.4	44	MX	6	EJ	11	V/AA	T	ALT	Criollo	ALT
13	4	2.4	68	MX	3	PP	10	V/AA	R/T	ALT	Criollo	ALT
14	4	2	67	MX	1	EJ	8	AA	T	N/A	Criollo	CNV

Fuente: Elaboración propia. ZFM = Familiar; CT = Contratada; MX = Mixta. YPP = Pequeña Propiedad; EJ = Ejidal; PP/EJ = Propiedad privada y ejidal. XAA = Auto abasto; V/AA = Venta y auto abasto. WT = De temporal; R/T = Riego y temporal. VCNV = Convencional; ALT = Alternativo; N/A = No aplica. UCNV = Convencional; ALT = Alternativo; CNV/ALT = Convencional/alternativo; ALT/CNV = Alternativo/convencional.

Clasificación de los SAF y tipología de productores

En el cuadro 3 se muestra que 11 productores presentan la tecnología de cultivos en callejones, definida por Ospina (2006) como bandas o fajas de especies leñosas asociadas con cultivos agrícolas en callejones de pocos metros de ancho y largo variable. Su función principal es aumentar o mantener la productividad del cultivo asociado, regulación microclimática, disminución de la evapotranspiración y mantenimiento del área libre de arvenses invasoras. Sólo hay un productor que presenta entomoforestería como tecnología, definida por Ospina (2006) como la cría de insectos asociada con especies leñosas y no leñosas para la generación de productos de directa utilidad. Para el caso de los 11 productores, el tipo de sistema es agrosilvicultural, el cual sólo incluye a la especie leñosa y no leñosa. Mientras que el productor que tiene la tecnología de entomoforestería, su sistema agroforestal se incluye dentro de los llamados sistemas especiales (Mendieta & Rocha, 2007).

Cuadro 3. Criterios para la clasificación de SAF

ID	Criterio socioeconómico		Criterio estructural		Criterio ecológico	Criterio funcional	
	zCategoría socioeconómica	yArreglo temporal	Disposición horizontal	xDisposición vertical	wPrincipal recurso natural conservado	vProductos	uServicios
1	PC	INT	Zonal	MEST	1-al 5	1, 2, 5	1 al 5
2	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	1,5	1 al 5
3	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	1, 5	1 al 5
4	PAA	INT	Zonal	MEST	1 al 5	1, 5	1 al 5
5	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	5	1 al 5
6	PAA	INT	Zonal	MEST	1 al 5	5	1 al 5
7	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	5	1 al 5
8	PAA	INT	Zonal	MEST	1 al 5	5	1 al 5
9	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	1, 2, 5	1 al 5
10	PAA	INT	Zonal	MEST	1 al 5	1, 2, 3, 5	1 al 5
11	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	2, 5, 6	1 al 5
12	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	1, 3, 5	1 al 5
13	PC	INT	Zonal	MEST	1 al 5	1, 3, 5	1 al 5
14	PAA	INT	Zonal	MEST	1 al 5	5	1 al 5

Fuente: Elaboración propia. zPAA = Principalmente auto abasto; PC = Principalmente comercial. yINT = Intermitente. xMEST = Multiestratificado. w1 = Mayor capacidad de acumulación de biomasa; 2 = Mayor capacidad de conservación de la biodiversidad; 3 = Mayor capacidad de conservación del suelo; 4 = Mayor capacidad conservación del agua; 5 = Mayor capacidad de regulación microclimática. v1 = Madera; 2 = Forraje y/o abono verde; 3 = Frutas; 4 = Productos alimenticios de origen animal; 5 = Productos alimenticios de origen vegetal; 6 = Materiales de uso artesanal o/e industrial. u1 = Recuperación o conservación de suelos, control de la erosión; 2 = Aumento de la productividad del sistema; 3 = Regulación microclimática y/o agua/humedad; 4 = Impedir el paso de personas y/o animales; 5 = Delimitación de áreas en finca y/o entre fincas.

Partiendo de una pre tipología determinada por el atributo de propósito de producción, se presenta una subdivisión de los productores que tienen como objetivo la venta y el auto abasto, dando como resultado tres categorías. En el cuadro 4 se muestran los rangos de atributos que tiene cada una de las categorías.

Cuadro 4. Tipología de productores

Atributo	Categoría I. Principalmente autoconsumo	Categoría II. Principalmente comercial en mercados convencionales	Categoría III. Principalmente comercial en mercados alternativos
No. integrantes	3 - 4	3 - 4	4 - 6
UTH	1.4 - 3	1.4 - 3	2.4 - 4
Edad	46 - 67	52 - 85	44 - 68
Superficie (ha)	1 - 4	8 - 10	2.25 - 7
Tipo de propiedad	PP, EJ, PP/EJ	PP/Ej	PP, EJ, PP/EJ
No. Total de componentes	4 - 8	3 - 6	4 - 8
Propósito	AA	V/AA	V/AA
Mercado de venta	N/A	Convencional	Alternativo
Tipo de insumos utilizados	CNV	CNV, CNV/ALT	ALT, CNV/ALT, ALT/CNV

Fuente: Elaboración propia.

Categoría I. Los productores de esta categoría se encuentran en un nivel de desarrollo estancado. Presentan un rango de integrantes de la familia que va de 3 a 4 personas y en promedio un valor de las unidades de trabajo hombre (UTH) de 2.2. Con mayor frecuencia cuentan con propiedad ejidal, tienen un rango de superficie de 1 a 4 hectáreas. Dedicán los productos obtenidos al autoconsumo, cuentan con material vegetal criollo. Usan insumos comerciales que promueve la agricultura convencional. La elección de los componentes de su sistema productivo se basa en las necesidades alimenticias; cuentan con apoyos económicos por parte de programas gubernamentales.

Categoría II. Al igual que la categoría 1, los productores cuentan con un rango de integrantes de familia que va de 3 a 4, y el promedio de UTH es de 2.2. En este caso, todos los productores tienen tierras ejidales y pequeña propiedad, además de que el rango de superficie que trabajan es de 8 a 10 hectáreas. Priorizan en el autoconsumo, vendiendo sus excedentes a intermediarios o en su caso llevándolos a mercados cercanos. A pesar de que cuentan con mano de obra familiar, optan por llevar a cabo las labores agrícolas de forma mecanizada, ya que tienen espacio suficiente entre bordos, lo que favorece la introducción de maquinaria. Sus sistemas de producción son poco diversificados, presentando mayor diversidad o número de componentes leñosos en comparación con los componentes agrícolas.

Categoría III. Esta categoría de productores presenta un rango de mano de obra familiar que va de 4 a 6 integrantes, además de un promedio de 3 UTH. Hay variación en cuanto al tipo de propiedad, ya que presentan pequeña, ejidal y mixta. El rango de superficie se encuentra entre 2.25 y 7 hectáreas. En su mayoría se encuentran bajo un esquema de producción alternativo, en el que se preocupan por la salud del suelo y la calidad de los productos que obtienen. Realizan sus propios insumos e invierten más trabajo y tiempo, ya que buscan obtener un sobreprecio ofertando sus productos procesados como platillos en mercados alternativos u orgánicos certificados. Presentan mayor diversificación en sus sistemas de producción con un rango total de componentes leñosos y agrícolas que va de 4 a 8. Combinan la mano de obra familiar y mecanizada.

CONCLUSIONES

La caracterización biofísica de los SAF con metepantle muestra que se encuentran establecidos en terrenos bajo condiciones adversas, por lo que los productores optaron por implementar la tecnología de cultivos en callejones y árboles en hileras como respuesta a las limitantes y procesos erosivos. Por otra parte, la caracterización socioeconómica es la pauta para poder agrupar a los productores que, aun habiendo diferencias en sus sistemas de producción, comparte objetivos comunes.

Un aspecto fundamental en la incorporación de nuevos elementos o tecnologías en los SAF es la capacitación, el acercamiento con personas experimentadas y la difusión del conocimiento. La presión socioeconómica y tecnológica ha generado la desaparición parcial del componente leñoso. Aunque ya se presenten programas relacionados con la reforestación y la plantación de magueyes, de acuerdo con la información obtenida, aún hace falta capacitar a los productores para que aprovechen al máximo los árboles multipropósito. En este sentido hay productores que cuentan con plantas viejas de maguey y/o frutales, sin darles el mínimo mantenimiento, quedándose sólo en los beneficios al suelo, pero acortando su potencial productivo y su periodo de vida.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado.

LITERATURA CITADA

- Aguilar Juárez, B., Enríquez del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Granados Sánchez, D., & Martínez Cerero, B. (2014). El estado actual de Agave salmiana y A. mapisaga del valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(2), 106-120.
- Cruz León, A. (s.f.). Agricultura familiar: Metodología para su estudio.
- García Cook, Á. (1968). El control de la erosión en Tlaxcala: Un problema secular. *Erdkunde*(40), 251-262.
- Gómez, J. D., Etchevers, J. D., Monterroso, A. I., Gay, C., Campo, J., & Martínez, M. (2008). Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera*, 21(1), 35-56.
- González Jácome, A. (2003). Los sistemas agrícolas en el suroeste de Tlaxcala. En A. González

- Jácome, *Cultura y agricultura: transformaciones en el agro mexicano* (Primera ed., págs. 31-56). D. F.: Universidad Iberoamericana.
- González Jácome, A. (2006). El ambiente y la agricultura en Tlaxcala durante el siglo XVI. *Perspectivas Latinoamericanas*(3), 19-46.
- González Jácome, A. (2014). Sistemas agrícolas en orografías complejas: Las terrazas de Tlaxcala. *Perspectivas Latinoamericanas*(11), 1-30.
- González Jácome, A. (2016). Sistemas agrícolas en orografías complejas: las terrazas de Tlaxcala. En I. Moreno Calles, A. Casas, V. M. Toledo, & M. Vallejo Ramos, *Etnoagroforestería en México* (Primera ed., págs. 111-145). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI. (2009). *inegi.org.mx*. Obtenido de *inegi.org.mx*: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/29/29012.pdf
- INEGI. (s.f.). *inegi.org*. Recuperado el 12 de 08 de 2021, de *inegi.org*: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>
- Jiménez, F., & Muschler, R. (1999). Conceptos básicos de agroforestería. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Krishnamurthy, L., Buendía Nieto, A., Morán Valente, M. A., & Uribe Gómez, M. (2002). Caracterización del sistema tradicional agrisilvícola café-plátano-cítricos en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. En L. Krishnamurthy, & M. Uribe Gómez (Edits.), *Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible* (Primera ed., págs. 18-48). México: PNUMA-SEMARNAT.
- Martín-Crespo Blanco, C., & Salamanca Castro, A. B. (2007). El muestreo en la investigación cualitativa. *Nure Investigación*(27).
- Mendieta López, M., & Rocha Molina, L. R. (2007). *Sistemas Agroforestales* (Primera ed.). Managua: Universidad Nacional Agraria.
- Muñiz-Márquez, D. B., Rodríguez-Jasso, R. M., Rodríguez-Herrera, R., Contreras-Esquivel, J. C., & Aguilar-González, C. N. (2013). Producción Artesanal del Aguamiel: Una Bebida Tradicional Mexicana. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(10), 12-19.
- Nair, P. K. (1993). *An Introduction to Agroforestry*. Dordrecht: Klgwer Academi Publishers/ International Center for Research in Agroforestry.
- Ospina A., A. (01 de Diciembre de 2006). *Agroforestería. Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal* (Segunda ed.). Santiago de Cali: Asociación del Colectivo de Agroecología del Suroccidente Colombiano. Obtenido de Agroforesterpiaecológica: www.agroforesteriaecologica.com
- Ospina, A. (2004). Clasificación y caracterización de tecnologías agroforestales. En MAELA, *Agroforestería en Latinoamérica: experiencias locales* (págs. 21-40). Bolivia.

- Pérez Sánchez, J. M., Moctezuma Pérez, S., Sales Colín, J., Reyes Montes, L., & Juan Pérez, j. I. (2017). Manejo del suelo en la agricultura tradicional de laderas en Tlaxcala y el Valle de Toluca, México. En F. Carreño Meléndez, C. Rodríguez Soto, & J. A. Castellanos Suárez, *Patrimonio biocultural. Experiencias integradoras* (Primera ed., págs. 79-100). Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Ramírez, R. M. (1990). *El sistema de haciendas en Tlaxcala* (Primera ed.). México, D. F.: Consejo nacional para la cultura y las artes.

Capítulo V

María Laura Díaz Baca¹, José Eduardo Magaña Magaña²,
María Elvira González Anchondo³ y Martha Itzel Macías Rivera⁴

PRODUCCIÓN Y COSECHA DE GOMA DE MEZQUITE (*PROSOPIS GLANDULOSA*) Y HUIZACHE (*VACHELLIA FARNESIANA*) CON DOS TRATAMIENTOS DE ETILENO EN LA REGIÓN DE NAICA, CHIHUAHUA

RESUMEN

El ejido de Naica, Chihuahua, cuenta con una superficie de 1500 ha de las cuales alrededor del 60% están pobladas por la especie nativa de mezquite y huizache (INEGI, 2019), estos se utilizan principalmente como carbón, y leña y son considerados como recurso valioso para comunidades rurales. Generan una resina que puede ser comercializada y es una alternativa económica. Con el propósito de aprovechar el uso sustentable de los recursos naturales, Magaña, ha realizado investigaciones para determinar el efecto de una hormona vegetal y determinar el proceso de producción y cosecha de estas gomas sin causar daños fisiológicos a las plantas. Buscando mejores alternativas para optimizar la producción y contribuir al desarrollo económico de los habitantes del desierto chihuahuense, se extrajo goma de la planta de mezquite y huizache bajo tratamiento de etileno en concentraciones de 3%, 5%, 7.5%, 10% y etileno con inhibidor de auxinas en concentraciones de 5%, 10%, 15%, y 20%. La aplicación fue en cortes de tronco y ramas secundarias de los árboles. Los resultados indicaron que el 100% de las plantas tratadas produjeron goma. La duración del efecto de la hormona en la producción de goma fue de nueve semanas. Las cosechas se realizaron cada tres semanas. En un análisis de comparación de medias, la mayor producción de goma de mezquite fue en la concentración de 15% con el tratamiento de etileno y de la misma manera para el huizache. Ambas especies pueden producir goma de manera controlada sin causar daño a la planta.

Palabras clave: Resina natural, Desarrollo Económico, Desierto Chihuahuense.

¹ Autor de correspondencia. Estudiante de la Maestría en Agronegocios FCAyF-UACH p244465@uach.mx

² Docente Investigador FCAyF-UACH emagana@uach.mx

³ Docente Investigador FCAyF-UACH elviragonan@uach.mx

⁴ Estudiante de Licenciatura FCAyF-UACH a286419@uach.mx

ABSTRACT

The ejido of Naica, Chihuahua, has an area of 1500 ha of which about 60% are populated by the native species of mesquite and huizache (INEGI, 2019), these are mainly used as charcoal and firewood and considered as valuable resource for rural communities. They generate a resin that can be commercialized as an economical alternative. In order to take advantage of the sustainable use of natural resources, Magaña has conducted a research to determine the effect of a plant hormone to determine the production and harvesting process of these gums without causing physiological damage to plants. Looking for better alternatives to optimize production and contribute to the economic development of the Chihuahuan desert inhabitants, rubber was extracted from the mesquite and huizache plant under ethylene treatment in concentrations of 3%, 5%, 7.5%, 10% and ethylene with auxin inhibitor in concentrations of 5%, 10%, 15%, and 20%. The application was in trunk cuts and secondary branches of the trees. The results indicated that 100% of the treated plants produced gum. The duration effect of the hormone on gum production was nine weeks. Harvests were carried out every three weeks. In an analysis of comparison of means, the highest production of mesquite gum was in the concentration of 15% with the ethylene treatment and in the same way for the huizache. Both species can produce gum in a controlled manner without causing damage to the plant.

Keywords: Natural Resin, Economic Development, Chihuahuan dessert.

INTRODUCCIÓN

Las autoridades del ejido y miembros de la comunidad solicitaron el apoyo de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, para diseñar y operar un proyecto de desarrollo para contribuir a la economía sustentable pues dependían de la industria minera. Industrias Peñoles se ubica en la comunidad de Naica municipio de Saucillo Chihuahua. El cierre de la empresa en el año 2015, causo que se dejara de contar con agua para irrigación que se proporcionaba a los productores de Naica (Wang, 2011). Una de las alternativas fue crear el proyecto de investigación: *La Sostenibilidad del desierto Chihuahuense y la agenda 2030 de la ONU*, a partir de ello, se realizaron varias investigaciones desde el año 2017 al 2020 para determinar el efecto de una hormona vegetal y con ello, el proceso de producción y cosecha de goma de mezquite y huizache (López, 2006).

El desarrollo sostenible es un proceso continuo y dinámico que permite satisfacer las necesidades, deseos e intereses de la comunidad. Se caracteriza por la búsqueda de ideales para su desarrollo futuro, deseable y alcanzable. El ser humano se organiza para aprovechar o utilizar los recursos naturales en su interminable lucha por sobrevivir, lo que lo convierte en el eje central del desarrollo sustentable. Las acciones que realicen afectan de manera positiva o negativa en lo particular y tiene un efecto multiplicador en cualquier otro espacio regional, nacional y global. Por lo que la responsabilidad de la conservación, mejora, el aprovechamiento integral y económico de los recursos naturales, dependen del nivel de información, percepción e intereses de la comunidad. De tal manera, que el entendimiento, la aceptación, las decisiones y acciones, los conducirán a beneficiarse con sus aciertos y perjudicarse con sus errores.

El desierto de Chihuahua es una de las regiones desérticas con mayor biodiversidad del mundo y alberga una amplia variedad de especies. Así mismo, es uno de los desiertos más secos y extensos del mundo. Ocupa un área aproximadamente de 507,000 kilómetros cuadrados e incluye los estados de Nuevo México y Texas en Estados Unidos y los estados o partes de ellos como Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (López, 2006). De acuerdo con Köppen y Geiger, la temperatura media anual en Chihuahua se encuentra a 18.9 °C. La precipitación es de 332 mm al año. Chihuahua se encuentra a 1437 metros sobre el nivel del mar. El clima se considera un clima de estepa local. El desierto chihuahuense es un territorio habitado por diferentes grupos étnicos: tubar, ópata, chínipa, guazapar, rarámuri, ódami, guajiro y pima, que convive con la fauna y la flora de la región. La fauna, principalmente, está compuesta por aves y mamíferos que se han adaptado a las zonas áridas como reptiles, serpientes de cascabel (*Crotalus spp.* y *Sistrurus spp.*), tortugas (*Testudines spp.*) y lagartos cornudos (*Phryosoma spp.*), águila real (*Aquila chrysaetos*), cotorra serrana (*Rynchopsitta pachyrhyncha*). Conviven también con numerosas especies de aves migratorias como el gavilán de Swainson (*Buteo swainsoni*), aves invernales de pastizal y mamíferos, como la liebre de cola negra (*Lepus californicus*), el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el venado bura (*Odocoileus hemionus*), el lobo gris mexicano (*Canis lupus baileyi*), el berrendo (*Antilocapra spp.*) el bisonte (*Bison spp.*), el oso negro (*Ursus americanus*), el perrito llanero (*Cynomys ludovicianus*) y el jaguar (*Panthera onca*). La principal flora son plantas arbóreas (*Metasequoia glyptostroboides*), como picea (*Picea abies*), pino (*Pinus spp.*), y encino (*Quercus spp.*), cactáceas (*Cactaceae spp.*), agaves, sotol (*Dasyliirion spp.*), mezquite (*Prosopis spp.*) y huizache (*Vachellia farnesiana*) (CONAZA, 1994)

El mezquite es una especie que habita del sur de USA y norte de México principalmente en las regiones áridas y semiáridas; esta especie representa un recurso valioso para algunas comunidades, especialmente las comunidades rurales (CONAZA, 1994). Uno de los principales usos es como madera utilizada en la producción de muebles, postes, artesanías, leña y carbón, el néctar de las flores para la producción de miel, las vainas son aprovechadas como alimento humano y ganadero por su alto contenido de nutrientes como proteínas y grasas. En la actualidad, este recurso se es considerado potencialmente como forraje, material de construcción y combustible, es refugio de fauna silvestre e importante para la salud del suelo, ya que previene el proceso de desertificación. La cáscara de los troncos también se utiliza para malestares estomacales en infusión y las hojas machacadas para problemas de los ojos como infecciones y conjuntivitis (López, 2009).

El huizache es una especie con forma arbolea que crece en zonas áridas, resiste las sequías y se desarrolla rápidamente. En América, esta especie se encuentra distribuida desde el sur de los Estados Unidos hasta Argentina. En México se distribuye en la vertiente del pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, y de forma discontinua en la vertiente atlántica, principalmente en el bosque tropical caducifolio, en climas cálidos y semiárido. Puede llegar a medir hasta 12 metros de altura y crece en todo tipo suelos con buen drenaje (Chávez, 2015). Puede ser utilizada como forraje pues es parte de la familia de las leguminosas. Se cultiva en algunos países exclusivamente para utilizar su aceite en la elaboración de productos cosméticos como pomadas, polvos o aromatizantes. La *Vachellia Farnesiana* tiene múltiples propiedades medicinales y curativas dirigidas a resguardar la salud y bienestar de los

pacientes de tratamientos alternativos (Quiroz, 2015). Al igual que el mezquite, el huizache produce vainas planas y alargadas de esta especie presentan un alto contenido de taninos, sustancia muy astringente usada en el proceso de curtiembre de cueros (Reséndiz, 2016). Además, se caracterizan por su valor nutricional y podrían ser un material idóneo para ser utilizado como fuente de nutrientes de bajo costo para pequeños rumiantes y en algunos lugares, se utilizan para alimentar a las vacas (Solís, 1997).

Los agro polímeros se constituyen de un gran número de unidades moleculares que son unidos por enlaces covalentes, por lo general, representan compuestos orgánicos, conteniendo átomos de carbono junto con hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, y halógenos los polímeros son generalmente obtenidos por un proceso de polimerización a partir de compuestos de reactivos de masa polar (Encinas, 2016). Muchos polímeros son producidos a partir de un bajo costo y de fácil acceso que permiten la obtención de grandes cantidades de productos lo que hace que común mente sean más económicos comprados con algunos materiales no poliméricos.

Los agro polímeros, se encuentran en las plantas o en las maderas, y proteínas como el suero de origen animal o el gluten derivado de las plantas. Algunos de los principales agro polímeros son las gomas vegetales, estas son productos obtenidos de exudados (resinas) y de semillas de vegetales, o producidas por microorganismos. Se utilizan, por su gran capacidad de retención de agua, para favorecer el hinchamiento de diversos productos alimentarios, para estabilizar suspensiones de pulpa de frutas en bebidas o postres, para estabilizar la espuma de cerveza o la nata montada, etc. En general son indigeribles por el organismo humano, aunque una parte es degradada por los microorganismos presentes en el intestino. Asimilables metabólicamente a la fibra dietética, pueden producir efectos beneficiosos reduciendo los niveles de colesterol del organismo (Magaña, 2020).

El impacto de la goma arábica radica en que es la resina de mayor exportación en crudo. Esta ha ido aumentando en los últimos 25 años alcanzando en promedio anual de 35,000 toneladas en 1992-1994 a 102,000 toneladas en 2014-2016, lo equivalente en dólares de Estados Unidos de 95.4 millones de dólares a 150.3 millones de dólares aumentando en un 158%. Los principales países exportadores de goma arábica del mundo son Sudan con 66%, el Chad con el 13% y Nigeria con el 8.5% mientras que los principales importadores de la goma arábica en crudo con el 75% son Francia e India, siendo Nexira, quien controla a nivel mundial el 50% de la goma arábica en crudo. Las exportaciones de la goma arábica en crudo han ido aumentando en los últimos 25 años alcanzando en promedio anual de 35,000 t en 1992-1994 a 102,000 t en 2014-2016, lo equivalente en dólares de Estados Unidos de 95.4 millones de dólares a 150.3 millones de dólares aumentando en un 158%. De igual forma la goma arábica procesada paso de 17,000 t a 53,000 t con valor de 74.4 millones de dólares a 192 millones de dólares en los mismos periodos.

Algunas especies de acacias tienen la capacidad de producir goma y en su composición química llevan los carbohidratos y proteínas, dependiendo de la especie la proporción varía en estas. México cuenta con una variedad muy amplia de flora de la cual se extraen resinas y gomas que son utilizadas en distintas industrias. Del mezquite se extrae una resina de goma color ámbar, muy similar a la goma arábica, es un agro polímero altamente ramificado. Tiene una estructura principal y propiedades emulsionantes que se utiliza en la industria alimentaria, es altamente rentable pues

contiene taninos y se utiliza en la producción de tinta. Asimismo, el exudado que se obtiene del tronco del huizache, se emplea como sustituto de la goma arábica que es usada como conservador natural de alimentos (Reséndiz, 2016).

Las gomas de mezquite y huizache tienen similitud e incluso mejora los parámetros requeridos por la *Food and Drug Administration* sobre la goma arábica en la industria alimenticia y pueden sustituirla para ser usada como conservador natural de alimentos. Así mismo, la utilidad económica de estas gomas en la industria, es de uso emulsificante, saborizante, fijador de colores y de olores, entre otros (Magaña, 2017). La goma de mezquite es un componente ramificado de glicoproteínas y polisacáridos.

Se llevaron a cabo estudios sobre el comportamiento de la goma de mezquite como estabilizador; también del comportamiento electrodinámico de los aceites en diversas emulsiones de aceite y agua, y asimismo, acerca del uso del aceite de naranja que ha crecido. Y según mencionan, la goma de mezquite es una composición de glicoproteínas y polisacáridos altamente ramificada en la evolución del grano a lo largo del tiempo. Reduce la tensión superficial a temperatura ambiente y actúa como emulsionante y estabilizador (García, 1998).

Magaña (2017), aplicó tres tratamientos en mezquite y huizache los cuales dieron mejores resultados en producción que la goma arábica bajo una hormona vegetal. Los reguladores vegetales u hormonas vegetales son productos sintéticos que se han convertido en las primeras herramientas capaces de controlar el crecimiento y actividad bioquímica de las plantas por lo que su uso ha aumentado en los últimos años.

Al plantar especies del desierto como el huizache, aparte de diversificar el paisaje urbano, se pueden obtener productos que permitan el desarrollo económico y social. En el experimento: Aprovechamiento integral y económico de las especies nativas no maderables del desierto de Chihuahua, México: Extracción de Goma en una población nativa de Mezquite (*Prosopis glandulosa*) en Naica, Chihuahua, México por Magaña (2020) se extrajo goma de la planta utilizando una hormona vegetal con resultados prometedores.

Del 2017 al 2019 Magaña, realizó investigaciones para determinar el efecto de una hormona vegetal y determinar el proceso de producción y cosecha de goma de mezquite. Esta producción controlada es posible con el uso de la hormona vegetal de etileno sin que esta causara daños a la planta. Se tiene que buscar mejores alternativas en concentraciones de etileno para optimizar la producción de goma, como alternativa de la goma arábica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en el Ejido Naica municipio de Saucillo; está situada en centro-sur del estado de Chihuahua. Sus coordenadas geográficas son 27°51'17"N 105°29'33"O y tiene una altitud de 1,340 metros sobre el nivel del mar, se localiza a 40 kilómetros al sur de la ciudad de Delicias y a 24 kilómetros al oeste de Conchos desde donde lo separan 10 kilómetros de la cabecera municipal, la ciudad de Saucillo.

Este experimento se basa en la tesis de Romero y Magaña (2019), y le da continuidad al proceso de producción de gomas, la selección de las concentraciones fue a partir de las recomendaciones de estos autores.

Los productos aplicados fueron mezclas de una hormona vegetal basada en etileno con agua destilada en concentraciones de 5%, 10%, 15% y 20% y otra de etileno con inhibidor de auxinas y agua destilada en concentraciones de 3%, 5%, 7.5% y 10%. En cuanto árboles de mezquite, se seleccionaron 12 plantas por cada concentración de cada tratamiento con un total 96 árboles tratados.

Por otra parte, en la especie de huizache, se seleccionaron 6 plantas por cada concentración de cada tratamiento con un total de 48 árboles tratados; estos se seleccionaron de acuerdo a sus características físicas favorables para esta investigación como ausencia de estrés hídrico y fisiológico. La distribución de las concentraciones se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos y concentraciones para la producción de goma de mezquite y huizache

Tratamiento	Concentración	No. de árboles tratados	
		Mezquite	Huizache
Etileno	5%	12	6
	10%	12	6
	15%	12	6
	20%	12	6
Etileno con inhibidor de auxinas	3%	12	6
	5%	12	6
	7.5%	12	6
	10%	12	6
Total de arboles		96	48

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionaron rodales de ambas especies según la disponibilidad de la calidad de la luz. Previo a la aplicación de los tratamientos, se realizó un aclareo del área para facilitar la recolección de goma, una vez mejorada el área, se identificó el árbol con una cinta de color diferente para cada concentración. Las soluciones de los tratamientos en cada una de sus concentraciones se realizaron en contenedores de plástico previamente esterilizados.

Los cortes se hicieron en el tronco principal desde los 50 cm de altura del suelo y en las ramas secundarias con ocho a diez cortes por árbol utilizando formón y martillo; El ángulo de corte fue de 30 a 35 grados. La longitud del corte fue entre 2.5 y 5 cm. Una vez atravesada la corteza, la profundidad del corte en el tronco principal se hace en base a la anatomía de cada especie basado en las recomendaciones de los experimentos anteriores de Magaña.

Se aplicaron los tratamientos con una jeringa de 5 ml. La cantidad de mezcla de hormona vegetal más agua destilada aplicado a cada planta de mezquite y huizache fue de 2.5 ml por árbol, usando equipo de protección: guantes y máscara.

A partir de la tercera semana después de la aplicación de las soluciones se procedió a hacer la recolección de las gomas. Se usaron bolsas plásticas previamente identificadas. El día 31 de octubre de 2020 se realizó la primera recolección, la segunda recolección se realizó el día 21 de noviembre de 2020 y la última el día 28 de noviembre de 2020. Se pesó en el laboratorio de suelos en la facultad de ciencias agrícolas y forestales. Una vez obtenidos los pesos, se procedió a procesarla mediante el uso del programa estadístico IBM SPSS versión 26 y Excel para realizar un análisis descriptivo y comparación de medias.

RESULTADOS

A partir de la 3ra semana después de la aplicación se siguió a hacer la cosecha correspondiente, las gomas se extrajeron con cuidado, identificándolas y poniéndolas en una bolsa de plástico para ser posteriormente pesadas obteniendo los siguientes resultados.

Mezquite:

La cosecha de mezquite resultó que el 100% de las plantas produjeron goma sin hacer daño a la planta. En el cuadro 2, se observa la producción de goma de mezquite, bajo el tratamiento de etileno en concentraciones de 5%, 10%, 15%, y 20%. Se muestra el número de árboles aplicados, los pesos totales de recolección por concentración y las medias de producción. Se observa que la concentración de 5% da como resultado la media de producción más baja expresada en 35.83 gramos, mientras que la concentración al 15%, fue la mayor con una media de 89.99 gramos. La diferencia entre ellos es de 54.16 gramos. También se observa que al elevar la concentración de 15% a 20% disminuye la producción.

Cuadro 2. Producción de goma de mezquite bajo tratamiento de etileno

Concentración	No. De arboles	Recolección total (grs.)	Media del tratamiento (grs.)
5%	12	429.94	35.83
10%	12	298.95	77.41
15%	12	816.24	89.99
20%	12	769.36	64.11

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el cuadro 3 donde se muestra la producción de goma de mezquite bajo el tratamiento de etileno con inhibidor de auxinas en cuatro concentraciones 3%, 5%, 7.5%, y 10% se observa que la concentración al 3% obtiene la media de producción más baja con 43.76 grs. mientras que la concentración del 5% tiende a ser la media de producción más alta con 72.7 grs. teniendo una diferencia numérica de producción con 28.94 grs.

Cuadro 3. Producción de goma de mezquite bajo tratamiento de etileno con inhibidor de auxinas

Concentración	No. De arboles	Recolección total (grs.)	Media del tratamiento (grs.)
3%	12	525.11	43.76
5%	12	872.41	72.7
7.50%	12	579.3	48.28
10%	12	619.1	51.59

Fuente: Elaboración propia

Mientras que en el tratamiento de etileno la mayor producción de goma se dio en la concentración del 15%, y la menor fue de 5% así como el tratamiento etileno con inhibidor de auxinas, la mayor producción se dio en la concentración del 5%, mientras que la menor fue de 3%.

En un análisis de comparación de medias mostrado en el cuadro 4, se observa que entre ambos tratamientos, la media de producción con el mejor resultado se encuentra en el tratamiento de etileno con 15% en comparación a la del tratamiento de etileno con inhibidor de auxinas a una concentración de 5% con una diferencia de 17.7 gramos.

Cuadro 4. Análisis de comparación de medias de las mejores concentraciones entre tratamientos

Tratamiento	Concentración	Media del tratamiento (grs.)
Etileno	15%	89.99
Etileno con inhibidor de auxinas	5%	72.7

Fuente: Elaboración propia

Huizache:

La cosecha de huizache resultó que el 100% de las plantas produjeron goma sin hacer daño a la planta. La producción de goma de huizache con la aplicación de tratamiento de etileno en concentraciones de 5%, 10%, 15%, y 20% se muestra en el cuadro 5, en este, se observa el número de árboles aplicados, los pesos de la recolección total y la media de producción. La concentración con mayor producción fue la de 15% con 18.38 grs y la de menor producción fue el de 10% con 3.54 grs, teniendo una diferencia numérica de 14.84 grs.

Cuadro 5. Producción de goma de huizache bajo tratamiento de etileno

Concentración	No. De arboles	Recolección total (grs.)	Media del tratamiento (grs.)
5%	6	44.17	7.36
10%	6	21.27	3.54
15%	6	110.3	18.38
20%	6	94.7	15.78

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 6 muestra la recolección total de goma de huizache con la aplicación del tratamiento de etileno con inhibidor de auxinas en concentraciones del 3%, 5%, 7.5% y 10%, el número de árboles aplicados y la media de producción de cada concentración. La menor producción se obtuvo en la concentración de 3% con 1.7 grs., mientras que el 5% fue el de mayor producción con 17.1 grs., teniendo una diferencia numérica de 15.4 grs.

Cuadro 6. Producción de goma de huizache bajo tratamiento de etileno con inhibidor de auxinas

Concentración	No. De árboles	Recolección total (grs.)	Media del tratamiento (grs.)
3%	6	10.23	1.7
5%	6	102.62	17.1
7.50%	6	21.17	3.52
10%	6	42.34	7.05

Fuente: Elaboración propia

El tratamiento etileno aplicado en 6 árboles elegidos arbitrariamente para cada concentración, la mayor producción de goma se dio en la concentración del 15% y la menor al 5% mientras que, en el tratamiento etileno con inhibidor de auxinas, aplicado en la misma cifra de árboles elegidos arbitrariamente para cada concentración, la mayor producción de goma se dio en la concentración del 5%, mientras que la menor fue de 3%. La comparación de medias de producción entre los mejores resultados para goma de huizache en ambos tratamientos etileno y etileno con inhibidor de auxinas mostrada en el cuadro 7, se logra observar que entre ambos tratamientos el de mayor producción es el de etileno a una concentración de 15% con una diferencia de 1.28 gramos.

Cuadro 7. Análisis de comparación de medias de las mejores concentraciones entre tratamientos para la especie huizache

Tratamiento	Concentración	Media del tratamiento (grs.)
Etileno	15%	18.38
Etileno con inhibidor de auxinas	5%	17.1

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Con el fin de alinearse al objetivos, se concluye que es posible producir goma en ambas especies de manera controlada sin lastimar a los árboles, contribuyendo al desarrollo económico y sostenible de los habitantes del desierto de Chihuahua del municipio de Saucillo, región de Naica.

La especie mezquite (*Prosopis glandulosa*) no sufrió ningún daño físico o fisiológico, el 100% de los árboles tratados produjeron goma. Los tratamientos basados en etileno aplicado en 96 árboles elegidos arbitrariamente muestran resultados prometedores. El mejor tratamiento para la producción de goma de mezquite es el de etileno en una concentración de 15%.

Por otra parte, el 100% de los árboles tratados de huizache (*Vachellia farnesiana*), produjeron goma sin sufrir algún daño físico o fisiológico. En un análisis de comparación de medias, el mejor tratamiento para esta especie es el de etileno en una concentración de 15% con una diferencia frente a el tratamiento de etileno con inhibidor de auxinas.

En ambas especies se puede producir goma de manera controlada, sin embargo, en un análisis visual se observó una multiplicación de tejido en ambos árboles. Existe diferencia numérica entre tratamientos.

La especie de mezquite produce mayor cantidad de goma que la especie de huizache, sin embargo, se recomienda hacer análisis proximal de ambos productos para lograr diferenciar y especificar sus características. Se recomienda seguir con el experimento para definir la mejor concentración de ambas especies en el tratamiento de etileno.

La técnica de producción de Magaña es la indicada para hacer que los cortes y la aplicación sean posibles. Con el producto basado en la hormona vegetal con inhibidor de auxinas se logró observar que la consistencia fue más líquida en comparación del tratamiento de etileno aislado. La recolección se hace con mayor facilidad en este último.

Para ambas especies el mejor tratamiento para producir goma es el de etileno a una concentración de 15%, a pesar de que cada especie se debe tratar de manera individual, se puede concluir que el tratamiento con inhibidor de auxinas nos da buenos resultados, pero no se acercan a los óptimos. Se recomienda seguir buscando la concentración óptima para la producción de ambas especies.

Agradecimientos

A CONACyT. Al Ph.D. José Eduardo Magaña Magaña por transmitirme sus conocimientos y enseñarme a tener una visión holística de ingeniería y desarrollo sostenible. A la Dra. Elvira Gonzalez por incluirse y creer en trabajos e investigaciones como estas, a los compañeros de maestría y licenciatura que trabajaron y acompañaron a campo durante todo el tiempo y a quienes en conjunto hemos trabajado en esta línea de investigación, Cristy, Jorge, Alex, Itzel, Vyanney, Debanhi, Fer, Gris, Mich.

LITERATURA CITADA

- Chávez, M. A. (2015). La vaina de mezquite (*Prosopis spp*) en la alimentación del ganado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila México.
- CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas). 1994. Mezquite (*Prosopis spp*). Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto Nacional de Ecología. 30 p
- Encinas Cárdenas, A. G. (2016). Utilización de la goma de mezquite (*Prosopis spp*) como sustituto de la goma arábica (*Acacia spp*) en formulaciones de helados lácteos.
- Gracia, O. (1998). La goma arábica: Una maravilla natural que nos beneficia a todos. Industria Alimentaria.

- López-Franco, Y. (2009). Uso del mezquite como fuente de polisacáridos de alto valor agregado. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. CONAFOR. Julio 2009.
- López-Franco, Y., & Goycoolea, F., & Valdez, M., & Calderón de la Barca, A. (2006). Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*, 31 (3), 183-189.
- Magaña, J. E. M., Lara, M. D. L. Á. R., Ramírez, V. H. V., Anchondo, M. E. G., & López, M. G. M. (2020). Extracción de goma en mezquite (*Prosopis* spp) nativo usando etileno como hormona vegetal. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 8(1).
- Magaña, J. E. M., Ramírez, V. H. V., Davison, C. M. K., Ochoa, L. E., & Nieto, J. H. (2017). Perfil social y económico del Ejido Naica. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 5(2).
- Quiroz C., J.A. y M.A. Magaña A. 2015. Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. *Madera y Bosques* 21(3):171-183.
- Reséndiz N. et al. (2016) Goma de mezquite y huizache como alternativa de aprovechamiento en sistemas agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, núm. 16, mayo-junio, 2016, pp. 3251-3261 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Estado de México, México
- Solís G., G. 1997. Evaluación poblacional actual del mezquite y palo fierro en ambientes áridos sujetos a un aprovechamiento continuo. CONACYT. 3888-N9401. Informe Final de Proyecto. Hermosillo, Sonora. 86 p.
- Wang L, et al. (2011) Growth propagation of yeast in linear arrays of microfluidic chambers over many generations. *Biomicrofluidics* 5(4):44118-441189.

Capítulo VI

María Sol Robledo y Monterrubio¹, Higinio Francisco Arias Velázquez²,
Gerardo Arias Robledo³ y Joselin Arias Robledo Mara⁴

EFFECTO DE *BEAUVERIA BASSIANA* (BALS.) VUILL Y *METHARIZIUM ANISOPLIAE* (METCH.) SOR. EN EL “FRAILECILLO” *MACRODACTYLUS SP.* (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE)

RESUMEN

“El frailecillo” *Macroductylus* sp., es un escarabajo con frecuencia citado como plaga de cultivos agrícolas y forestales; sus larvas, conocidas como “gallinas ciegas” causando daños en las raíces de cultivos y el estado adulto ataca al maíz, cultivos básicos y árboles frutales. Insecticidas químicos se utilizan para su control, provocando contaminación, efectos en los individuos expuestos y resistencia en el insecto; el uso de bioinsecticidas evitará estos daños. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los hongos entomopatógenos: *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en *Macroductylus*. Se aislaron los hongos de micoinsecticidas en medio Sabouraud Dextrosa Agar (SDA) en cajas de Petri incubadas a 30°C, 7 días. Posteriormente, se cosecharon las esporas y depositaron en frascos de color ámbar estériles, almacenados a 5 °C. Se prepararon soluciones valoradas de esporas con 1x10⁸ conidios/µl. de cada especie. Los escarabajos adultos se colectaron en Jilotepec, México, se mantuvieron en período de adaptación y los vigorosos se inocularon en el pronoto con 1 ml de la solución valorada de esporas. En total se generaron nueve lotes de diez individuos cada uno: tres testigos inoculados con agua y tween, tres con *B. bassiana* y los restantes tres con *M. anisopliae*. Fueron depositados individualmente en botellas de plástico y alimentados con raíces frescas de pasto silvestre. Se registró la mortalidad durante 7 días. *B. bassiana*, fue más efectivo con respecto a *M. anisopliae*, ocasionado un 50% más de mortalidad que el testigo a los siete días después de la inoculación.

Palabras clave: hongo entomopatógeno, plaga, escarabajo, maíz, manzana.

¹ Doctora. Área de Biología. Centro de Investigación en Biología, Educación Ambiental y Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Chapingo. mrobledoym@yahoo.com.mx

² Maestro en Ciencias. Área de Biología. Centro de Investigación en Biología, Educación Ambiental y Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Chapingo. HARIASV@chapingo.mx

³ Doctor. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, grobledo@koppert.com.mx

⁴ Ingeniera. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, marattiaarias@gmail.com

ABSTRACT

“The puffin” *Macrodactylus* sp., is a beetle frequently cited as a pest of agricultural and forest crops; its larvae, known as “blind hens” cause damage to the roots of crops and the adult state attacks corn, staple crops and fruit trees. Chemical insecticides are used for their control, causing contamination, effects on exposed individuals and resistance on the insect; the use of bioinsecticides will prevent these damages. The objective of this work was to evaluate the effect of entomopathogenic fungi: *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on *Macrodactylus*. Microinsecticidal fungi were isolated in Sabouraud Dextrose Agar (SDA) medium in incubated petri dishes at 30°C, 7 days. Subsequently, the spores were harvested and deposited in sterile amber jars, stored at 5 ° C. Assessed spore solutions were prepared with 1x10⁸ conidia/μl. of each species. The adult beetles were collected in Jilotepec, Mexico, were kept in the adaptation period and the vigorous ones were inoculated into the pronotum with 1 ml of the valued spore solution. In total, nine batches of ten individuals each were generated: three cores inoculated with water and tween, three with *B. bassiana* and the remaining three with *M. anisopliae*. They were individually deposited in plastic bottles and fed fresh roots of wild grass. Se recorded mortality for 7 days. *B. bassiana*, was more effective with respect to *M. anisopliae*, resulting in 50% more mortality than the control at seven days after inoculation.

Keywords: entomopathogen fungi, pest, beetle, corn, apple.

INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica constituye la mayor riqueza de los países del tercer mundo. Las perspectivas de su explotación adecuada y racional están relacionadas con el conocimiento sobre su uso, lo que es a su vez otra riqueza potencial conservada por las culturas locales. Sin embargo, todo este caudal de recursos no es objeto de una explotación local, porque las perspectivas dominantes de generación de riqueza giran en torno al monocultivo extensivo e intensivo, de acuerdo con las inclinaciones del mercado. En este sentido, la relación entre la actividad agrícola y la conservación y explotación de la biodiversidad no solo tiene un carácter excluyente, sino que además existe un componente de afectación negativa sobre la biodiversidad, con el uso de insumos externos, como es el caso de los agroquímicos. Estos plaguicidas químicos son tóxicos y dañan la biodiversidad en las áreas de cultivo, en proporciones de alto riesgo, que se expresan en la eliminación de biodiversidad en especímenes de fauna, flora o microbiota, además de que muchos de estos compuestos no son biodegradables y contaminan la atmósfera, suelos y agua. Otros ocasionan severas enfermedades y decesos en las personas que los aplican.

En los ecosistemas naturales como en los agrícolas, los insectos herbívoros y los agentes patógenos tienen un impacto significativo sobre la productividad vegetal (Matson et al., 1997). Un total de 65,000 especies de plagas de cultivos en campo y productos almacenados, ocasionan pérdidas de aproximadamente el 40% de la cosecha anual mundial (Pimentel et al., 2010); lo que abarcó un costo entre \$30 000 y \$50 000 millones de dólares anuales en el 2003, según un estudio de alcance mundial (Chet y Chernin, 2002). En México no hay una cifra exacta del daño que causan los insectos

en los cultivos, sin embargo, en 1972 el daño ascendió al 15% de pérdidas en el país (Cervantes et al., 2003) y en 1974 las pérdidas se estimaban en 10 000 millones de pesos al año.

El control biológico por medio de agentes microbianos es una alternativa relevante en el manejo de insectos plaga en el mundo. Sólo el 5% de los insecticidas son microbianos; pese a que los principales centros de investigación y algunas empresas de biotecnología, han dado prioridad al sector de insecticidas biológicos, no se aprecia ningún incremento en su uso. El cual tiene la finalidad de controlar las plagas y enfermedades mediante el uso de patógenos naturales, y así evitar la contaminación y con ello la pérdida de biodiversidad. Existen más de 700 especies de hongos que atacan insectos y ácaros, lo cual indica un gran potencial para el uso de estos organismos como insecticidas biológicos (Khachatourians, 1996). Los hongos presentan más ventajas frente a otros microorganismos ya que no necesitan ser ingeridos por el insecto, sino que atacan directamente a nivel cutáneo o de contacto o penetran por los espiráculos (Ortiz-Meza et al., 2005). Los hongos entomopatógenos son un amplio grupo de micro-organismos que proveen múltiples servicios a los sistemas agroecológicos. Entre esos está la capacidad de regular las plagas para mantenerlas en niveles adecuados.

Según Pucheta Diaz et al. (2006), los hongos entomopatógenos tienen un gran potencial como agentes controladores, constituyendo un grupo con más de 750 especies, diseminados en el medio ambiente y provocando infecciones fungosas a poblaciones de artrópodos; Para López-Llorca y Hans-Börje (2001), entre los géneros más importantes están: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Aschersonia*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Erynia*, *Eryniopsis*, *Akanthomyces*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Paecilomyces* y *Verticillium*, mientras que para la FAO (2003), los géneros de importancia son *Metarhizium*, *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Rhizopus* y *Fusarium*.

El uso de hongos entomopatógenos para el control de plagas de insectos ha recibido gran atención (Rajasekhar et al., 2010; Delgado y Murcia Ordóñez, 2011), uno de los hongos que está ampliamente distribuido en la naturaleza es *Beauveria bassiana* (Robledo y Arias, 2018), mejor conocido como el agente causal de la “muscardina blanca”, enfermedad en los gusanos de seda que descubrió Agostino Bassi para establecer la teoría del germen de la enfermedad (Hegedus y Khachatourians, 1994) y se ha observado parasitando la mayoría de los órdenes de insectos, entre ellos se encuentran Coleoptera, Lepidoptera, Diptera, Hemiptera, Himenoptera, Homoptera, Trichoptera, tanto en zonas tropicales como templadas. Asimismo, se ha aislado del suelo y de otros hábitats relacionados con los insectos parasitados (Domsch, et al., 1999; Alexopoulos et al., 1996). El hongo *Beauveria bassiana*, es candidato para el control microbiológico de insectos plaga de cultivos, ya que es el más frecuentemente aislado de insectos muertos en el campo, presenta un amplio espectro de virulencia como entomopatógeno y es compatible con cultivos a gran escala (Thomas y Read 2007).

Los hongos entomopatógenos son organismos de importante valor ecológico al desempeñar funciones de regulación sobre insectos, quienes debido al mal manejo de pesticidas realizado por el humano para su control se han transformado en plagas incontrolables y resistentes, convirtiendo a los hongos entomopatógenos en una opción viable para la elaboración de bioplaguicidas que permitan el control de estos sin contaminación y deterioro del medio ambiente. El desarrollo de productos a base de hongos entomopatógenos debe involucrar investigación para determinar el nivel de interacción

del hongo con su hospedero y con el medio ambiente, la concentración del producto y el método de formulación adecuado que permita llevar estos microorganismos a condiciones de campo para que desempeñen una función de buena capacidad reguladora de las plagas dentro del agroecosistema.

“El frailecillo” es una plaga del género *Macroductylus* que contiene aproximadamente 122 especies y para México se han citado 28, las cuales pertenecen al Orden Coleóptera, Familia Melolonthidae (García., 2021). Estos escarabajos con frecuencia son citados como plagas de cultivos agrícolas y forestales; sus larvas, conocidas como “gallinas ciegas” causan daños en las raíces de cultivos como el maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum* spp.) y centeno (*Secale cereale* (L.) M. Bieb) de la familia Poaceae; el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), haba (*Vicia faba* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la familia Fabaceae; nabo (*Brassica rapa* L.) (Brassicaceae) y pastos forrajeros y de ornato; mientras que los adultos se alimentan de follaje en crecimiento, flores, frutos, granos de polen y secreciones de savia dulce de los cultivos mencionados, así como de árboles silvestres y cultivados como el pino (*Pinus* spp.) (Pinaceae), trueno (*Ligustrum* spp.) (Oleaceae), sauce (*Salix* spp.) (Salicaceae), pirul (*Schinus molle* L.) (Anacardiaceae), tepozán (*Buddleja cordata* Kunth) (Scrophulariaceae), tejocote (*Crataegus* spp.) (Rosaceae), capulín (*Prunus salicifolia* Kunth) (Rosaceae), guayaba (*Psidium* spp.) (Myrtaceae), pera (*Pyrus* spp.) (Rosaceae), durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) (Rosaceae), manzano (*Malus domestica* (Borkh) (Rosaceae), ciruelo (*Prunus domestica* L.) (Rosaceae), vid (*Vitis* spp) (Vitaceae), aguacate (*Persea* spp.) (Lauraceae), níspero (*Eriobotrya japonica* (Thunb) Lindl) (Rosaceae), moras (*Morus* spp.) (Rosaceae), zarzamora (*Rubus fruticosus* L.) (Rosaceae), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) (Rosaceae), café (*Coffea* spp.) (Rubiaceae) y muchos otros, en los cuales pueden causar daños de importancia, siendo fácil observar cientos de ellos en una sola planta (Arce-Pérez & Morón, 2000; 2009; 2010).

Generalmente ataca en la etapa de floración, además de alimentarse de hojas y frutos pequeños. Se le considera como plaga esporádica ya que aparece por temporadas en grandes cantidades y en otras no. Este insecto ataca al maíz, algunos árboles frutales, fresa, trigo, chile, frijol, alfalfa, haba etc. Esta plaga ocasiona que sus hábitos alimenticios resulten ser dañinos, ya sea en el estado larvario llamados “gallina ciega”, los que se alimentan de humus y después de raíces. En estado adulto prefieren el polen de las flores y cultivos, así como partes tiernas de la planta. El daño más severo es cuando se alimentan de los pelos de la mazorca antes de que ocurra la polinización-fecundación, ocasionando que la mazorca esté vacía (SENASA, 2017).

En el Estado de México se ha convertido en una plaga severa. Su control se basa en el uso de agroquímicos, los cuales generan daño ambiental y ocasionan resistencia. El control biológico consiste en la liberación de enemigos naturales en un lugar determinado con el objetivo de controlar las plagas que dañan los cultivos, existen varios mecanismos ya sea por la propia liberación de depredadores, bacterias, hongos, virus o nemátodos (Jazo, 2018) y así evitar daño al ambiente. En el año 2018, pequeños productores de manzana, tejocote y maíz de los ejidos de Denji y Coscomate del municipio de Jilotepec, se acercaron a nosotros para pedir asesoría en el control biológico del frailecillo que les ha provocado severas pérdidas económicas, motivo por el cual surgió la necesidad de realizar bioensayos para determinar el efecto de hongos entomopatógenos como *B. bassiana* y *M. anisopliae* en la mortalidad del frailecillo *Macroductylus* sp.

Descripción de la zona de estudio. Jilotepec, edo. de México. El ayuntamiento de Jilotepec (2013), está situado al Noroeste del estado de México, se ubica entre las coordenadas 99° 26' 37" como mínima y 99° 44' 02" de longitud Oeste como máxima, y en las coordenadas 19° 52' 02" mínima y 20° 12' 43" como máxima, con una altitud media de 2,440 metros sobre el nivel del mar (msnm), y una superficie de 588.53 kilómetros cuadrados, posesionándose en el quinto lugar de la lista de los Municipios territorialmente más extensos de la entidad, ocupando el 2.62% de la superficie total del estado. Al norte colinda con el estado de Hidalgo, al sur con el Municipio de Chapa de Mota, al oeste con los municipios de Aculco y Timilpan, al noroeste con los municipios de Soyaniquilpan y Polotitlán y al suroeste con los municipios de Villa del Carbón y Timilpan. El Municipio pertenece a la Región II del estado de México, la cual se integra además con los Municipios de: Acambay, Aculco, Atlacomulco, Chapa de Mota, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Jocotitlán, Morelos, El Oro, Polotitlán, San Felipe del Progreso, San José del Rincón, Soyaniquilpan de Juárez, Temascalcingo y Timilpan.

En cuanto a la división política, es Cabecera del Distrito Federal I del Estado de México y el Distrito XIV local, en este último con los Municipios de Chapa de Mota, Polotitlán y Soyaniquilpan. El ayuntamiento de Jilotepec (2015) comenta que dentro de las actividades económicas primarias el Municipio posee una importante participación en el sector agropecuario, exceptuando la minería; la explotación forestal es mínima, en el caso de la pesca, únicamente se considera la venta local en los tianguis municipales. Por el contrario, el sector agrícola y pecuario de Jilotepec tiene una importante participación en el Distrito Agropecuario (VII) al que pertenece. Cultivos y plagas. Los principales cultivos son avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*) y frutales como manzana (*Malus domestica*), tejocote (*Crataegus mexicana*) y nogal (*Juglans mollis*) y aguacate (*Persea americana*), citando para ellos pulgón del cogollo y del follaje, gusano de alambre, falso soldado, gallina ciega, gusano alfilerillo, gusano cogollero, frailecillo, gusano soldado, araña roja, *trips* entre otros (SENASICA, 2015).

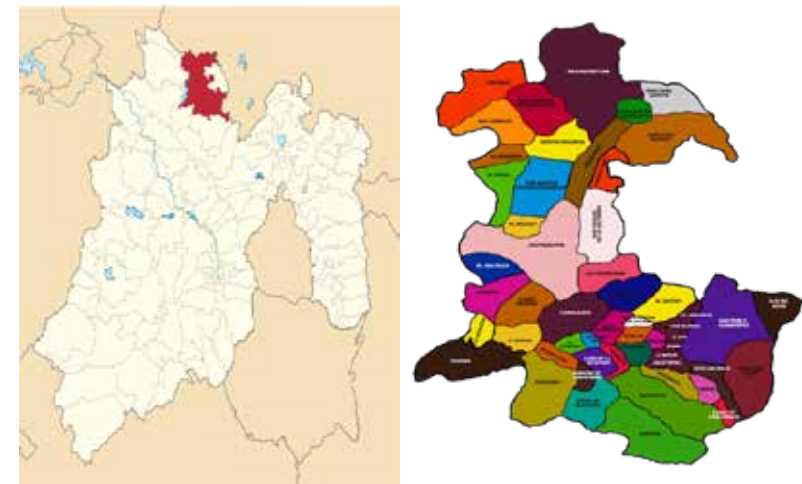


Figura 1. Ubicación del municipio de Jilotepec (izquierda) y ejidos del Municipio (derecha).

Tomado de <https://jilotepecestadodemexico.gob.mx/mapa/pruebacaja.html>

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolecta. Se realizó en junio de 2018 en los ejidos de Coscomate y Denji, municipio de Jilotepec, Edo de México (Figura 2). Se recolectaron insectos adultos manualmente y se depositaron en costales, los cuales se trasladaron al Laboratorio de Histología y Citología General, del Área de Biología, Universidad Autónoma Chapingo y se mantuvieron en cautiverio utilizando cajas de tela como contenedores, se alimentaron con raíces de maíz y pastos silvestres durante cuatro días como período de adaptación (Figura 3).



Figura 2. Recolecta del frailecillo en Jilotepec, México (izquierda).
Planta de maíz plagada con *Macroductylus* sp. (derecha).

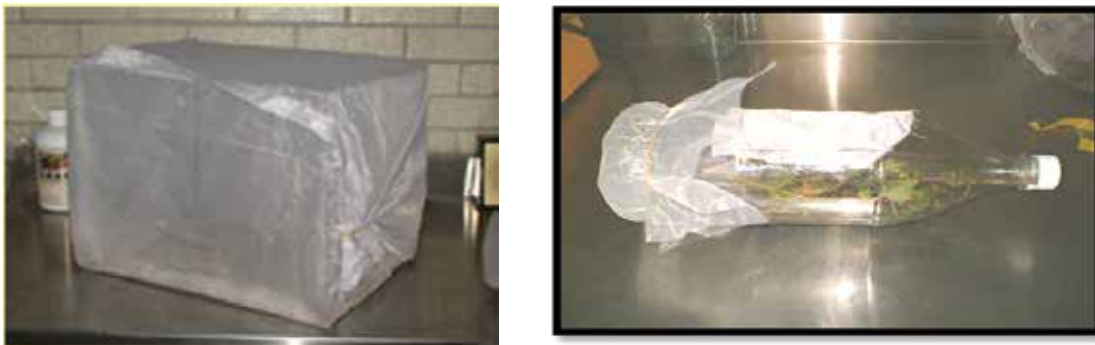


Figura 3. Cajas de confinamiento de los insectos plaga (izquierda).
Jaulas de bioensayo (derecha).

Aislamiento de cepas fúngicas. Se sembraron en estría dos insecticidas biológicos marca PHC®, el primero con esporas de *B. bassiana* (BEA TRON®) y el segundo con esporas de *M. anisopliae* (META TRON®) en medio Sabouraud Dextrosa Agar (SDA) en cajas de Petri, fueron incubadas a 30°C durante 7 días. Transcurrido el tiempo de incubación y crecimiento hasta la producción de esporas, se procedió a cosechar las mismas con una espátula de laboratorio estéril y se depositaron en frascos de color ámbar previamente esterilizados, los cuales fueron depositados a 5° C, en la colección de cepas del Laboratorio de Histología y Citología General.

Solución Valorada de Esporas. Posteriormente se prepararon las soluciones valoradas de esporas con 1×10^8 conidios/ μ l. de cada especie de entomopatógeno. Se utilizó una balanza analítica para pesar 100 mg de esporas de *B. bassiana* y se añadieron 10 ml de agua destilada más una gota de agente antiagregante (Tween 1%), posteriormente se mantuvo la solución en agitación constante para llevar a cabo los conteos con un hematocitómetro o cámara de Neubauer. Todo esto se realizó bajo condiciones estrictas de asepsia y en una campana de flujo laminar. Para *M. anisopliae* se realizó la misma técnica, solo que se agregaron 20 mL de agua destilada a los 100 mg de esporas.

Germinación de esporas. Para determinar la germinación de esporas se prepararon cámaras húmedas con cajas de Petri, papel filtro y agua destilada, donde se dispuso una cuadrícula de plástico (sumergida previamente en una solución de hipoclorito de sodio comercial) y sobre ella se colocó un portaobjetos, tres trozos circulares de medio SDA, se depositó 1 μ l de suspensión conidial, y se cubrió con un cubreobjetos, fueron incubadas a 30°C durante 24 hrs. Posteriormente se realizó el conteo de la geminación; seleccionando cinco campos al azar dentro de cada una de los tres trozos del medio de cultivo, contabilizando las esporas germinadas sobre el total de no germinadas obteniendo así el porcentaje; al final se contabilizó un total de treinta campos, realizando una sumatoria y promedio simple para los conteos de los tres trozos en la segunda cámara de las esporas del mismo hongo; esto se realizó para ambas especies. Las esporas se consideraron germinadas cuando el tubo germinal fue mayor que el diámetro de la espora.

Colonias de Insectos. Las cucarachas adultas fueron colectadas en diversos puntos de la Universidad Autónoma Chapingo, se mantuvieron en jaulas entomológicas durante una semana como período de adaptación de los insectos y se colocaron en el Laboratorio de Histología y Citología General del Área de Biología de la Preparatoria Agrícola.

Bioensayos. Los escarabajos colectados, se depositaron diez en frascos plásticos (PET) (figura 3), posteriormente se procedió a inocular de manera tópica en el pronoto de cada espécimen 1 ml de la solución valorada de esporas. En total se generaron nueve lotes de diez individuos cada uno: tres testigos que solo se inocularon con agua y tween, tres con *B. bassiana* y los restantes tres se inocularon con *M. anisopliae*. Fueron alimentadas con raíces de pastos silvestres y se cubrieron con gasas y una liga. Los bioensayos fueron incubados a temperatura ambiente del Laboratorio y se tomaron datos durante 7 días. Los cadáveres de los insectos se depositaron en cámaras húmedas con la finalidad de provocar la muscardina y así comprobar que la muerte había sido ocasionada por el hongo.

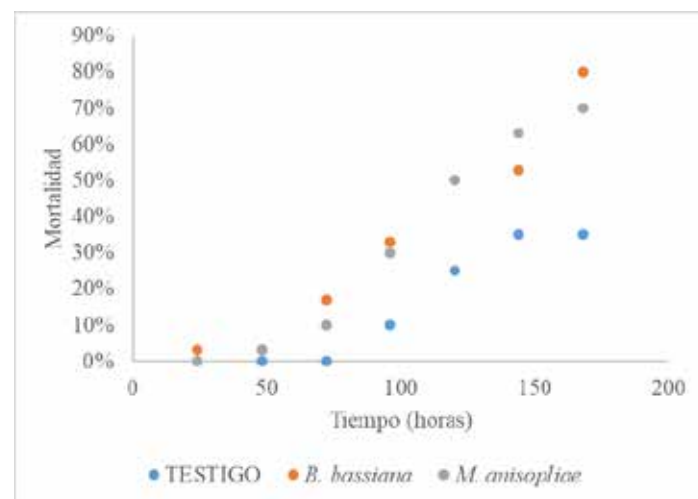
Análisis Estadístico. Los datos obtenidos fueron sujetos a análisis de varianza (ANOVA), y separación de medias usando la prueba de Tukey ($p < 0.05$) (SAS). Usando el software estadístico (NCSS).

RESULTADOS

La mortalidad acumulada ocasionada a través del tiempo por *B. bassiana* y *M. anisopliae* en *Macroductylus* sp. se aprecia en la Figura 4, ambos hongos fueron patógenos sobre los escarabajos, ya que se observaron los síntomas característicos como falta de movimiento, anorexia, cambio de color en la zona de infección, posteriormente la muerte y la fase reproductiva y saprobica del hongo al manifestarse la muscardina en el cadáver de los insectos.

De los porcentajes de germinación de las cepas utilizadas se obtuvo una efectividad promedio para *B. bassiana* de 90% y para *M. anisopliae* de 89%, de acuerdo con las pruebas de conteo de germinación de esporas a las 24 hrs.

Como se puede apreciar en la Figura 4, la efectividad resultó ser muy variable por día, incluso se presentaron desviaciones estándar muy grandes (Cuadro 1) no obstante, en el séptimo día *B. bassiana* logró alcanzar el 80% de la mortalidad, mostrando diferencia significativa con el testigo al correr datos estadísticos que fueron menores en un 50%. Sin embargo, en la gráfica 1 se observa que la tendencia en las curvas de mortalidad son el distanciamiento del testigo tanto de *B. bassiana* como del lote de *M. anisopliae*. a partir del séptimo día la mortalidad provocada por *M. anisopliae* se acercó al provocado por *B. bassiana* se acercó significativamente a *M. anisopliae* y conservó este comportamiento hasta el final del experimento. Sin embargo, el análisis estadístico indica que *M. anisopliae* no tiene diferencias significativas con el Testigo (Cuadro 1, gráfica 2). Por lo que se infiere que el micoinsecticidas Beatron de donde proviene la cepa de *B. bassiana* empleada en el bioensayo es más eficiente y candidata para el control del frailecillo. Es necesario realizar pruebas en campo.



Gráfica 1. Mortalidad acumulada (%) del frailecillo *Macroductylus* sp. ocasionada por *B. bassiana* y *M. anisopliae* (1×10^8 con/mL). Promedio de tres repeticiones.

Cuadro 1. Mortalidad acumulada ocasionada por *B. bassiana* y *M. anisopliae* (1×10^8 con/mL) en el frailecillo *Macroductylus* sp., aplicación tópica. Promedio de tres repeticiones con 30 insectos para cada cepa.

Tiempo (horas)	24	48	72	96	120	144	168
Testigo	0 ± 0 d	0 ± 0 d	10 ± 14 d	25 ± 21 cd	35 ± 7 bc	35 ± 7 bc	40 ± 14 bcd
<i>B. bassiana</i>	3 ± 6 d	3 ± 6 d	17 ± 29 cd	33 ± 35 bcd	50 ± 30 b	53 ± 25 b	80 ± 10 a
<i>M. anisopliae</i>	0 ± 0 d	3 ± 6 d	10 ± 10 d	30 ± 20 bcd	50 ± 26 b	63 ± 29 ab	70 ± 26 ab

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P > 0.05$). Promedio de 30 lecturas con tres repeticiones.



Gráfica 2. Mortalidad acumulada (%) del frailecillo *Macroductylus* sp. ocasionada por *B. bassiana* y *M. anisopliae* (1×10^8 con/mL) a las 168 h. Promedio de tres repeticiones.

CONCLUSIONES

La cepa *B. bassiana* obtenida a partir del bioplaguicida BETA TRON® fue más efectiva que la de *M. anisopliae* sobre la mortalidad de la plaga llamada frailecillo *Macroductylus* sp. por lo que se sugiere su empleo para controlarlo. Sin embargo, hacen falta estudios en campo, así como también hacer mezclas de bioinsecticidas para evaluar el efecto en esta plaga y comparar los resultados obtenidos en este trabajo.

LITERATURA CITADA

Arce-Pérez, R., Morón, M. Á. (2000) Taxonomía y distribución de las especies de *Macroductylus* Latreille (Coleoptera: Melolonthidae) en México y Estados Unidos de América. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), 97, 123–239.

<https://doi.org/10.21829/azm.2000.79791913>

Arce-Pérez, R., Morón, M. Á. (2009) New species of *Macroductylus* Dejean (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae: Macroductylini) from Mexico. *The Coleopterists Bulletin*, 63, 501–508.

<https://doi.org/10.1649/1203.1>

Arce-Pérez, R., Morón, M. Á. (2010) *Macroductylus zaragozai* sp. nov. (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae: Macroductylini) from Guatemala and Mexico. *Dugesiana*, 17, 171–174.

<https://doi.org/10.32870/dugesiana.v17i2.3959>

Alexopoulos C. J.; Mims C. W. y M. Blackwell. 1996. *Introductory Mycology*. 4 th Ed. John Wiley & Sons, Inc. 833 pp.

Cervantes M. J.; Lomeli F. J.; Terrón S. R. y N. S. Rodríguez. 2003. *Fundamentos de Control biológico en México*. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Chet I. y L. Chernin. 2002. *Biocontrol, Microbial Agents in Soil*. *Encyclopedia of Environmental Microbiology* Copyright © by John Wiley & Sons, Inc.

Delgado, P. A. M.; Murcia-Ordoñez, B. 2011. Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 77-90. (doi:10.4136/ambi-agua.187)

Domsch K. H.; Gams W. y T. H. Anderson. 1999. *Compendium of Soil Fungi*. Volume 1. Academic Press. London, UK. 845 pp.

García, A. A. Actualización de las especies del género *Macroductylus* Dejean (Coleoptera: Melolonthinae: Macroductylini) para el estado de Puebla, México Update of the species of the genus. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 37, 1-10.

Hegedus D. D. y G. G. Khachatourians. 1994. Isolation and characterization of conditional lethal mutants of *Beauveria bassiana*. *Can. J. Microbiol.* 40: 766-775.

Jazo, I. Z. (2018). Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, Sociedad y desarrollo*.

Khachatourians G. G. 1996. Biochemistry and molecular biology of entomopathogenic fungi. *The Mycota VI. Human and animal relationships*. Eds. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 332-363.

López-Llorca, L. V.; Hans-Börje, J. 2001. Biodiversidad del suelo: control biológico de nematodos fitopatógenos por hongos nematófagos. *Cuaderno de Biodiversidad*, v. 3, n. 6, p. 12 – 15, 2001. Disponible en: . Acceso en: junio 2011.

Matson P. A.; Parton W. J.; Power A. G. y M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.

Ortiz-Meza J. A.; González-Hernández A.; Salazar-Solís E. y C. Torres-Guzmán. 2005. Aislamiento de cDNAs de expresión diferencial durante el crecimiento *Metarhizium anisopliae* en cutícula de *Phyllophaga ravidia* mediante la técnica de RDA. *International Workshop on Microbial Biotechnology and Biological Control*. Guanajuato, Gto.

Pimentel D. H.; Acquay H.; Biltonen M.; Rice P.; Silva M.; Nelson J.; Lipner V.; Giordano S.; Horowitz A. y M. D. Amore. 2010. Environmental and Economic Costs of Pesticide Use. *Bioscience* 42(10) 750-760.

Pucheta-Díaz M.; Flores-Macías A.; Rodríguez-Navarro S. y M. De la Torre, 2006. Mecanismos de acción de los Hongos Entomopatógenos. *INCI* vol. 31No. 12.

Rajasekhar P.; Kalidas P. y K. R. S. Sambasiva-Rao. 2010. Expression of *Bbchit1* gene of *Beauveria bassiana*. *The Open Entomology Journal* 4:30-35.

Robledo M. M.S. y Arias V. H.F., 2018, Hongos entomopatógenos, su uso y producción. Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigación en Agricultura Orgánica. Texcoco-México.

SENASA. (06 de Marzo de 2017). Control del *Macroductylus mexicanus* en huancavelica. Obtenido de Control del *Macroductylus mexicanus* en huancavelica: <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/senasa-control-del-macroductylus-mexicanus-en-huancavelica/>

Thomas M. B. y A. F. Read. 2007. Can fungal biopesticides control malaria? *Nat. Rev. Microbiol.* 5:377-383.

Capítulo VII

Selene del Carmen Arrazate Jiménez¹, Mayra Clementina Zamora Elizalde,
Rosa María García Núñez, Julio Cesar Buendía Espinoza y Alejandro Sánchez Vélez

CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y BIOFÍSICA DE LA MICROCUENCA AGUA ESCONDIDA, PUEBLA

RESUMEN

Las microcuencas hidrográficas integran factores biofísicos y socioeconómicos, que permiten conocer sus condiciones y tener una base de soporte técnico como base para la toma de decisiones de los habitantes que usan y transforman sus recursos naturales. Con el objetivo de identificar las condiciones que se presentan en la microcuenca Agua Escondida, se realizó una caracterización socioeconómica a través de consultas bibliográficas en la que se obtuvo información de los aspectos sociales, económicos y productivos del municipio de Izúcar de Matamoros por ser el que abarca la mayor superficie de la microcuenca. Para la caracterización biofísica, se elaboraron mapas de fisiografía, clima, temperatura, precipitación, áreas de influencia climática y de uso de suelo y vegetación, con apoyo de la herramienta de información geográfica ArcMap 10.8. Se encontró que el 65 % de la población económicamente activa del municipio de Izúcar de Matamoros labora en actividades relacionadas con el comercio y los servicios, y contribuye con el 4 % de la producción agrícola del estado. En la microcuenca predomina la topografía de la sierra moderadamente escarpada. Predomina la vegetación secundaria arbórea del bosque tropical caducifolio, y la unidad de paisaje sobresaliente es la vegetación secundaria arbustiva del bosque tropical caducifolio. El clima predominante es el perteneciente al grupo semicálido subhúmedo denotado como A (C) w0 (w) (i) g. La temperatura media anual es de 21.2 ° C, y la precipitación anual de 806.5 mm.

Palabras clave: recursos naturales, conservación, sistemas productivos, especies vegetales.

ABSTRACT

The microbasins integrate biophysical and socioeconomic factors, which make it possible to know their conditions and have a technical support base as a basis for decision-making by the inhabitants

¹Universidad Autónoma Chapingo. arrazate.jimenez13@gmail.com, blondynunez@gmail.com, jcbuendiae@hotmail.com, dr.zhiva-go2014@gmail.com, mayracze1@gmail.com

who use and transform their natural resources. In order to identify the conditions present in the Agua Escondida microbasin, a socioeconomic characterization was carried out through bibliographic consultations in which information was obtained on the social, economic and productive aspects of the municipality of Izúcar de Matamoros, as it covers the largest surface area of the microbasin. For the biophysical characterization, maps of physiography, climate, temperature, precipitation, areas of climatic influence and land use and vegetation were prepared using the geographic information tool ArcMap 10.8. It was found that 65 % of the economically active population of the municipality of Izúcar de Matamoros works in activities related to commerce and services, and contributes 4 % of the state's agricultural production. The microbasin is dominated by a moderately steep sierra topography. The secondary arboreal vegetation of the tropical deciduous forest predominates, and the outstanding landscape unit is the secondary shrubby vegetation of the tropical deciduous forest. The predominant climate belongs to the semi-warm sub-humid group denoted as A (C) w0 (w) (i) g. The mean annual temperature is 21.2 ° C, and the annual precipitation is 806.5 mm.

Key words: natural resources, conservation, productive systems, plant species.

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica es un territorio que se caracteriza por que el agua de lluvia que cae en su superficie escurre hacia un cauce común (Sánchez et al., 2003). Es un mosaico de ecosistemas donde se distinguen vínculos entre territorios de zonas altas y bajas, lo que crea un empalme físico entre comunidades alejadas unas de otras (Cotler, 2010). La cuenca es la unidad de planeación, y la microcuenca es la unidad básica de ordenación e intervención (Sánchez et al., 2003). México posee una gran diversidad ambiental la cual se refleja en la diversidad de formas y tamaños de cada región hidrográfica, donde la estructura particular y las variaciones climáticas de cada una se manifiesta a través de fenómenos geomorfológicos específicos. En estos ambientes, y como resultado de la dinámica poblacional, se perfila una distinción en las actividades productivas (Cotler, 2010). En las cuencas y microcuencas hidrográficas se integran factores biofísicos y socioeconómicos. Los factores biofísicos son el resultado de los elementos físicos y biológicos del medioambiente (Rizo et al., 2011), los cuales permitirán conocer en forma rápida las condiciones de la cuenca, y tener una base de soporte técnico para la toma de decisiones. Mientras que, los factores socioeconómicos son importantes debido a su relevancia a causa de los habitantes que interactúan con las microcuencas, ya que son los que hacen uso y transforman los recursos naturales (cultivos, ganadería, leña, etc.) para su beneficio y la preservación de estos se ve influenciado con la educación ambiental de los habitantes. Por lo que es importante el trabajo con enfoque de microcuencas, ya que favorece la comprensión y administración de los recursos naturales que en ella existen (Rizo et al., 2011), lo que permite mantener los hábitats y dar seguimiento a los sistemas productivos para conocer el estado que guardan los recursos de base de la microcuenca (Sánchez-Vélez et al., 2016).

El objetivo de esta investigación es caracterizar socioeconómica y biofísicamente la microcuenca agua escondida a través de consultas bibliográficas y elaboración de mapas para identificar las condiciones que existen en la microcuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La microcuenca hidrográfica Agua Escondida (Santa Cruz Agua Escondida) se localiza al suroeste del estado de Puebla, abarca parte de los municipios de Izúcar de Matamoros, Epatlán, Ahuatlán y una pequeña parte de Xochitlapec (Figura 1). Cuenta con una superficie de 6492 ha. Pertenece a la región hidrográfica del Balsas, cuenca hidrográfica del Río Atoyac -A y a la subcuenca Huaquechula. El área de estudio se localiza en la provincia del Eje Neovolcánico, las subprovincias de las sierras sur de Puebla y lagos y volcanes de Anáhuac. A una altitud entre 1000 y 1600 msnm. Con un rango de temperatura de 19 – 25 °C y rango de precipitación entre 700 – 900 mm. Presenta climas cálido subhúmedo con lluvias en verano y semicálido subhúmedo con lluvias en verano. El principal uso de suelo es la agricultura y el tipo de vegetación predominante es de selva baja caducifolia (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2009).

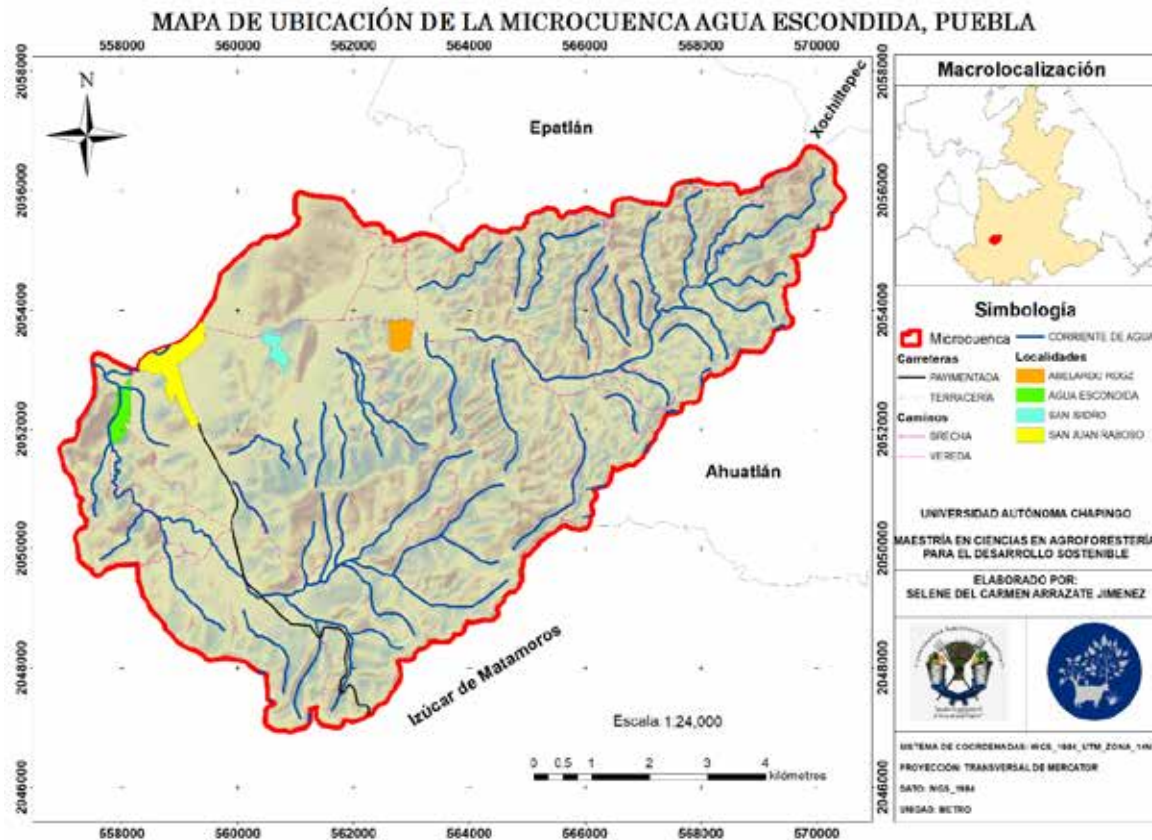


Figura 1. Mapa de ubicación de la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Caracterización socioeconómica

Se realizó la descripción de los aspectos sociales, económicos y productivos del municipio de Izúcar de Matamoros, por ser el municipio que mayor área de la microcuenca abarca. Lo anterior a través de consultas bibliográficas.

Caracterización biofísica: unidades de paisaje

La caracterización de unidades de paisaje se realizó mediante la elaboración de mapas de fisiografía, clima y uso de suelo y vegetación mediante el apoyo de la herramienta de información geográfica ArcMap 10.8. Generados los tres mapas, se procedió a unirlos para formar el mapa de unidades de paisaje, enseguida, a cada área de paisaje generada se le asignó una clave y un nombre en orden de uso de suelo y vegetación, tipo de clima y por último la topografía del terreno.

Mapa fisiográfico

La elaboración del mapa fisiográfico inició con la descarga del modelo de elevación digital (DEM) de la página de INEGI, y se corrigió posibles errores. El DEM se usó como base para la generación de curvas de contorno cada 50 m, el Triangulated Irregular Network (TIN) el cual proporcionó la información de las alturas de la microcuenca, y las pendientes. En seguida, se realizó la clasificación de las áreas en base a la revisión bibliográfica realizada con anterioridad.

Mapa climático

Para la elaboración del mapa climático se realizó la extracción de datos de temperatura máxima, mínima y de precipitación del área que rodea el área de estudio mediante el programa Extractor Rápido de Información Climatológica versión III, enseguida se realizó la depuración de las estaciones conservando aquellas que presentaban 27, 28, 29, 30 y más de 30 años.

Mapa de temperatura

La elaboración del mapa de temperatura comenzó con la obtención de la temperatura media mensual y media anual de cada una de las estaciones con base a las temperaturas mínima y máxima obtenidas anteriormente, con el objetivo de elaborar gráficas y ecuaciones de regresión lineal simple. Con ello se generaron mediante el sistema de información geográfica ArcMap, el mapa anual y los mapas mensuales de isotermas. Se formaron rangos de temperatura los cuales fueron asignados a cada polígono generado en el área de estudio.

Mapa de precipitación

Para la generación del mapa de precipitación se realizó la depuración de las estaciones tomando en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente y se obtuvo la precipitación anual para cada una de ellas. Además, se descargó el modelo de elevación digital (DEM). Una vez depuradas las estaciones, se elaboraron tablas para determinar los rangos de precipitación, los cuales se usaron para identificar la isoyeta menor y mayor. Posteriormente se procedió a delimitar las isoyetas a través de la herramienta de información geográfica ArcMap 10.8. y se indicó el rango de temperatura de cada polígono generado.

Delimitación de áreas de influencia climática

Para obtener las áreas de influencia climática, en ArcMap 10.8 se realizó una intersección de los mapas de temperatura y precipitación y se identificaron los polígonos que comparten el mismo rango de temperatura y la misma precipitación. Al mismo tiempo se definió el tipo de clima mediante el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por Enriqueta García.

Mapa de uso de suelo y vegetación

El mapa de uso de suelo y vegetación se inició con la descarga de la serie VI de INEGI. En ArcMap 10.8 se procedió a cortar la capa obtenida con la del área de estudio. Posteriormente se revisaron los límites y se obtuvo la descripción del tipo de uso de suelo generado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización socioeconómica

El municipio de Izúcar de Matamoros se localiza al suroeste del estado de Puebla, y pertenece a la región Valle de Atlixco y Matamoros de la entidad a la que pertenece. Lo rodean Tilapa al noroeste, Tepeojuma al norte, Epatlán al noreste, Ahuatlán al este, Tehuitzingo al sureste, Chiantla al suroeste y Chietla al oeste.

Su extensión territorial es de 535 km² y aunque solo 27 km² (5 %) corresponden a superficie urbana, la mayor parte de su población (85 %) reside en áreas urbanas. Lo anterior se refleja en las densidades que se registran, ya que mientras la densidad de población del municipio es de 146 hab/km², la densidad urbana se eleva a 2467 hab/km². Demográficamente, su población es de casi 78000 habitantes, equivalente a 1.25 % de la población del estado (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HÁBITAT], 2018).

Aspecto social

El Municipio se compone por una cabecera municipal y 65 localidades. En 2015 había un total de casi 20000 viviendas. El porcentaje de viviendas con luz eléctrica es de 99 %, con drenaje el 97 %, con agua entubada 94 % y con los que disponen de calentador solar de agua el 2 %, y solo el 0.2 % de viviendas disponen de panel solar para tener luz eléctrica. Cuenta con 6 escuelas de nivel inicial, 61 de nivel preescolar, 64 de nivel primaria, 36 de nivel secundaria, 30 de bachillerato general, 5 de formación para el trabajo, 10 de nivel superior, 1 CAM (centro de atención múltiple) y 9 supervisiones de zona escolar. En la cabecera municipal existen 104 escuelas de educación básica.

Los informes anuales sobre la situación de pobreza y rezago 2017 y 2018 (SEDESOL), dan a conocer que en el municipio hay un rezago educativo del 24 %. Existe déficit de infraestructura cultural (escenarios, teatros, salas de cine, salones de exposición etc).

Existen 4 sistemas principales que brindan atención médica a la población (SEGURO POPULAR, IMSS, ISSSTE e ISSSTE). Los jóvenes representan el 26 % de la población total del municipio entre los 15 y los 29 años de edad, es decir, la cuarta parte de la población es joven con

necesidades propias de su sector. La población de hombres jóvenes representa el 45 % y la población de mujeres jóvenes el 55 % (H. Ayuntamiento del municipio de Izúcar de Matamoros, s.f.).

Aspecto económico

La fuerza laboral representa el 47 % de la población, y aunque es más alta que la estatal (38 %), está por debajo de la tasa nacional (50 %). La tasa de desempleo (5 %) es mayor a la tasa estatal (3 %) y nacional (4 %). El 65 % de su población económicamente activa (PEA) labora en actividades relacionadas con el comercio y los servicios, 18 % en actividades primarias y 16 % restante realiza actividades secundarias. De la PEA ocupada, más de 61.4 % recibe un ingreso menor a 2 salarios mínimos diarios. Los jóvenes representan el 33 % de la población ocupada total, sin embargo, el nivel de desocupación de jóvenes es del 54 %, mayor que el nivel de desocupación de adultos (ONU-HÁBITAT, 2018).

La mayor concentración de población ocupada se encuentra en la cabecera municipal (aproximadamente 17000 personas), el cual es un centro de atracción para muchos jóvenes en busca de empleo, sin embargo, la situación se torna difícil para los jóvenes de sectores vulnerables que tienen bajos niveles de empleabilidad, es decir no son atractivos para el mercado laboral (H. Ayuntamiento del municipio de Izúcar de Matamoros, s.f.).

Aspecto productivo

El municipio cuenta con una moderada actividad agropecuaria. Contribuye con el 4 % de la producción agrícola del estado de Puebla y el 1 % de la producción de carne en canal. Los servicios que generan más empleos son los financieros e inmobiliarios (ONU-HÁBITAT, 2018).

Entre las principales actividades económicas destacan en primer lugar la agricultura, especialmente caracterizada por una marcada vocación cañera que le ha otorgado reconocimiento y participación económica en el estado de Puebla. Destaca también los cultivos de maíz, sorgo, cacahuate y arroz para el autoconsumo y la comercialización hacia estados colindantes. Con un menor impacto en la economía de la región sobresale la producción de carne bovina, porcina y aves. Del sector secundario, se encuentra la industria textil y de elaboración de alimentos, además de la producción de cerámica, mica y vidrio. También sobresale las actividades turísticas y de recreación. La actividad más representativa es la elaboración de azúcar y de ron, específicamente en el ingenio de Atencingo. Sin embargo, debido a los cambios en el contexto histórico, político y económico, la región de Izúcar de Matamoros muestra un panorama de crisis en su vocación agraria. Y queda para la consideración que una región tan importante económicamente y con una alta participación del sector primario carezca de apoyos económicos y fomento al campo (Morales, 2016).

Caracterización biofísica: unidades de paisaje

Mapa fisiográfico

En el municipio de Izúcar de Matamoros predomina el sistema de topofomas de sierra volcánica de laderas escarpadas y valle de laderas tendidas (INEGI, 2009), lo que concuerda con lo obtenido para la microcuenca agua escondida, ubicada al suroeste del estado de Puebla presentando un rango altitudinal entre los 1300 y 1470 msnm. En el Cuadro 1 se presentan las siete topofomas distintas que se obtuvieron,

de las cuales la que ocupa la mayor superficie del área de estudio es la sierra moderadamente escarpada representada en un 42.56 %, seguida del valle moderadamente inclinado con un 22.95 % y en último lugar se ubica la sierra moderadamente inclinada con menos del 1 % de la superficie total, ilustrado en la Figura 2. Asimismo, se identificaron los diferentes tipos y texturas de suelo predominante, entre los que se encuentran litosol, regosol éutrico y Rendzina de textura media y vertisol pélico de textura fina. Además, en la microcuenca agua escondida se delimitaron 4 rangos de pendiente, el rango de pendiente de 15 – 40 % es el que mayor superficie de la microcuenca ocupa con un 56.73 %, seguido del rango de 2 - 8 % ocupando un 23.21 % y en menor proporción el rango de 8 - 15 % con superficie de 9.38 % (Cuadro 2).

Cuadro 1. Topoformas delimitadas en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Descripción de topoformas	Superficie (ha)	Superficie (%)	Rango de pendiente (%)	Altitud (msnm)
Sierra escarpada	713	10.26	> 40	1470
Sierra moderadamente escarpada	2956	42.56	15 - 40	1450
Sierra moderadamente inclinada	18	0.26	2 - 8	1350
Valle escarpado	28	0.41	> 40	1420
Valle inclinado	651	9.38	8 - 15	1350
Valle moderadamente escarpado	984	14.17	15 - 40	1400
Valle moderadamente inclinado	1594	22.96	2 - 8	1300



Figura 2. Mapa de fisiografía en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Cuadro 2. Superficie por rango de pendientes en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Rango de pendiente (%)	Descripción	Superficie (ha)	Superficie (%)
2 – 8	Moderadamente inclinado	1612	23.21
8 – 15	Inclinado	651	9.38
15 – 40	Moderadamente escarpado	3940	56.73
> 40	Escarpado	741	10.68

Mapa climático

Mapa de temperatura

En el Cuadro 3 se presentan las ecuaciones de regresión lineal simple obtenidos para generar el mapa de temperatura media anual y mensuales ilustradas en la Figura 3 respectivamente.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal simple generados para realizar el mapa de temperatura de la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Parámetros	Ecuación de regresión lineal simple
Anual	$T = 28.661 - 0.0049 h$
Enero	$T = 25.328 - 0.004 h$
Febrero	$T = 27.326 - 0.0044 h$
Marzo	$T = 33.06 - 0.0077 h$
Abril	$T = 35.972 - 0.0083 h$
Mayo	$T = 35.709 - 0.0079 h$
Junio	$T = 31.613 - 0.0056 h$
Julio	$T = 30.655 - 0.0057 h$
Agosto	$T = 30.452 - 0.0056 h$
Septiembre	$T = 30.003 - 0.0056 h$
Octubre	$T = 29.15 - 0.0053 h$
Noviembre	$T = 27.463 - 0.0047 h$
Diciembre	$T = 25.511 - 0.0041 h$

T= Temperatura, h = altura

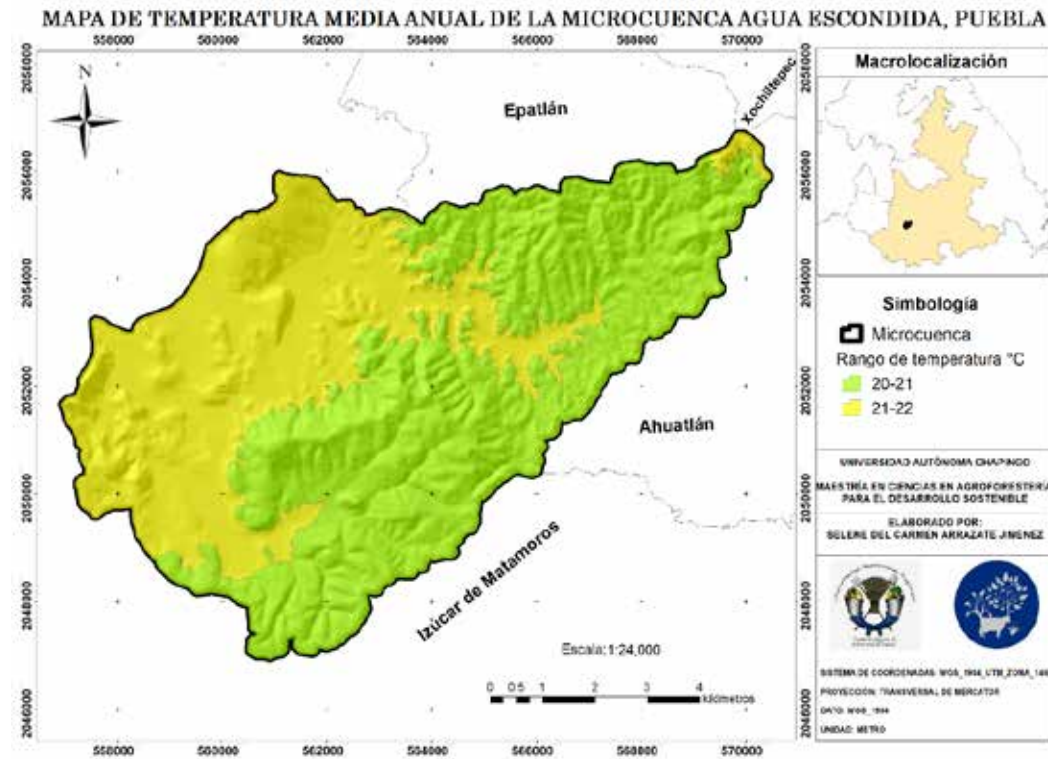


Figura 3. Mapa de temperatura media anual en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

La temperatura media anual para el municipio de Izúcar de Matamoros va de 16.1 a 21.8 °C (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2015). El Cuadro 4 señala los datos de temperatura mensual y anual obtenidos para la microcuenca, del que se puede notar que el mes con temperaturas más bajas es enero con 19 °C y el que presenta temperaturas más altas es el mes de mayo con temperatura de 24 °C.

Cuadro 4. Temperatura media anual y mensual en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Rango de T	T media anual	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
20 - 21	20.9	19	20	21	23	23	23	22	22	21	21	20	19
21 - 22	21.5	19	21	22	24	24	23	22	22	22	21	21	20

Mapa de precipitación

El Cuadro 5 expone los rangos anuales y los parámetros observados de precipitación media anual y mensual para la microcuenca Agua Escondida, además en la Figura 4 se muestra el mapa de precipitación generado. Mediante los datos expuestos es posible observar un marcado periodo de lluvias que comienza en mayo y termina en octubre presentando una mayor precipitación en el mes de junio, mientras que el periodo de secas se observa desde noviembre y finaliza en abril siendo el mes de diciembre el mes con menor precipitación.

Los datos son similares a los reportados por la CONAGUA (2015) que indican una precipitación media anual de 890 mm, siendo junio, julio, agosto y septiembre los meses más lluviosos.

Cuadro 5. Valor observado de precipitación anual y mensual por rango de temperatura en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Rango anual	Anual	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
700-800	760	13	5	5	15	61	151	135	147	154	60	11	4
800-900	853	8	5	5	13	64	180	163	171	168	63	12	3

P= Parámetros

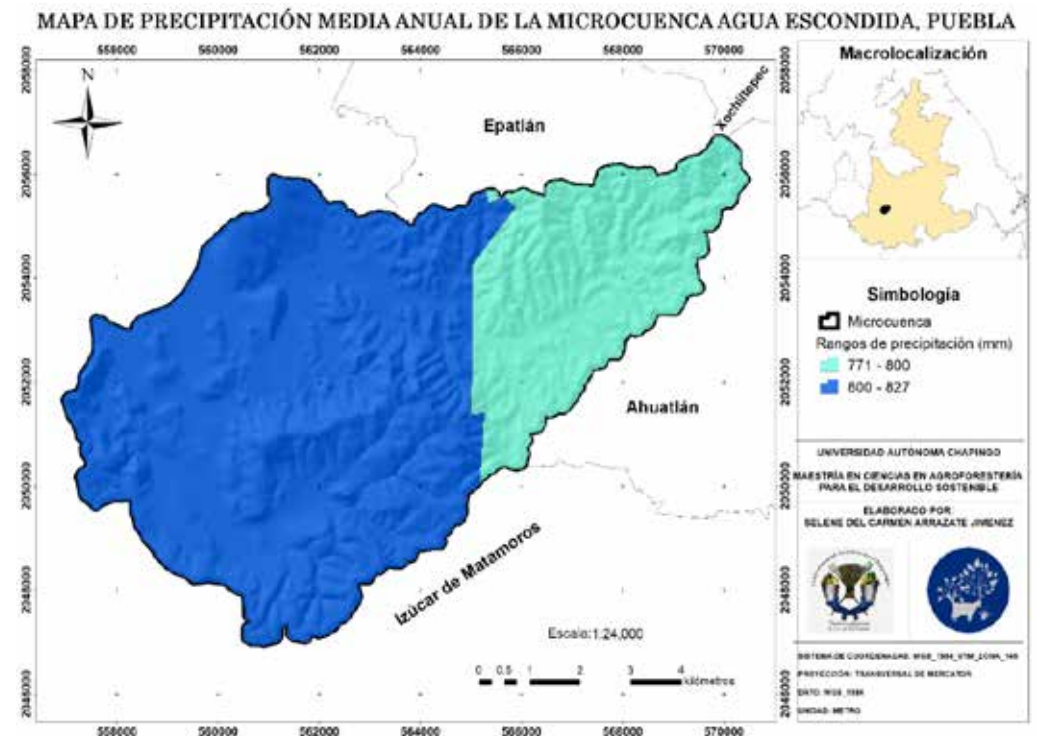


Figura 4. Mapa de precipitación media anual en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Áreas de influencia climática

Los climas predominantes en Izúcar de Matamoros, son los cálidos, principalmente el clima cálido con lluvias en verano y ligera oscilación de la temperatura (CONAGUA, 2015). Para la microcuenca, con lo obtenido sobre precipitación y temperatura, y con ayuda del sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García en la identificación de las áreas de influencia climática se encontró un tipo de clima para el área de estudio, el cual fue el perteneciente al grupo semicálido subhúmedo, denotado como A (C) w0 (w) (i) g, tal como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Clima identificado en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Clima	Descripción
A (C) w0 (w) (i) g	Semicálido del grupo de los cálidos, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal menor a 5, con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales de tipo isotermal y marcha anual de la temperatura tipo Ganges.

Mapa de uso de suelo y vegetación

Se delimitaron nueve tipos de uso de suelo y vegetación en la Microcuenca Agua Escondida. En el Cuadro 7 es posible observar que predomina la vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia ocupando el 36.92 %, seguido de la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia con el 24.32 %. La agricultura ocupa el 23.16 % de la superficie total, siendo la agricultura de temporal anual la de mayor ocupación. Además, se encontró una porción de superficie ocupada por pastizal inducido ocupando el 14.29 %. En la Figura 5 se ilustra la distribución de los usos de suelo y vegetación encontrados en el área de estudio.

Cuadro 7. Uso de suelo y vegetación encontrados en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México

Tipo de vegetación	Superficie (ha)	Superficie (%)
Agricultura de riego anual	67	1.04
Agricultura de riego semipermanente	280	4.30
Agricultura de temporal anual	1160	17.82
Pastizal inducido	930	14.29
Selva baja caducifolia	0.60	0.01
Urbano construido	25	0.38
Vegetación secundaria arbórea de SBC	2403	36.92
Vegetación secundaria arbustiva de BE	60	0.92
Vegetación secundaria arbustiva de SBC	1583	24.32

SBC=Selva Baja Caducifolia; BE=Bosque de Encino

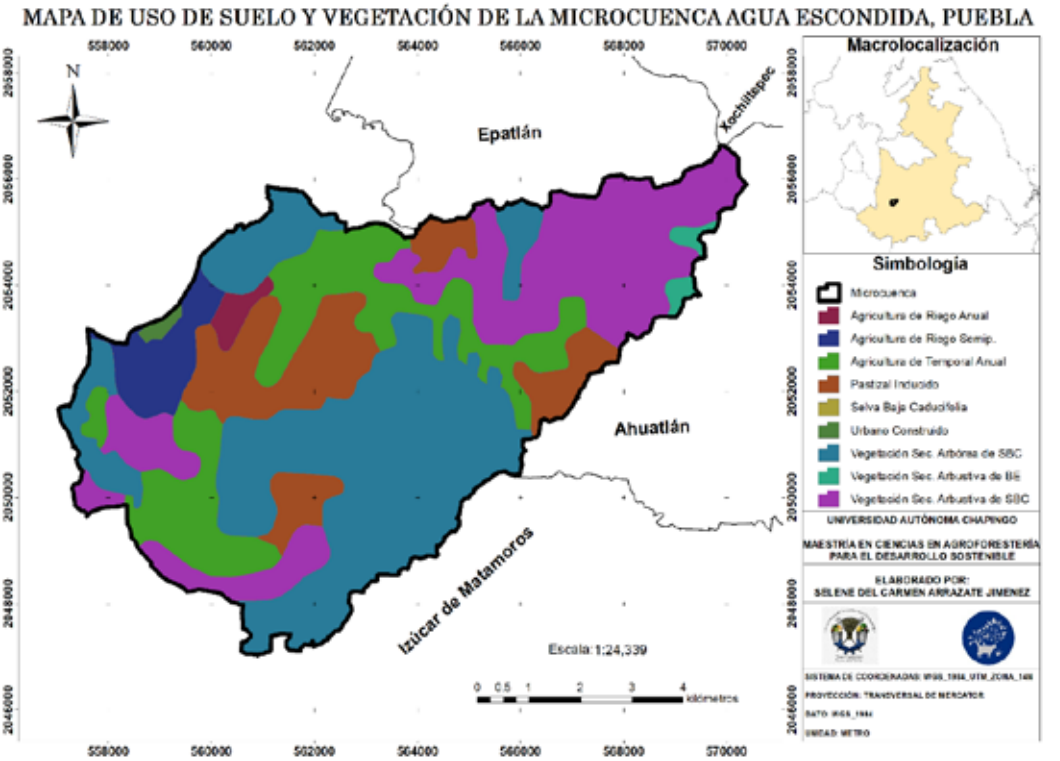


Figura 5. Mapa de uso de suelo y vegetación en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Mapa de unidades de paisaje

Gracias a los mapas de uso de suelo y vegetación, unidades climáticas y topoformas, se encontraron 28 unidades de paisaje, los cuales se describen en el Cuadro 8, predominando la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente escarpada ocupando el 17.08 % de la superficie, seguida de la vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente escarpada con el 13.54 %, mientras que la vegetación menos representativa es la agricultura de riego anual en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente escarpado con menos de una hectárea de superficie. En cuanto al área ocupada de agricultura está representada en un 23.15 % y el pastizal inducido solo representa un 14.27 % de la superficie total.

En el municipio de Izúcar de Matamoros predomina el sistema de topoformas de sierra y los tipos de vegetación de selva y agricultura (INEGI, 2009). Izúcar de Matamoros el municipio que mayor área abarca de la microcuenca, por lo que era de esperarse la predominancia del mismo sistema de topoformas y tipo de vegetación para la microcuenca. En la Figura 6 se ilustra la distribución de las 28 unidades de paisaje delimitadas para el área de estudio.

Cuadro 8. Unidades de paisaje en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

Clave de identificación	Descripción	Superficie (ha)	Superficie (%)
ARA_A(C)_VME	Agricultura de riego anual en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente escarpado	0.002	0.0004
ARA_A(C)_VMI	Agricultura de riego anual en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente inclinado	67.487	1.04
ARS_A(C)_VMI	Agricultura de riego semipermanente en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente inclinado	280.035	4.3
ATA_A(C)_SME	Agricultura de temporal anual en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente escarpada	295.190	4.54
ATA_A(C)_VI	Agricultura de temporal anual en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle inclinado	281.048	4.32
ATA_A(C)_VME	Agricultura de temporal anual en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente escarpado	13.175	0.20
ATA_A(C)_VMI	Agricultura de temporal anual en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente inclinado	569.557	8.75
PI_A(C)_SE	Pastizal inducido en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra escarpada	11.120	0.17
PI_A(C)_SME	Pastizal inducido en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente escarpada	436.257	6.70
PI_A(C)_SMI	Pastizal inducido en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente inclinado	15.774	0.24
PI_A(C)_VI	Pastizal inducido en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle inclinado	50.693	0.78
PI_A(C)_VME	Pastizal inducido en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente escarpado	102.305	1.57
PI_A(C)_VMI	Pastizal inducido en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente inclinado	313.152	4.81
SBC_A(C)_VME	Selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente escarpado	0.578	0.01
UC_A(C)_VMI	Urbano construido en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente inclinado	25.063	0.39
VSARBOSBC_A(C)_SE	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra escarpada	665.430	10.23
VSARBOSBC_A(C)_SME	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente escarpada	881.246	13.54
VSARBOSBC_A(C)_SMI	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente inclinado	2.310	0.035
VSARBOSBC_A(C)_VE	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle escarpado	14.908	0.23
VSARBOSBC_A(C)_VI	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle inclinado	134.629	2.07
VSARBOSBC_A(C)_VME	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente escarpado	562.086	8.64
VSARBOSBC_A(C)_VMI	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente inclinado	143.054	2.20
VSARBUBE_A(C)_SME	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente escarpada	60.094	0.92
VSARBUSBC_A(C)_SME	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en una sierra moderadamente escarpada	1111.535	17.08
VSARBUSBC_A(C)_VE	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle escarpado	0.051	0.008
VSARBUSBC_A(C)_VI	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle inclinado	121.822	1.87
VSARBUSBC_A(C)_VME	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente escarpado	193.722	2.98
VSARBUSBC_A(C)_VMI	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i)g en un valle moderadamente inclinado	154.533	2.37

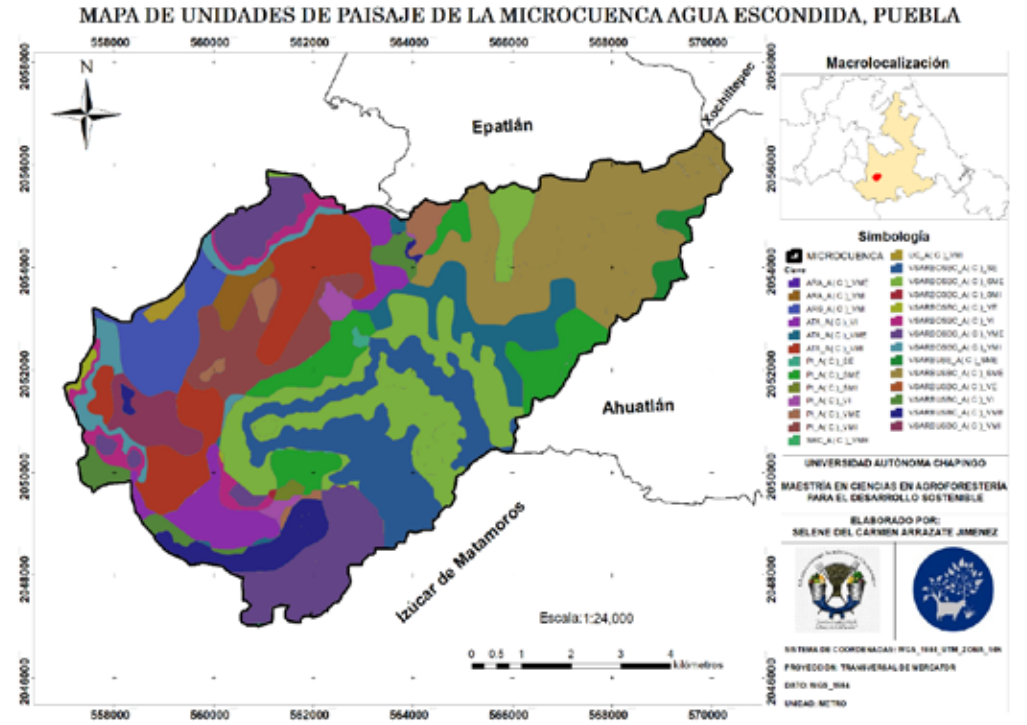


Figura 6. Mapa de unidades de paisaje en la Microcuenca Agua Escondida, Puebla, México.

CONCLUSIONES

El municipio que mayor área de la microcuenca abarca es Izúcar de Matamoros, y pertenece a la región valle de Atlixco. La mayor parte de su población reside en zonas urbanas. Se caracteriza por tener una población mayoritariamente urbana, y su fuerza laboral representa el 47 % de la población, sin embargo, se sitúa por debajo de la tasa nacional. Su actividad agropecuaria contribuye con el 4 % de la producción agrícola del estado de Puebla. Sus principales actividades económicas son la agricultura, producción de carne bovina, porcina y aves, industria textil y de elaboración de alimentos. Sobresalen también, las actividades turísticas, sin embargo, la actividad más importante es la elaboración de azúcar y ron.

En la microcuenca Agua Escondida predomina el sistema de topografía denominada sierra y los principales tipos de suelo son litosol y regosol éutrico. Se presenta el tipo de clima semicálido, caracterizado por ser el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano. Se observa un marcado periodo de lluvias que comienza en mayo y termina en octubre, mientras que el periodo de secas se presenta desde noviembre hasta abril. El principal uso de suelo y vegetación es la vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia ocupando el 37 % del área de estudio. Se obtuvieron 28 unidades de paisaje, predominando la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en un clima A(C)w0(w)(i) g en una sierra moderadamente escarpada ocupando el 17 % de la superficie.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Cotler, Á. H. (ed.). (2010). *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. México: Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V.
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros (2103), estado de Puebla*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103301/DR_2103.pdf
- H. Ayuntamiento del municipio de Izúcar de Matamoros, (s.f.). *Plan de Desarrollo Municipal 2018-2021*. [Archivo PDF]. <https://www.izucar.gob.mx/wp-content/uploads/2019/03/PDM-2018-2021-VF.1.pdf>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Izúcar de Matamoros, Puebla. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21114.pdf
- Morales, R. E. (2016). *Migración y desarrollo una relación compleja: Atlixco y Matamoros, análisis regional* (Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Repositorio Institucional BUAP. Consultada en <https://hdl.handle.net/20.500.12371/2555>
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-HÁBITAT). (2018). *Índice básico de las ciudades prósperas*. Izúcar de Matamoros, Puebla. México. https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/cpi/2018/21085_Iz%C3%BAcar_de_Matamoros.pdf
- Rizo, M. R., Romero G, L. J. y Zeledón Ch, J. J. (2011). *Caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca La Jabonera, perteneciente a la subcuenca del Río Estelí*. (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua). Repositorio Institucional UNAN-Managua. Consultada en <https://repositorio.unan.edu.ni/1853/>
- Sánchez, V. A. S., García, N. R. M. y Palma, T. A. (eds). (2003). *La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de los recursos naturales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Sánchez-Vélez, A., Navarro-Sandoval, L. y García-Núñez, R. M. (2016). Estudio comparativo de los recursos hidrológico-forestales de la Microcuenca de la Laguna de Epatlán, Pue. (1993-2014). *Ciencias de la Biología y Agronomía*, 1-10.

Capítulo VIII

Sergio Cruz Hernández¹, Gerardo Noriega Altamirano²,
Rosa María García Núñez³ y Alexander Martínez Hernández⁴

LA ENSEÑANZA AGROMETEOROLÓGICA A DISTANCIA EN EL NIVEL MEDIO SUPERIOR DE CHAPINGO

RESUMEN

Debido a la pandemia, la enseñanza-aprendizaje se tornó en un proceso difícil y la formación agronómica no es la excepción. El objetivo del presente trabajo es analizar las estrategias didácticas implementadas para garantizar el aprendizaje agrometeorológico a distancia de los estudiantes del nivel medio superior de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). El método aplicado es con un enfoque constructivista, el punto de partida fue la iniciativa del formador, como medio de enlace fue la plataforma digital *teams*. Se constató la existencia de prácticas agrometeorológicas las cuales pueden desarrollarse fuera del campus universitario, los alumnos tomaron como lugar de trabajo experimental el traspatio para relacionar los elementos del clima con la producción de alimentos. Se analizó una muestra de 245 estudiantes donde los resultados indicaron que solo el 15% de ellos no estuvieron dispuestos a adoptar nuevas estrategias de aprendizaje, mientras el 85% se mostraron receptivos a esta nueva modalidad de formación agronómica. El diseño y construcción del huerto de traspatio se utilizó como actividad integradora, el cual fungió como fenológico. En conclusión, existen estrategias para motivar y articular la parte teórica y práctica de la agronomía; además, no todos los estudiantes muestran actitud positiva para la adopción de nuevas formas de aprendizaje.

Palabras clave: aprendizaje, estrategias educativas, Huerto familiar.

ABSTRACT

Due to the pandemic, teaching-learning has become a difficult process and agronomic training is

¹ Doctor en Ciencias en Ciencias Agrarias. Profesor-Investigador del Área de Agronomía del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Correo electrónico: sergiocruzhdz@gmail.com

² Ing. Agrónomo Especialista en Suelos. Profesor-Investigador del Área de Agronomía del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Correo electrónico: gerardonorieg@gmail.com

³ Doctora en Recursos Naturales. Profesora-Investigadora del Área de Agronomía del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Correo electrónico: rgarcian@chapingo.mx

⁴ Técnico Académico del Área de Agronomía del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Correo electrónico: hdzmtza@gmail.com

no exception. The objective of the present work is to analyze the didactic strategies implemented to guarantee the distance agrometeorological learning of the students of the upper secondary level of the Autonomous University of Chapingo (UACH). The method applied is with a constructivist approach, the starting point was the initiative of the trainer, as a means of connection was the team's digital platform. The existence of agrometeorological practices which can be developed outside the university campus was verified, the students took the backyard as an experimental workplace to relate the elements of the climate with food production. A sample of 245 students was analyzed where the results indicated that only 15% of them were not willing to adopt new learning strategies, while 85% were receptive to this new modality of agronomic training. The design and construction of the backyard orchard was used as an integrating activity, which served as a phenological. In conclusion, there are strategies to motivate and articulate the theoretical and practical part of agronomy; In addition, not all students show a positive attitude towards the adoption of new forms of learning.

Keywords: learning, educational strategies, family garden.

INTRODUCCIÓN

En el año 2020 a nivel mundial y concretamente en México, los flujos migratorios fueron un aspecto que permitió la dispersión de la enfermedad COVID-19 producto del coronavirus SARS-CoV-2 y provocó la pandemia. Uno de sus efectos negativos es el confinamiento social que aún se padece. Ante esta situación, todos los sectores están seriamente afectados, entre ellos el educativo. Así, la educación virtual cobró mayor relevancia en el uso de diferentes plataformas digitales, acrecentó las brechas entre los que tienen y no poseen recursos económicos para ello, lo cual no se analizará en este trabajo; en un símil, se trasladó la escuela a su casa del estudiante y la enseñanza ocurre en un lugar diferente al aprendizaje.

Ante la emergencia sanitaria, el sector educativo obligó a las diversas instituciones educativas a replantear los métodos de enseñanza o educación presencial, los educadores y alumnos quedaron inmersos en situaciones como: educación a distancia, en línea, en la nube, en sitios web, webinaros, entre otros conceptos, se modificaron el tipo de clases que se daban dentro del aula. La educación a distancia tiene los conceptos propios de la Tecnología Educativa la cual tiene sus antecedentes después de la segunda guerra mundial.

Por ello, el objetivo de este trabajo fue analizar las estrategias didácticas implementadas para garantizar el aprendizaje agrometeorológico a distancia de los estudiantes del nivel medio superior de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), como parte de la asignatura de Meteorología impartida en el quinto semestre de la formación agronómica en la UACH, para lo cual se relacionaron variables climáticas y la producción agrícola principalmente.

Educación a distancia

En México, el acuerdo 02/03/20 señala la suspensión de clases presenciales en todos los niveles educativos (SEGOB, 2020a), producto de la enfermedad por la COVID-19 y la Organización Mundial de la Salud (OMS) la declaró pandemia. Así, el acuerdo 14/07/20 establece las diferentes

disposiciones para evaluar el ciclo escolar 2020, se hizo uso de la cuestión digital, conocimiento, aprendizaje y demás estrategias para fortalecer la parte académica semipresencial (SEGOB, 2020b). Respecto de esta situación Juca (2016) refiere que es un sistema mediado por las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC'S), las cuales cambian los esquemas tradicionales de enseñanza, tanto del docente como del alumno, el proceso se torna flexible para ambos.

La educación a distancia es un modelo o forma de atender a los estudiantes, los cuales por diferentes motivos no pueden asistir de forma presencial. Sin embargo, como lo indicó Sabogal (2010), presenta un desafío en la planeación, metodología, técnicas y herramientas adecuadas. En México, La enseñanza de la agronomía en esta modalidad es un proceso relativamente nuevo, el país; sin embargo, se puede robustecer con la experiencia de otros lugares como es el caso de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Colombia. Lo anterior se debe a que aún no se cuenta con los suficientes elementos para su evaluación, se enfrenta a un escenario complejo, debido a la poca experiencia de la enseñanza bajo este esquema. Ante esta situación, los formadores o los responsables de transmitir los conocimientos básicos se han tenido que adaptar al uso de tecnologías para adecuarse a la realidad en un entorno digital artificial cuyo objetivo principal es crear un entorno simulado de la parcela o de los cultivos.

En la modalidad asincrónica, al hacer uso de diferentes plataformas digitales para la mayoría de las actividades los estudiantes ingresan a un modo virtual para obtener los recursos, literatura, instrucciones, formato de prácticas (Salazar, 2018); mientras en la parte sincrónica el alumnado adquiere conocimientos básicos, en forma de conceptos, ejercicios prácticos, en este contexto Sabogal plantea "los modelos de educación a distancia tienen rigurosidad en su aplicabilidad, fundamentados en teorías o enfoques, determinan un camino claro en su planeación y arrojan resultados de calidad, explicables y sustentables" (2010, p. 228).

En esta era de la información y la introducción de las TIC'S en la educación se proporcionan oportunidades a las mentes creativas en estos espacios de conocimiento, esto permite que el formador con vocación, conocimiento y compromiso juegue un rol importante y adquiera otro perfil con la enseñanza virtual (Juca, 2016).

Es necesario señalar, como lo mencionaron Pequeño et al (2020) que se deberá tener presente la virtualidad como nuevo paradigma para implicar una nueva forma de exclusión de los estudiantes más necesitados; sin embargo, es necesario retomar la propuesta de Parra (2003), existe la necesidad de buscar opciones para la formación de un profesional agronómico que responda a las expectativas y demandas actuales.

Entonces, para atender la cuestión educativa la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2020), desarrolló un programa de foros virtuales, con énfasis en el derecho a la educación incluyente respecto de la equidad, inclusión, calidad y aprendizaje en el contexto de la pandemia. Sin embargo, sigue existiendo una preocupación por la enorme desigualdad social en el país, entonces, se deben de buscar soluciones en este escenario

(Ruíz, 2020). Sin tomar en cuenta la calidad de la enseñanza García (2017) propuso algunos factores que pueden impulsar la modalidad formativa a distancia, los cuales son: flexibilidad, incluyente, interdisciplinario, motivacional, innovación y motivación, entre otros.

El impacto de la crisis sanitaria en el campo mexicano, en su población rural y urbana, en las diferentes actividades productivas, son asuntos de suma importancia para ser tomados en cuenta en la formación de los estudiantes, debido a que prácticamente se detuvieron todas las actividades sociales y económicas con efectos negativos. En ese sentido, se deberá analizar cómo se ha afectado sector rural, tanto en la parte productiva como en la sociedad. En el contexto de la pandemia, en las ciudades las personas permanecieron en confinamiento, sin embargo, en el sector rural las labores no pararon, se siguió sembrando y cosechando, la producción de alimentos se vuelve necesario, por lo tanto, la formación agronómica de los alumnos no cesa en esta emergencia sanitaria.

Los estudiantes deberán de analizar que varios campesinos no podrán sembrar, debido al encarecimiento de los insumos agrícolas, es ahí donde los conocimientos adquiridos cobran mayor importancia, porque los alumnos son capaces de proponer alternativas de solución aunque sea a pequeña escala, como son la elaboración de abonos orgánicos y cómo obtener sus semillas, para que los pequeños productores no sean dependientes de las tiendas agrícolas, tomando en cuenta que varios ciclos agrícolas están por comenzar, principalmente en la agricultura de temporal.

La construcción del conocimiento agronómico

Castells (2006) señaló que a partir de la revolución tecnológica y digital surgió la denominada Sociedad Red, la cual se articula a través de una estructura social continuamente conectada, descentralizada, abierta y trasciende los límites territoriales. Entonces, esta situación de educación a distancia se previó como una forma de gestión con nuevos sistemas de comunicación y formas de organización social.

En el ámbito de la formación del estudiante, Morin (1999) propuso siete saberes para la educación del futuro, uno de ellos es el de enfrentar las incertidumbres; es decir, todo cambio social es fruto de mutaciones, a veces de civilización o de crueldad, obedece a factores impredecibles, como este caso, una pandemia mundial. Entonces, la sociedad se enfrenta a la incertidumbre sobre la validez del conocimiento, derivada también de nuestras propias decisiones, como lo mencionó Aranibar (2010) “nos hemos educado aceptablemente bien en un sistema de certezas, pero nuestra educación para la incertidumbre es deficiente” (p. 77). Este saber guarda correspondencia con las problemáticas del medio ambiente, los derechos humanos y la democracia como principios rectores sociales.

El conocimiento basado en textos, manuales, fichas, queda limitado para la fase práctica. Las diferentes estrategias fomentan la experiencia, generan mayor motivación, articulación e interés en los estudiantes (Arredondo, Saldívar y Limón, 2018). Es así como Ruíz (2020) citó “la emergencia sanitaria hizo repensar en la educación formal, la organización de los sistemas educativos y avanzar hacia la flexibilización del currículum” (p. 236).

El futuro profesional de la agronomía debe de poseer conocimientos y habilidades de los sistemas de producción agrícolas, pecuarios, forestales, principalmente. Para ello, requiere de una formación integral basada en una serie de conceptos teóricos adquiridos en las aulas y prácticos adquiridos en el campo, precisamente esta parte es la que no se ha podido abordar completamente. Es así como en el huerto fenológico el estudiante aprendió a realizar diferentes medidas y observaciones de sus plantas y su relación con el clima.

La formación agronómica en este contexto se ve limitada, es necesaria más información de los diferentes procesos agrícolas, pecuarios, forestales y su relación con el clima, desde el punto de vista de la fase práctica a distancia. El manejo de su huerto de traspatio funcionó como fenológico⁵, fue una de las estrategias para promover el conocimiento teórico y relacionarlo con el práctico y así construir el conocimiento con el desarrollo de habilidades, y también se tomó la referencia su formación académica previa.

La realidad de la formación de los estudiantes está alterada al igual que todos los sectores de la sociedad como la economía y la salud. La formación agronómica a distancia con la aplicación de las TIC'S se caracteriza por considerar la formación integral del estudiante a partir del desarrollo de sus capacidades e independencia, se busca el símil del aula presencial.

Otro punto a considerar es que en Chapingo, en particular en la Preparatoria Agrícola y en el Área de Agronomía, existe una situación de crisis que se percibe como una pérdida relativa de su identidad y de múltiples expresiones relacionadas todas ellas con el vaciamiento y pérdida de sentido de su proyecto educativo, esto se ha agravado más por la pandemia y por las clases online y se está convirtiendo en un obstáculo para su funcionalidad interna como Centro Educativo y como una limitación estratégica para fincar su desarrollo en el futuro.

El huerto familiar y su relación con la formación agronómica

Los huertos familiares son espacios en que las familias campesinas albergan especies vegetales y animales, llegando a funcionar como fuente alimenticia y de ingresos, con diferente valor de uso y de cambio. La importancia del huerto es la obtención de diferentes recursos para la familia, como alimentos, dinero, cuidado de su salud, estos sistemas de producción agrícola son parte de una estrategia social para tratar de alcanzar la seguridad alimentaria nacional, regional y local, es así como están cobrando mayor relevancia. La cuestión de soberanía alimentaria nacional es un paradigma que se ha convertido en el nuevo marco de la política pública, para cuestionar las tendencias del desarrollo rural, así como las políticas alimentarias y agrícolas que no respaldan las necesidades de los pequeños productores agrícolas del país, de ahí la importancia del establecimiento y manejo con los estudiantes de la materia de Meteorología.

En su formación agronómica, los estudiantes analizan que la seguridad alimentaria implica la toma de conciencia individual y social, la acción comunitaria, así como de la reflexión en los elementos

⁵ Los huertos familiares o solares de traspatio son espacios físicos donde las familias albergan especies vegetales y animales. En este caso, se sembraron diferentes hortalizas para registrar variables ambientales y relacionarlas con el crecimiento y desarrollo vegetativo, por ello se enuncia el huerto fenológico.

de producción e intercambio de alimentos, visualizando los mecanismos desleales y poco éticos de producción, comercialización y distribución de alimentos que se presentan con las grandes agroempresas trasnacionales, que en ocasiones generan paquetes tecnológicos de producción agrícola, volviendo dependientes a los campesinos o pequeños productores.

El alumno que construye su huerto fenológico enriquece las prácticas tradicionales de manejo y obtención de recursos alimentarios, en sus casas los estudiantes cuidan el cultivo, atienden sus plantas y animales, esto se enmarca en el diálogo cultural e intercambio de saberes ancestrales y el conocimiento adquirido en las aulas, a lo que se denomina formas de vida, además de que constituyen una alternativa viable para la defensa de la autonomía alimentaria, es así como ellos asimilan que los huertos familiares o solares son espacios de reivindicación social. Uno de los grandes retos que tenemos como sociedad es, lograr la adaptación de nuevas formas de producción y repartición de alimentos, en aras de una mejor salud para los más necesitados como seres humanos y, respetando a la naturaleza, es por ello que los alumnos toman en cuenta su diseño y establecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sin pretender entablar un debate teórico respecto de su definición o de las corrientes pedagógicas del método constructivista, el estudio se hizo bajo este enfoque, debido a que permite aplicar variantes en pro del estudiante, en este caso el docente fungió como facilitador, brindando de forma constante las herramientas para generar el conocimiento en base con dinámicas, desarrollo de habilidades y tomando conocimientos de otras asignaturas agronómicas: el alumno se volvió autónomo, modificó sus actitudes en este constructo.

Este método como corriente pedagógica está basado en la teoría del conocimiento constructivista, la cual demanda la necesidad de generar “andamios” (Glaserfeld, 1992). Es decir, al estudiante se le deben de proporcionar conocimientos, conceptos teóricos, contribuir a resolver dificultades específicas; en este caso, comprender la problemática del clima y su relación con la producción agrícola en su huerto de traspatio y fenológico. La realidad se va construyendo a partir de la propia experiencia (Glaserfeld, 1992). En este contexto Piaget (1999) propuso que el estudiante debiera tener espacios de reflexión sobre las experiencias adquiridas y reflexiones.

Lo que se pretendió al aplicar la estrategia del establecimiento del huerto es la identificación del crecimiento y desarrollo de cultivos en sus diversas etapas fenológicas, los estudiantes aprendieron a calcular los requerimientos agroclimáticos como unidades calor (UC o GDD), fotoperiodo, horas frío, periodo de crecimiento (PC). Además de aprender a realizar registros de variables climáticas como temperatura, precipitación, evapotranspiración y descripción general del estado del tiempo, estos conocimientos fueron evaluados en los reportes de prácticas. El docente se retroalimentó en su labor académica, generó material didáctico real y propio.

El enfoque de este trabajo es mixto (cuantitativo y cualitativo) de tipo no experimental, fue desarrollado con 245 estudiantes del nivel medio superior de la UACH los cuales fueron asignados vía grupo académico para la cátedra de Meteorología; es decir, no se realizó ningún muestreo probabilístico. Las técnicas de investigación empleadas fueron revisión de tareas y prácticas

agrometeorológicas, además de un cuestionario de cuatro preguntas para conocer su percepción del huerto. Para la fase teórica se utilizó el software con licencia por parte de la UACH.

RESULTADOS

El modelo educativo o académico de la UACH en sus tres niveles (medio superior, superior y posgrado), está conformado por: (a) cursos teóricos, impartidos principalmente en los salones y (b) fase práctica, que es desarrollada en laboratorios, prácticas de campo y viajes de estudios, principalmente. Por consiguiente, se buscó sustituir el segundo componente bajo el esquema de educación a distancia, al desarrollar diferentes estrategias para cubrir la práctica del campo en sus huertos de traspatio y realizar las observaciones fenológicas.

En el desarrollo del curso teórico - práctico de la asignatura de Meteorología, después de las primeras sesiones, se le asignaron las diferentes actividades a cada estudiante de forma individual para ser implementadas en su huerto. La Figura 1 muestra los principales resultados de esta actividad, el 15% de los alumnos no estuvieron dispuestos a trabajar, con diferentes argumentos para no construir su propio huerto y el 85% de los estudiantes se mostraron receptivos para aplicar sus conocimientos teóricos en su formación práctica agronómica. El valor numérico se obtuvo al contabilizar a todos los estudiantes que no y sí entregaron sus prácticas vía *teams*.

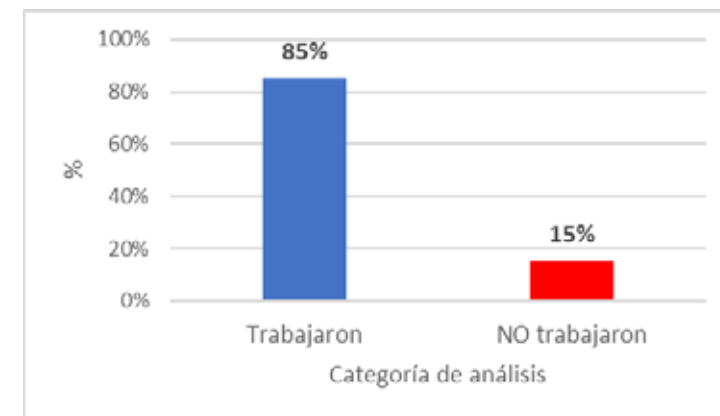


Figura 1. Estudiantes comprometidos con su formación agronómica a distancia.

Fuente: elaboración propia, 2021.

Respecto de los estudiantes que no quisieron adoptar las estrategias de aprendizaje argumentaron diferentes situaciones: el 21% de los alumnos señalaron no poder construir su huerto fenológico porque saldrían de vacaciones, el 24.3% argumentaron padecer alguna enfermedad, el 18.9% citaron su cambio de casa, el 16.2% de plano no mostraron interés por su formación agronómica y el 18.9% enfatizaron no contar con recursos económicos para la compra de semillas, lo cual no es tan grave debido a que se podían conseguir de la cosecha anterior, estos datos están mostrados en la Figura 2. Las cinco situaciones explicativas de los alumnos se agruparon en la población total de los que no entregaron el reporte de sus prácticas.

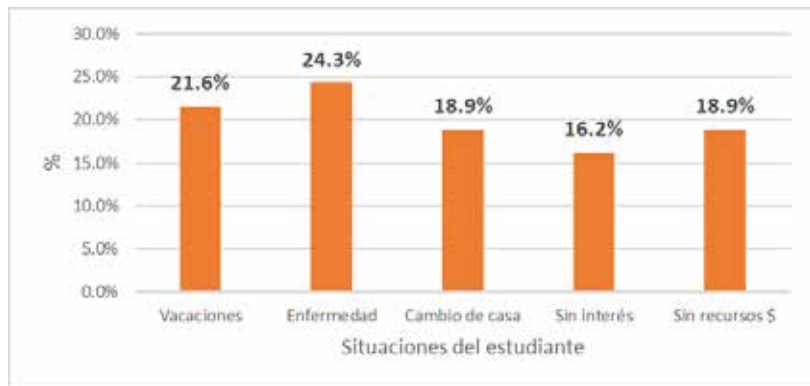


Figura 2. Estudiantes que no aceptaron las estrategias y su explicación.

Fuente: elaboración propia, 2021.

Para superar lo anterior es importante la formación del docente, el cual deberá de ser innovador, que garantice espacios de reflexión entre los estudiantes para superar barreras negativas y favorecer la adopción de nuevas estrategias de aprendizaje. Lo anterior es para contribuir en la motivación intrínseca del alumnado, es decir, buscar su satisfacción personal, en este caso, él se sabe que puede producir sus propios alimentos.

De los estudiantes que aceptaron las estrategias y se mostraron dispuestos al trabajo, aceptaron la transformación del aprendizaje presencial en donde el docente los condujo a producir alimentos en una formación propia, encaminada a la construcción del conocimiento con identidad profesional agrícola se muestran en la Figura 3: (1) cosecharon, el 90% sí lo puedo realizar; (2) vendieron o intercambiaron parte de su cosecha, el 80% de los participantes sí lo lograron; (3) terminaron totalmente sus prácticas de la asignatura, el 95% mencionan que las concluyeron completamente y (4) aplicaron conceptos de otras asignaturas agronómicas, 98% de los estudiantes pudieron aplicar esta estrategia para reforzar sus conocimientos agrícolas.

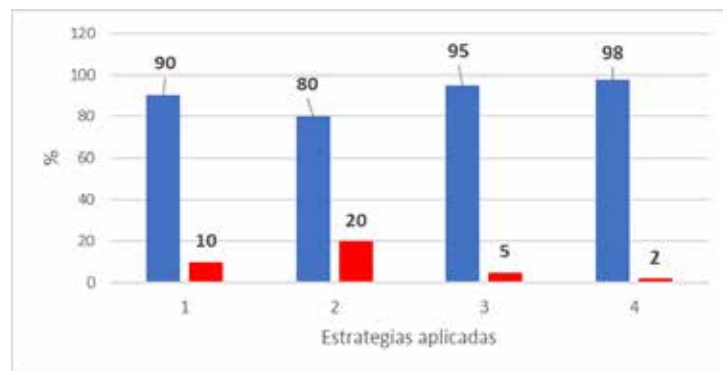


Figura 3. Estudiantes que cumplieron con parte de su formación agronómica.

Fuente: elaboración propia, 2021.

Los estudiantes adquirieron conocimientos teóricos y prácticos propios de la agrometeorología, los cuales les servirán para afrontar problemas relacionados con el sector rural: observación, registro sensorial e instrumental de variables climáticas, recolección y análisis de datos en diferentes cultivos, evaluación agroclimática de plantas, cálculo de índices térmicos, propuesta de manejo agroecológica en su lugar de origen, los cuales se calificaron en los reportes de prácticas como parte del proceso pedagógico.

El huerto constituye una alternativa de disponibilidad de alimentos, condicionando la cantidad y en ocasiones la calidad del consumo familiar, de ahí la importancia de su diseño y manejo de cada alumno y de esta manera se complementan las hortalizas, árboles frutales, medicinales, aromáticas, además de aves, inclusive ganado menor. Los solares bien establecidos y trabajados por los estudiantes pueden cubrir la demanda de alimentos básicos de las familias y, cuando se origina la venta de algunos productos, se contribuye a mejorar los ingresos en sus hogares, que en ocasiones se utiliza para adquirir insumos agrícolas como semillas, o bien para satisfacer otras necesidades.

La formación agronómica a distancia debe de considerar aspectos centrales como la seguridad alimentaria, en este caso, haciendo uso de la ciencia y la tecnología, dado que son herramientas importantes para incidir en las condiciones de producción, distribución y acceso de alimentos tanto en el sector rural, como en las grandes ciudades. Otro aspecto para considerar en el análisis con los alumnos es que los pequeños productores en esta contingencia no cuentan con la debida infraestructura para trasportar sus productos, sin dejar de lado la cuestión de las leyes del mercado. Los intermediarios se han aprovechado de la crisis sanitaria para pagar a menores precios los diferentes productos, entonces, el alumno deberá de ser capaz de enfrentarse a una formación integral a distancia.

CONCLUSIONES

Ante este tipo de emergencia sanitaria, algunos de los estudiantes y profesores participantes, no están preparados para adoptar diferentes oportunidades hacia el aprendizaje en línea o a distancia. Por lo tanto, se deben de buscar y analizar diferentes estrategias que permitan contribuir la formación agronómica, como las planteadas en este documento.

En el mediano plazo es necesario evaluar los resultados de aprendizaje, las estrategias implementadas, por ejemplo, el establecimiento de un huerto, medir la cosecha o rendimiento. Respecto de los estudiantes que no aceptaron estas estrategias, cuáles propondrían, cómo implementarlas, los planes y programas de las asignaturas agronómicas tendrán que actualizarse para contemplar esta opción de formación.

No se han diseñado metodologías para evaluar la percepción del estudiantado acerca de su desempeño en una asignatura agronómica a distancia, sin embargo, no es la única variable que debe incluirse en una futura evaluación educativa porque en este trabajo no está abordado, se debe de tomar en cuenta el desempeño del docente, con qué herramientas contó, qué tipo de materiales elaboró, las condiciones laborales desde su hogar.

La producción rural campesina, el autoconsumo y abastecimiento de alimentos para la familia, genera menor dependencia de alimentos. La venta del excedente que se produce en dichas unidades sirve para recapitalizarse, para seguir su reproducción. También, señalamos que, para completar en ingreso familiar, los campesinos se dedican a otras actividades económicas, obteniendo ingresos monetarios, algunos autores lo señalan como el nuevo modelo de ruralidad, los cuales mencionan que en el campo no se realizan exclusivamente actividades agropecuarias, es así como los alumnos aprenden diferentes estrategias tanto educativas como de producción para contribuir con desarrollo local.

LITERATURA CITADA

- Aranibar, B. D. E. (2010). Los siete saberes según Edgar Morin. *Gaceta Médica Boliviana*, 33(1), 76-78. <https://bit.ly/3HLfvFP>
- Arredondo, V. M., Saldívar, M. A. & Limón, A. F. (2018). Estrategias educativas para abordar lo ambiental. Experiencias en escuelas de educación básica en Chiapas. *Innovación educativa (México, DF)*, 18(76), 13-37. <https://bit.ly/3rIZiez>
- Castells, M. (2006). *La Sociedad red: una visión global*. Madrid: Alianza Editorial.
- García, A. L. (2017). Educación a distancia y virtual: calidad, disrupción, aprendizajes adaptativo y móvil. RIED. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 9-25. <https://bit.ly/3sDfSM2>
- Glaserfeld, E. von. (1992). Constructivism reconstructed: A reply to Suchting. *Science & Education*, 1, 379-384. <https://bit.ly/3GGnTF7>
- Juca, M. F. J. (2016). La educación a distancia, una necesidad para la formación de los profesionales. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 106-111. <https://bit.ly/3staDhW>
- Morín, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Parra, R. J. E. (2003). Competencias profesionales del ingeniero agrónomo. *Agronomía Colombiana*, 21(1-2), 7-16. <https://bit.ly/3JlyGGG>
- Pequeño, I., Gadea, S., Alborés, M., Chiavone, L., Fagúndez, C., Giménez, S. & Santa Cruz, A. B. (2020). Enseñanza y aprendizaje virtual en contexto de pandemia. Experiencias y vivencias de docentes y estudiantes de la Facultad de Psicología en el primer semestre del año 2020. *InterCambios. Dilemas y transiciones de la Educación Superior*, 7(2), 150-170. <https://bit.ly/34MIeeK>
- Piaget, J. (1999). *De la pedagogía*. Vol 142. Paidós.
- Ruíz, C. G. (2020). COVID-19. Pensar la educación en un escenario inédito. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 25(85), 229-237. <https://bit.ly/3GM9RSt>
- Sabogal, A. (2010). Modelos de educación a distancia. *Revista de investigaciones UNAD Bogotá Colombia*, 9, 223-230. <https://bit.ly/3oEUZJa>

- Salazar, A. E. (2018). La enseñanza de la etnobiología a través de la educación a distancia evaluada desde el estudiantado en el período 2015-2016. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), pp. 224-232. <https://bit.ly/3JjbKI0>
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). (2020a). DOF: 16/03/2020. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación. <https://bit.ly/3oGXJfa>
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). (2020b). DOF: 03/08/2020. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación. <https://bit.ly/3LvHvQ7>
- UNESCO. (2020). *Seminarios web para América Latina y el Caribe*, Santiago: Unesco. <https://es.unesco.org/node/322376>.

Capítulo IX

Alejandro Santiago Sánchez Vélez¹, Paola Esmeralda Rodríguez Domínguez²,
Rosa María García Núñez¹ y Julio César Buendía Espinoza²

CALIDAD DEL AGUA Y CONSERVACIÓN DE *AMBYSTOMA LEORAE* EN LOS MANANTIALES DE PASO DE TULA, MÉXICO

RESUMEN

Los Manantiales de Paso de Tula es un hábitat de gran importancia para especies como *Ambystoma leorae*, anfibio “Amenazado” según la NOM-059-SEMARNAT-201, sitio que muestra diversas perturbaciones que modifican su funcionamiento, disminuyendo los servicios ecosistémicos y aumentando gradualmente la contaminación del agua. De esta forma es que la evaluación de la calidad del agua es una herramienta que ayuda a determinar el estado de un ecosistema acuático vinculando sus resultados a la conservación de especies, por lo que en este estudio se demuestra la eficiencia y confiabilidad del biomonitoreo, empleado para obtener resultados reales que contribuyen al establecimiento de una planeación asertiva de manejo y conservación del recurso agua, garantizando su permanencia y obteniendo de esta manera protección al ecosistema y a las especies que habitan en ella. Con base a los muestreos de macroinvertebrados analizados se obtuvieron resultados con puntuaciones de 50 en el método BMWP y 5.12 en Índice Biótico de Familias con su clasificación “Regular con poca contaminación” y “Aguas contaminadas” respectivamente. Además de observar uno de los efectos del cambio climático, pues en registros de datos en 1980-2015, la estación con mayor precipitación correspondía a Chapingo, cambiando a Ixtapaluca en los últimos 10 años anteriores al 2015 y estableciéndose Izta-popo en el 2017 como la estación con mayor precipitación, haciendo evidente que la disminución de *Ambystoma* se atribuye principalmente a la contaminación, cambio climático y extracción ilegal.

Palabras clave: Bioindicadores, contaminación, cambio climático.

ABSTRACT

The Manantiales de Paso de Tula is a habitat of great importance for species such as *Ambystoma leorae*, an amphibian “threatened” according to NOM-059-SEMARNAT-2001, a site that shows

¹ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 carretera México - Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230.

² Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 carretera México - Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230, paolaesmeralda@gmail.com

various disturbances that modify its persistence, reducing ecosystem services and gradually increasing the water contamination. In this way, the evaluation of water quality is a tool that helps to determine the state of an aquatic ecosystem by linking its results to the conservation of species, so this study demonstrates the efficiency and reliability of biomonitoring, used to obtain real results that contribute to the establishment of an assertive planning for the management and conservation of the water resource, guaranteeing its permanence and thus obtaining protection to the ecosystem and the species that inhabit it. Based on the macroinvertebrate samplings analyzed, results were obtained with scores of 50 in the BMWP method and 5.12 in the Biotic Index of Families with its classification “regular with little contamination” and “contaminated waters” respectively. In addition to observing one of the effects of climate change, since in data records in 1980-2015, the station with the highest rainfall corresponded to Chapingo, changing to Ixtapaluca in the last 10 years prior to 2015 and Izta-popo was established in 2017 as the season with the highest rainfall, making it clear that the decline in *Ambystoma* is mainly attributed to pollution, climate change and illegal extraction.

Keywords: Bioindicators, pollution, climate change.

INTRODUCCIÓN

El agua es un componente esencial para el funcionamiento de ecosistemas, vital para la sobrevivencia de seres vivos y un recurso importante para mantener la vida en el planeta, debido a todos los servicios ambientales hidrológicos que provee a los ecosistemas y a la población. Su disponibilidad no es equilibrada respecto al número de habitantes que corresponden a cada ciudad o localidad, por lo que se ha buscado que todos tengan acceso a este recurso, representando un punto clave en el desarrollo socioeconómico y en la calidad de vida.

Sin embargo, día a día este recurso se ve afectado por innumerables actividades del ser humano que han provocado su escasez y contaminación de cuerpos de agua que abastecen a la población del agua necesaria para su vida diaria (agricultura, ganadería, industria, salud).

Por lo que es importante preservar áreas como Los Manantiales de Paso de Tula, como un sitio afectado principalmente por factores antropogénicos debido al mal manejo y deficiente protección a los recursos naturales, afectando de manera directa la conservación de *Ambystoma n*, anfibio que según SEMARNAT (2020) se encuentra bajo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 en categoría “Amenazada (A)”, mientras la IUCN SSC, (2020) la clasifica en “Peligro Crítico (CR por sus siglas en inglés)”, considerando que la especie enfrenta un riesgo de extinción extremadamente alto en su estado de vida silvestre (UICN, 2012).

Actualmente en México la determinación de la calidad del agua mediante métodos físico-químicos es un método costoso al que no todas las comunidades y personas pueden acceder para conocer el estado del agua que usan a diario, por lo que los organismos que ayudan a determinar la calidad del agua, denominados bioindicadores, de acuerdo con Gamboa et al, (2008) cumplen su función a base de los cambios en su comportamiento, morfología, fisiología y/o disminución del número de individuos o extinción en el ecosistema en el que se encuentran, indicando la variabilidad

físico-química fuera de los parámetros normales en su hábitat, motivos por lo que el biomonitoreo ha sido propuesto como un método confiable para detectar disturbios ambientales.

Vinculando la calidad del agua de los Manantiales de Paso de Tula con la capacidad del ajolote como indicador de la salud del ambiente como lo señala Yáñez (2007), debido a sus atributos biológicos (piel permeable, ciclo de vida difásico y su variedad de estrategias reproductivas) que los hace sensibles a cambios y/o perturbaciones acuáticas, terrestres y atmosféricas, es que la calidad del agua es un factor de gran importancia para la conservación del ajolote así sea para su supervivencia o para su reproducción, ya que requiere una temperatura ideal del agua y cuerpos de agua limpios, pues de ello depende la existencia de los organismos de los que se alimentan (plantas y animales pequeños), e incluso los sitios de ovoposición principalmente seleccionados en plantas u algas.

Teniendo por objetivo la presente investigación determinar la calidad del agua de los Manantiales de Paso de Tula a través del análisis de macroinvertebrados como bioindicadores que evalúen el cumplimiento de los requerimientos de calidad asociados a la conservación del ajolote (*Ambystoma leorae*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó a base de la elaboración de una caracterización física de la microcuenca a partir de un modelo de elevación digital (MDE) y de diversos *shapes* obtenidos de la plataforma digital de INEGI, haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Además del muestreo de 100 individuos de macroinvertebrados colectados en la corriente principal de la microcuenca en frascos con una solución 3:1 de agua destilada y alcohol etílico (95%), identificados con una clave de identificación de macroinvertebrados, un microscopio, además del apoyo de una lupa y pinzas, finalmente obteniendo la clasificación al nivel de orden y/o familia.

Con los datos de los ejemplares colectados y la contabilización de cada uno a su respectiva familia y orden se obtuvo una tabla resumen de la contabilización de los macroinvertebrados, misma que es la base para emplear las siguientes herramientas: el método BMWP el cual otorga una puntuación a cada orden/familia con un resultado obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$BMWP = T1 + T2 + T3 + \dots + Tn$$

Donde: T es el nivel de tolerancia de cada respectiva familia, obteniendo la calidad del agua determinada por la sumatoria de todas las familias, siendo valores referidos a cada sitio de muestreo.

Comparando el resultado obtenido con el Índice Biótico de Familias, el cual usa la razón siguiente:

$$IBF = \sum(n_i * t_i) / N$$

Donde:

n_i = es el número de individuos en un grupo taxonómico

t_i = el valor de tolerancia de cada grupo taxonómico

N = el número total de individuos en la muestra

En el que previamente igual se asigna un valor a cada una de las familias/ordenes de los organismos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio se ubica dentro de la microcuenca, denominada “Manantiales de Tula” localizada en el Estado de México dentro de los Municipios de Texcoco e Ixtapaluca, entre las coordenadas extremas 19°22’30.83” y 19°25’0.19” latitud Norte, 98°43’17.39” y 98°43’19.66” longitud Oeste y abarca una superficie de 623 hectáreas.

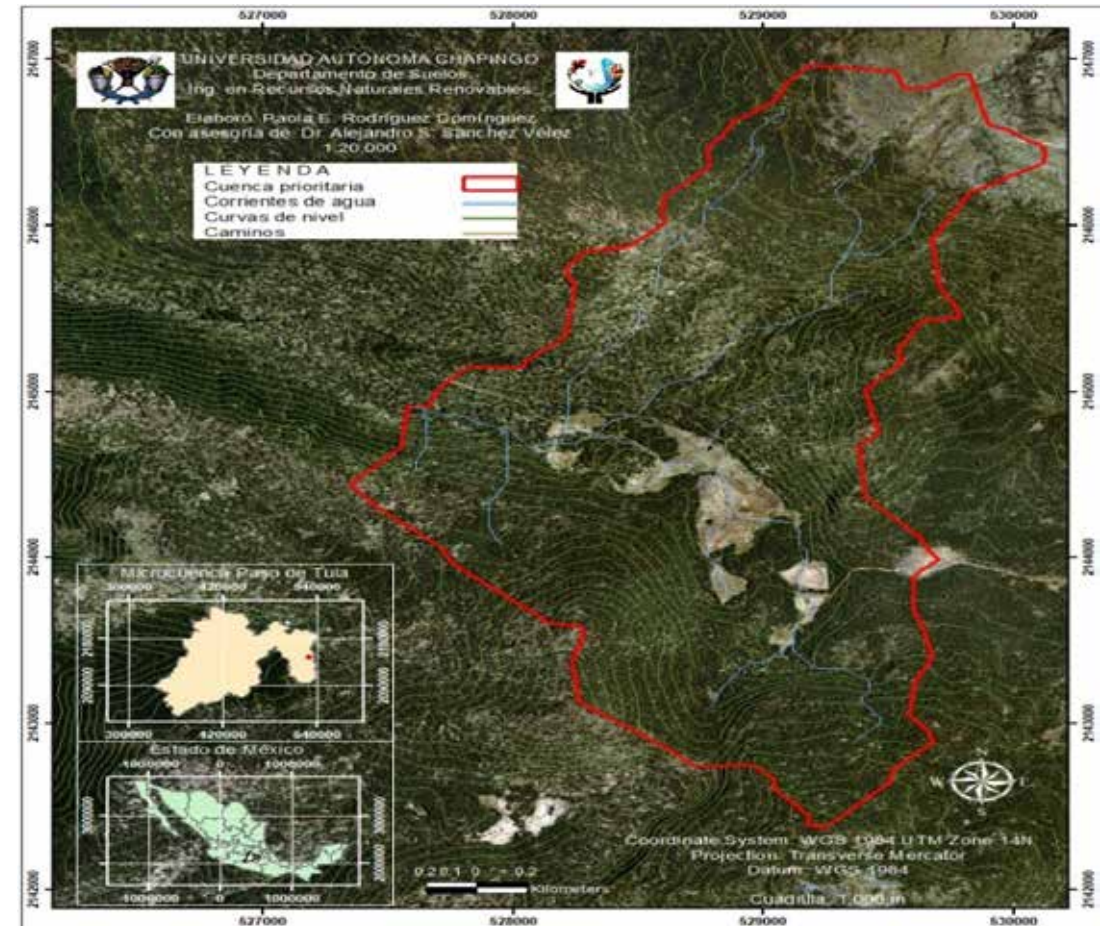


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca prioritaria Paso de Tula

Caracterización abiótica de la cuenca

El clima de la zona es C(E)(w2)(w) Semifrío subhúmedo con alto grado de humedad, siendo un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y sequía en invierno. Las temperaturas medias anuales están entre 12° y 18°C, la temperatura del mes más caliente está entre 6.5°C y 22°C y la del mes más frío entre -3° y 18°C, mientras que la lluvia invernal es entre 5 y 10.2% respecto a la anual.

Se analizaron las bases de datos de la estación climatológica 00015082 Río Frio, correspondiente a un periodo de 59 años (1951-2010).

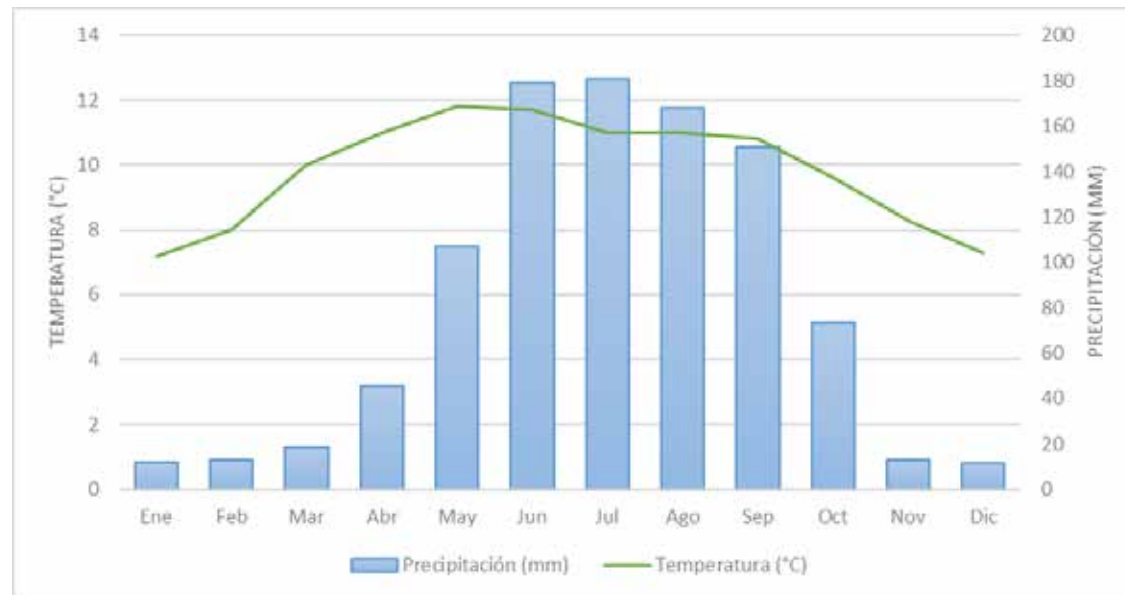


Figura 2. Climograma del área de estudio con información de la estación climatológica Río Frio.

Observando las fluctuaciones de temperatura y precipitación a lo largo del año (Figura 2), con un régimen pluvial promedio en los meses de junio, julio y agosto, que representan el 45.73 % de la precipitación total anual, periodo comprendido dentro de la estación de verano, mismas que coinciden con los aumentos de temperatura en los mismos meses (mayo a septiembre).

La microcuenca cuenta mayormente con pendientes superiores al 20% y un suelo andosol, característico por su origen volcánico y ser considerado un suelo fértil con un alto potencial de uso agrícola.

Mientras que respecto al uso actual del suelo el bosque de *Pinus hartwegii* muestra predominancia del 81% en el uso del suelo de la cuenca, el pastizal submontano con un 13% y la vegetación de zonas saturadas con un 6% aproximadamente.

Cuadro 1. Superficies de uso de suelo y vegetación en la cuenca prioritaria Paso de Tula

Clave	Uso del suelo y vegetación	Ha	%
BP	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	504	80.8
VW	Vegetación de zonas saturadas (<i>Schenoeplectus sp.</i>)	36	5.7
PI	Pastizal submontano (<i>Mullemburgia macrourea</i>)	84	13.4
	Total	623	100.0

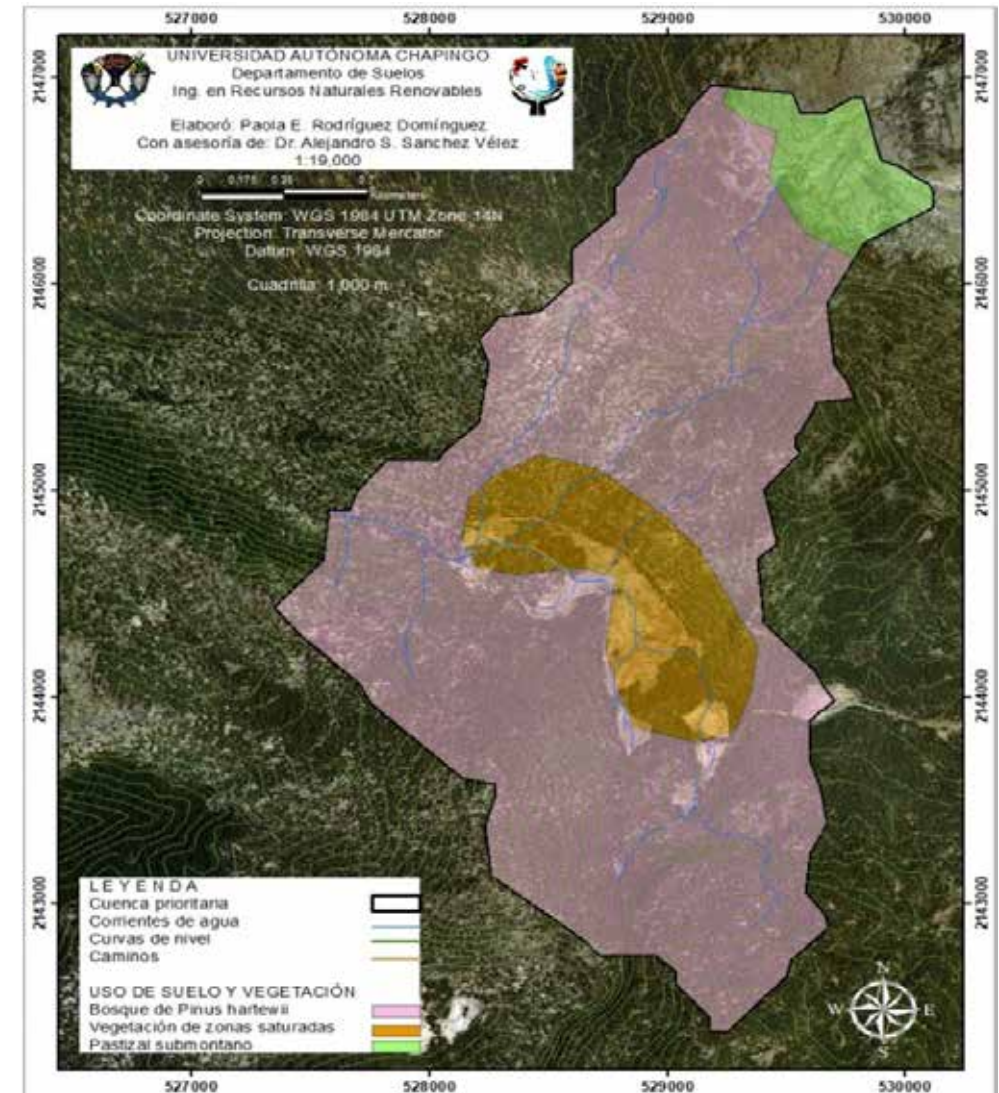


Figura 3. Mapa del uso de suelo y vegetación de la cuenca prioritaria Paso de Tula.

Se conoce que aproximadamente hace unos 25 años, había mucha vegetación alta de tulares (*Typha sp.*), zacatules (*Schaenoplectus sp.*) y otras plantas de agua, sin embargo, con la desecación a causa de la extracción de los manantiales para entubar el agua, se afectó al hábitat y ocasionó la disminución de la presencia de estas especies, ya que únicamente queda como un reducto de la segunda especie que es más pequeña (Sánchez, 2021 com. pers). Solo se encuentran rocas de tipo Andesita-Dacita dentro del área de estudio de acuerdo con el GeoInfoMex (SGM, 2021).

Caracterización física de la cuenca

De acuerdo con Fleisher (2011) las características físicas de una cuenca se definen como la configuración del área de drenaje que permite entender el ciclo hidrológico en esta unidad de drenaje. Por eso es de gran importancia esta información para poder entender el comportamiento hidrológico de la cuenca y de esta manera analizar y/o establecer el plan de manejo que se llevará a cabo.

La cuenca prioritaria delimitada de los Manantiales de Paso de Tula presenta las siguientes características mostradas en el cuadro 3, mismas que son datos base para otros cálculos posteriores.

Información obtenida mediante la digitalización de la cuenca prioritaria haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica.

Cuadro 2. Resumen de los parámetros calculados de la cuenca prioritaria

Parámetros por determinar	Índice o valor
1. Área de la cuenca	623 ha = 6.23 km ²
2. Perímetro	12,883 m = 12.88 km
3. Altitud media de la cuenca	3,773.70 m
4. Longitud del cauce principal	3,620 m = 3.62 km
5. Densidad de corrientes	13.29 corrientes por km ²
6. Densidad de drenaje	2.133 km/km ²
7. Pendiente media del cauce principal	18.61 %
8. Pendiente media de la cuenca	27.48 %
9. Tipo climático de acuerdo con Koeppen	C(E)(w2)(w)
10. Precipitación media anual	972.2 mm
11. Mes más lluvioso y mes más seco (mm)	Julio (180.6 mm) / Dic. (11.3 mm)
12. Temperatura media anual	9.8 °C (años 1951-2010)
13. Mes más frío y mes más cálido	enero 7.2 °C / mayo 11.8 °C
14. Evaporación potencial media	1,227.5 mm
15. Elevación mayor y menor	4200 m y 3526 m
16. Desnivel entre cota más alta y más baja	674 m (4200 - 3526)
17. Tipo de roca dominante	Andesita-Dacita
18. Tipo u orden de suelo dominante	Andosol
19. Porcentaje de vocación forestal	80.8 %
20. Tipo de vegetación predominante	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
21. Principal fuente de impacto hidro-ambiental	Entubamiento de agua
22. Principal actividad económica consumidora de agua	Ganadería
23. Municipios incluidos dentro de la m-cuenca	Texcoco e Ixtapaluca
24. RH y cuenca a la que pertenece la m-cuenca	Panuco y Balsas

Formato de cuadro resumen obtenido de (Sánchez, 2020)

Evaluación de la calidad del agua

Macroinvertebrados. De acuerdo con los datos de la colecta realizada en el 2017(a) los resultados en base al método IBF/Hilsenhoff arrojaron el valor de 5.12, mismo valor que se clasifica dentro de la calidad de agua “Regular con poca contaminación” y en la metodología de BMWP se obtuvo un valor de 50 dentro de la clase IV con clasificación “Aguas contaminadas”.

Cuadro 3. Macroinvertebrados evaluado de acuerdo a Hilsenhoff y BMWP (Sánchez V., 2017a)

Id	Orden	Familia	No. ind	Calificación	
				IBF	BMWP
1	<i>Trichoptera</i>	<i>Leptoceridae</i>	10	4	10
2	<i>Hemiptera</i>	<i>Gerridae</i>	12	6	3
3	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Heptageniidae</i>	9	4	10
4	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	9	4	4
5	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Ephemeridae</i>	8	4	10
6	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydroptilidae</i>	8	4	6
7	<i>Anelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	3	8	1
8	<i>Trichoptera</i>	-	11	4	2
9	<i>Hirudinea</i>	-	4	10	2
10	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	26	6	2
Total			100	5.12	50

Información que demuestra que evidentemente los Manantiales de Paso de Tula se encuentran contaminados de manera regular o moderada, lo cual se puede atribuir a una contaminación orgánica por las actividades ganaderas en los alrededores de la cuenca y arrastres de sedimentos por la erosión de los suelos que provocan un aumento de las partículas en suspensión en los cuerpos de agua.

Cuadro 4. Resumen de resultados de los índices usados para evaluar calidad del agua y diversidad

Método/Índice	Valor	Clasificación
BMWP	50	Aguas contaminadas
IBF	5.12	Calidad del agua regular con poca contaminación

Por lo que se concluye en base a todos los índices analizados que la cuenca prioritaria presenta una contaminación ligera o regular con baja diversidad de especies y presencia de especies muy dominantes.

Cambio climático. Se realizó una serie de comparaciones en las que muestra las afectaciones del cambio climático sobre la precipitación, temperatura y evapotranspiración, donde se muestran notables cambios respecto al comportamiento que han tenido las zonas de estudio que se analizaron, las cuales fueron: Chapingo (1), Izta-popo (2) e Ixtapaluca (3) respectivamente.

Con datos de los últimos 35 años anteriores al 2015 se observó que las temperaturas más altas las tiene la estación de Ixtapaluca, respecto a la evapotranspiración las estaciones Chapingo e Ixtapaluca muestran un comportamiento similar con valores levemente más elevados en Chapingo, finalmente Izta-popo fue la estación con menos evapotranspiración y las temperaturas más bajas registradas en comparación con las otras dos estaciones y una precipitación cercana a la de la estación Chapingo.

Y en las mismas tres estaciones aledañas a Paso de Tula se evaluó nuevamente el comportamiento en las tres estaciones, pero en un lapso de 10 años anteriores al 2015.

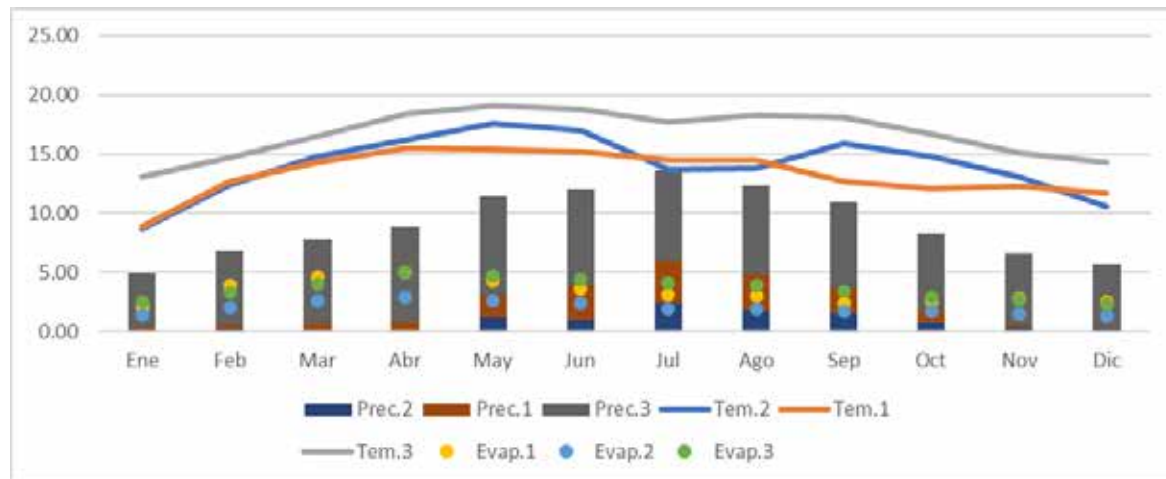


Figura 4. Registro mensual de temperatura, evapotranspiración y precipitación las estaciones de Chapingo, Izta-popo e Ixtapaluca durante los últimos 10 años. (Sánchez V., 2017b)

La Figura 4 muestra que los valores más altos en cuanto a los tres rubros evaluados (temperatura, evapotranspiración y precipitación) fue la estación de Ixtapaluca, con un mayor porcentaje de precipitación en los meses de junio, julio y agosto.

Finalmente se realizó un análisis del comportamiento de las tres estaciones en el 2017 obteniendo un promedio de los datos mostrados en siguiente climodiagrama (Figura. 5) observándose que los meses con mayor precipitación fueron junio, julio y agosto, con valores más altos en la estación (2) correspondiente al Izta-popo.

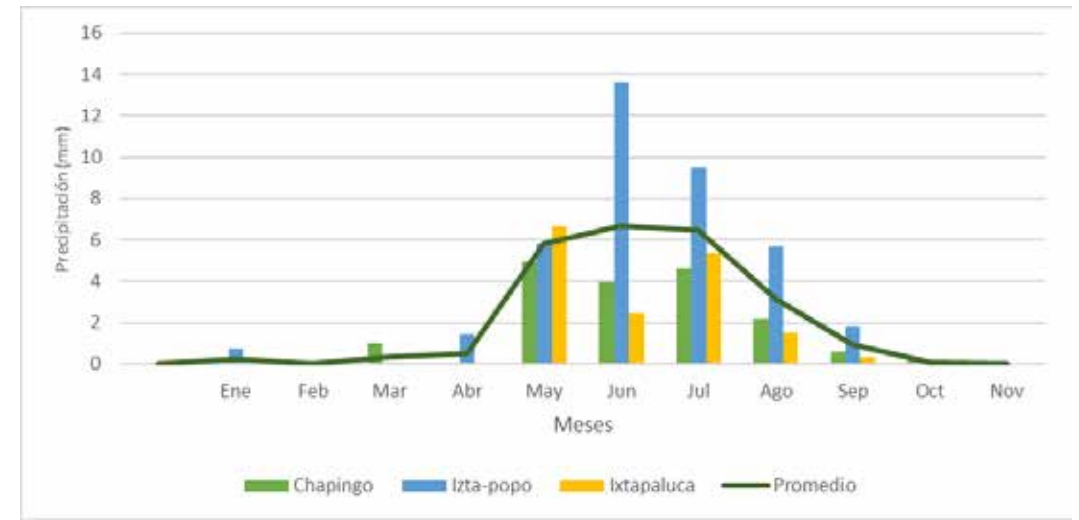


Figura 5. Registro mensual de precipitación las estaciones de Chapingo, Izta-popo e Ixtapaluca durante el 2017. (Sánchez V., 2017b)

Con toda la información anterior es notable que el comportamiento en el paso de los años en la variable precipitación ha cambiado notablemente, asociando esta consecuencia a uno de los efectos del cambio climático.

Se observa un cambio respecto en cantidades precipitadas de lluvia y cambios entre las zonas de mayor precipitación, ya que en los registros de los últimos 35 años anteriores al 2015 (1980-2015) la estación con mayor precipitación era correspondiente a Chapingo, sin embargo, al analizar únicamente los datos de los últimos 10 años se muestra Ixtapaluca como la estación representante de la mayor precipitación versus las otras dos, finalmente al verificar la precipitación del 2017 se observa que la estación con mayor precipitación cambió al Izta-popo con datos que muestran gran diferenciación respecto a las otras estaciones.

La información antes representada muestra una variación dentro del sistema ambiental correspondiente a los Manantiales de Tula, por ser este un sitio cercano a las tres estaciones presentadas.

El aumento de precipitación influye en la alteración de los ecosistemas en diversos factores por los cambios de flujo en el ciclo del agua, afectando a las especies vegetales tanto como animales.

Conservación del ajolote

En México se han empleado estrategias de conservación *in situ* para el ajolote ya que este tipo de conservación mantiene a las especies en una relación estrecha con su hábitat, además de permitir el flujo genético de los individuos (Edwards y Kelbessa, 1999). Y con base a la revisión de diversas fuentes de información relacionadas con las estrategias para la conservación del ajolote que se han empleado en México, es que se puede observar que a pesar de que existen más planes de conservación

y estrategias, la compilación realizada es una muestra representativa de la preocupación por la conservación del ajolote, sin embargo, no es suficiente pues no existen suficientes investigaciones o programas empleados, además de que no abarcan áreas de difícil acceso como lo son los Manantiales de Paso de Tula, por lo cual es que a base de las estrategias antes mencionadas se establecen las necesarias para el área de estudio de la presente investigación buscando asegurar la conservación del ajolote:

Estrategias para proteger y restaurar el hábitat y sus alrededores:

1. Creando un área natural protegida (ANP) dentro de la microcuenca donde se impida el acceso a vehículos y prohíba la entrada del ganado (Colocación de barreras físicas)
2. Impulsar la reforestación de los alrededores y dentro de la cuenca prioritaria
3. Establecer un comité de vigilancia capacitado sobre todo lo relacionado dentro de la ANP
4. Implementar programas que disminuyan la deforestación (cambios de uso de suelo) e impactos agrícolas, ganaderos y pesqueros mediante la aplicación de estrategias regulatorias y de monitoreo
5. Regulación de visitas en los Manantiales

Monitoreo y vigilancia permanente de la población de ajolotes:

1. Evaluar la calidad del hábitat para los ajolotes
2. Evaluación del estado de salud de la población de ajolotes
3. Monitoreo de la población de ajolotes, promoviendo la generación de capacidades técnicas locales y regionales
4. Establecer mecanismos para la coordinación entre los diversos actores y sectores involucrados para la vigilancia y manejo
5. Desarrollar o fortalecer mecanismos de inspección y vigilancia mediante el establecimiento de un comité de vigilancia comunitaria para prevenir la extracción ilegal y contaminación de cuerpos de agua que afecten a las poblaciones

Reducción y control de la extracción de agua:

1. Mejorando los sistemas de riego
2. Regulación de la extracción de agua
3. Impulsar campañas para un uso responsable del agua

Educación ambiental:

1. Señalización para que los visitantes no pisen en áreas no designadas para el tránsito
2. Proporcionar pláticas y talleres en relación con la problemática ambiental a la población en general, explicando a detalle la problemática y alternativas de solución para la preservación de los manantiales, además de la importancia de la regulación de actividades dentro de la cuenca prioritaria, dar a conocer las características ambientales de la zona y su importancia ecológica

3. Promover la denuncia ciudadana estableciendo mecanismos de coordinación con las instancias correspondientes
4. Promover la realización de talleres de expertos en el estudio de los ajolotes y su hábitat con el fin de contar con la mejor información científica disponible para la toma de decisiones de manejo
5. Promover la realización de proyectos de investigación participativa a corto, mediano y largo plazo, así como la estandarización de metodologías

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca prioritaria de los Manantiales de Paso de Tula posee características que la hacen un buen hábitat para especies acuáticas y terrestres, ya que la mayor parte de su superficie pertenece al bosque de *Pinus hartwegii* ya que posee un 80.8% de la superficie y un 13.4% el pastizal submontano (*Muhlenbergia macroura*) relacionándolo con lo mencionado por Sunny et al., 2014 donde se señala que el ajolote habita en zonas donde la vegetación próxima a los cuerpos de agua se distribuye en pastizales de *Muhlenbergia sp.*, bosques de pino (*Pinus hartwegii*) y de bosques de oyamel (*Abies religiosa*).

Respecto a la calidad del agua dentro de la cuenca prioritaria se requiere de manera ideal una clasificación “buena sin contaminación” sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que si existe contaminación en el agua de los manantiales, infiriendo eso al libre acceso del ganado, la captación de los caudales de agua para uso humano y la extracción maderera como los principales factores de impacto, dando paso a que la calidad de está disminuya por falta de aplicación de medidas preventivas y de manejo, además de mencionar de la situación actual del recurso envuelto en una constante disputa del recurso agua por las comunidades que se encuentran a los alrededores.

En cuanto al cambio climático, es notable observar sus efectos en la zona, ya que el comportamiento de la precipitación ha cambiado notablemente con el paso de los años.

El desinterés de las personas acerca de la preservación y conservación de especies de gran importancia a nivel nacional dentro de la cuenca es muy evidente, pues a pesar de la gran difusión de lo que representa en ajolote en México, no se han tomado medidas para su conservación, causando una constante fragmentación del ecosistema por la continuidad de afectaciones sobre las especies. La preservación del recurso agua dentro del ecosistema requiere del empleo de medidas como: Políticas, campañas, rehabilitación de corrientes de agua naturales, monitoreo de agua y la reincorporación de las actividades tradicionales, disminución de uso de plaguicidas y pesticidas en caso zonas cercanas a las corrientes o cuerpos de agua, así como la incorporación de métodos agroecológicos que contribuyan de manera significativa al mejoramiento de la calidad del agua y la permanencia de las especies, logrando conservar la sección cultural mexicana inspiradas en este tipo de paisajes y especies de importancia ya sea en el ámbito artístico o recreativo.

Es importante realizar estudios que muestren las interacciones del ajolote en su hábitat

con plantas acuáticas, zonas de anidación y temporadas de reproducción, dieta, especies que modifican su hábitat ocasionando variabilidad en concentraciones de oxígeno disuelto en agua, aumento/disminución de la evaporación o temperatura del agua, y de aquellos elementos que afecten el ecosistema de la especie de importancia, establecer planes alternativos para su disminución o erradicación.

LITERATURA CITADA

- ARNAUD G. (2020) Estrategias de conservación de los vertebrados de México. Recursos Naturales y Sociedad. Vol. 6 (2): pp. 59-60
- EDWARDS, S. Y E. KELBESSA. (1999). Indicators to determine the level of threat to tree species. Proceedings of the National Workshop on Forest Genetic Resources Conservation: Principles, Strategies and Actions. IBCR and GTZ, Addis Ababa. pp. 101-133
- FLEISHER P., A., P., & LÓPEZ H., M. (2011). Métodos para determinar la calidad del agua; Caso de estudio: Río Tolantongo, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. México pp. 51
- GAMBOA, M., ARRIVILLAGA, J., & REYES, R. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la salud ambiental. Boletín de malariología y salud ambiental. pp. 109-120.
- HERNÁNDEZ D. J., *et al.* (2020) Plan de Acción para la Conservación del Ajolote de Alchichica (*Ambystoma taylori*). Un producto del programa de becas EDGE of Existence, Zoological Society of London. México. pp. 11-16
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2020). *Ambystoma leorae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T59061A53974072.en>.
- LEDEZMA M. J. (2013) Estrategia de conservación *in situ* para *Ambystoma lermaense*. Tesis de Maestría. México. pp. 104-110
- MENA G. H., & SERVÍN Z. E. (2014). Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 6.
- RIVERA R. A & MOLINA G. G. (2019) Propuesta para establecer un área destinada voluntariamente a la conservación del ajolote (*Ambystoma granulosum*) en Jiquipilco, México. Tesis de Licenciatura. México. pp. 119-123
- SÁNCHEZ V. A. S. (2020). La microcuenca unidad básica de planeación, manejo, conservación, restauración y planeación de los recursos naturales. Instructivo de la práctica 3 de los cursos de Gestión Integrada de Cuencas y Restauración Hidrológico-Forestal. División de Ciencias Forestales, UCh. pp.6
- SÁNCHEZ V. A. S., (2017a). Registro de datos obtenidos del análisis de salud de ríos por el método de bioindicadores en Paso de Tula, Edo. Méx. México pp. 1

- SÁNCHEZ V. A. S., (2017b). Registro de precipitación de las estaciones meteorológicas aledañas a Paso de Tula, Edo. Méx. México. pp. 1-6
- SEMARNAT, (2018). Programa de Acción para la Conservación de las Especies *Ambystoma* spp, SEMARNAT/CONANP, México. pp 13-18 y 61-66.
- SEMARNAT. (2010). Noma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. México, D.F. pp. 22.
- SEMARNAT-CONANP (2019) Programa para la protección y restauración de ecosistemas y especies en riesgo (PROREST) 2019. Componente de conservación de especies en riesgo. México. pp. 130-131
- SISTEMA GEOLÓGICO MEXICANO - SGM (2021) GeoInfoMex <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/> (19/01/2021)
- UICN. (2012). Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición. pp. 14
- YÁNEZ M. M. (2007). Métodos Estandarizados para el muestreo de Anfibios y Reptiles. Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales. Ecuador. pp. 10

Capítulo X

Yesenia Manilla Téllez¹, Artemio Pérez López^{2*}
y Cynthia Serna Abascal³

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS FRUTOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA CON ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

RESUMEN

Los frutos están sujetos a daños mecánicos de diferentes tipos durante la cosecha y manipulación, que pueden causar pérdidas significativas. Sobre la temática de las propiedades mecánicas del tejido de frutos continuamente se generan documentos científicos en todo el mundo, pero no existe un informe detallado de la cantidad de estos que se generan a través de los años. De esta manera se analizó cualitativa y cuantitativamente la información científica en torno a las propiedades mecánicas en frutos mediante una revisión sistemática de literatura empleando la metodología PRISMA, complementando con metaanálisis. Los resultados muestran que la producción de información científica en torno al tema es muy escasa y de poco interés en el ámbito científico internacional. Observamos que en promedio se publica un artículo científico por año lo que resulta ser muy bajo en el ámbito de la investigación y es notorio observar el poco conocimiento que se tiene acerca de este tema. La revisión sistemática de literatura con análisis bibliométrico es una metodología confiable y eficiente para realizar el análisis de la información científica que se genera a nivel mundial sobre un tema en específico.

Palabras clave: Propiedades mecánicas; postcosecha de frutos; análisis bibliométrico; PRISMA.

INTRODUCCIÓN

El daño mecánico por compresión provoca ablandamiento en el tejido del fruto, presentando oscurecimiento vascular y pudrición basal. Esto genera una serie de eventos genéticos caracterizados por procesos bioquímicos y fisiológicos que alteran su firmeza, color, sabor y textura (Herrera González et al., 2017; Nishiyama et al., 2007). La calidad de los frutos en madurez de consumo se

¹ Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, yes.matez456@gmail.com

^{2*} Doctorado, Universidad Autónoma Chapingo, aperezl@chapingo.mx (Autor de correspondencia)

³ Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, cynthia_serna_abascal@hotmail.com

reduce si no se aplica un adecuado manejo en cosecha y postcosecha (Everett et al., 2008; Herrera González et al., 2017). Del mismo modo, la alta incidencia de magulladuras por daños mecánicos en frutos continúa siendo un problema económico para productores y comercializadores de la industria frutícola en todo el mundo (Opara & Pathare, 2014).

Las propiedades mecánicas del tejido de frutos ha sido objeto de estudio en diferentes áreas de la ciencia (biológicas, ingenieriles, ciencia de materiales, etc.) a través de los años y desde varios enfoques. Continuamente, se han venido generando documentos científicos en todo el mundo, algunos de ellos sobre la composición y las propiedades mecánicas del tejido de frutos y su relación con el metabolismo ante la acción de fuerzas externas en diversas especies frutales para diferentes aplicaciones. Actualmente no existe un informe detallado en relación con la cantidad de informes científicos generados, enfoque del estudio, tendencia de generación de la información a través de los años, países que más aportan en el estudio sobre la temática, autores más prolíficos en el tema, número de citas etc.; razón por la cual, es importante se realice dicho estudio con una metodología validada. Esta metodología se conoce en la literatura científica como revisión sistemática de literatura complementado con análisis bibliométrico. Estos estudios comprenden un análisis exhaustivo, sistemático y explícito de la literatura que surge a partir de una pregunta clara de investigación, una metodología, un análisis crítico de acuerdo con las diferentes herramientas y un resumen cualitativo (García-Perdomo, 2015), para que los nuevos trabajos de investigación puedan ser orientados con objetivos más específicos y con las herramientas adecuadas evitando duplicidad de información. Para ello se emplea Scopus® y/o Web of Science en la búsqueda de artículos científicos, mientras que para el análisis bibliométrico son empleados los softwares VOSviewer y R-package “Biblioshiny”.

Los resultados de este trabajo de investigación servirán como base para plantear el panorama actual de la investigación científica en la temática de las propiedades mecánicas en frutos y servir de sustento para la orientación de los investigadores en el planteamiento de nuevas líneas de investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión sistemática de literatura con metodología PRISMA

Declaración PRISMA: Es una nueva técnica derivada de la actualización y ampliación de la declaración QUOROM. PRISMA incorpora aspectos conceptuales y metodológicos de revisiones sistemáticas utilizada para describir un metaanálisis, que consiste en un flujo de información a través de diferentes fases, como se muestra en la figura 1 (Urrútia & Bonfill, 2010).

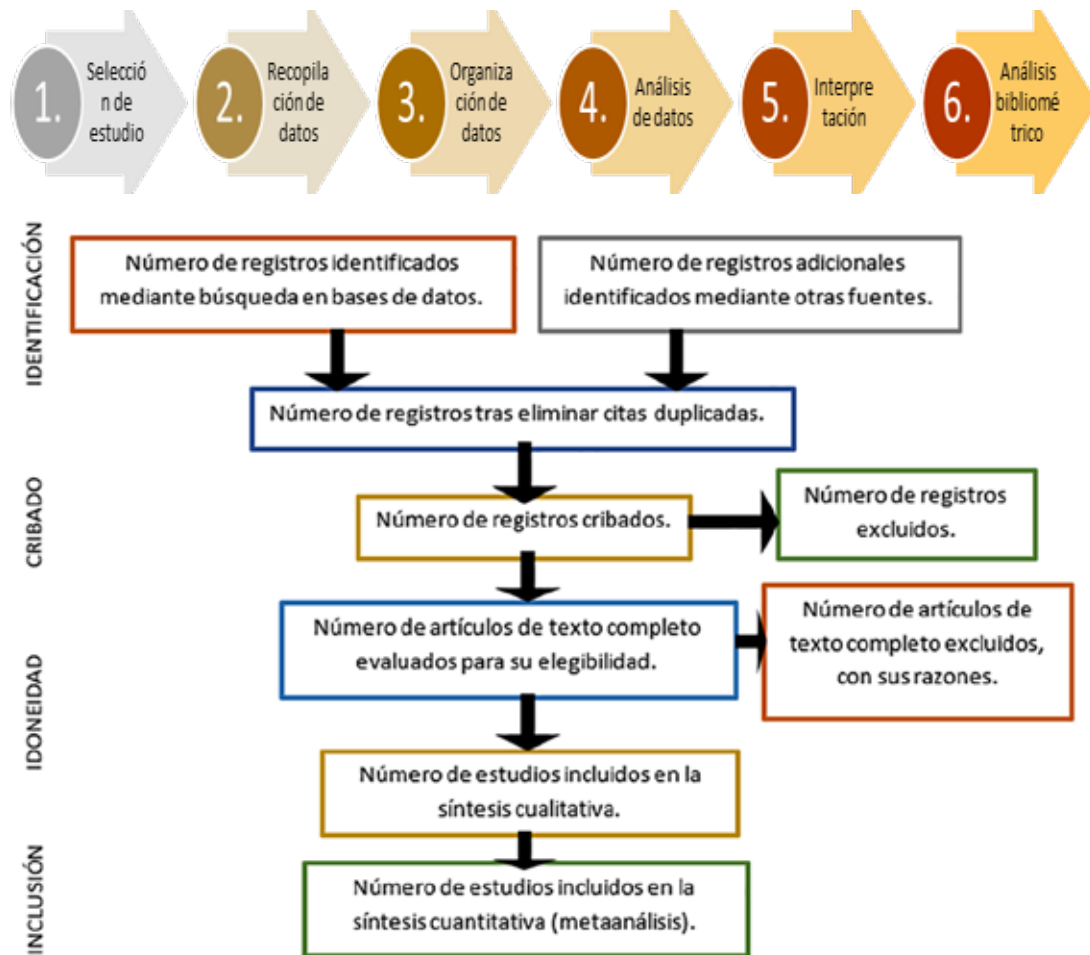


Figura 1. Procedimiento de la revisión sistemática con metaanálisis (Urrútia & Bonfill, 2010).

Estrategia de búsqueda

Se comienza por un enfoque bien estructurado con respecto al tema de investigación, en este caso es una revisión sistemática de literatura con análisis bibliométrico de las propiedades mecánicas en frutos que dará paso a la recopilación de artículos relacionados con dicho tema, empleando las bases de datos Scopus® y Web of Science© 2021 Clarivate, utilizadas en varios estudios bibliométricos publicados anteriormente; siguiendo las directrices de los elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA), que ilustra los resultados de las búsquedas bibliográficas y el proceso de selección de artículos. Para después proceder con la organización de la información recopilada que facilite su interpretación y análisis de datos haciendo uso de gráficos diseñados con el programa R Bibliometrix 3.0 software: Biblioshiny.

Las palabras clave utilizadas derivaron de sinónimos relacionados con las propiedades mecánicas en frutos y su respuesta fisiológica bajo compresión mecánica, cada palabra clave fue avalada en la página web de la biblioteca de ScienceDirect, la cual proporciona definiciones de conceptos y descripciones generales para temas de investigación.

Debido a que el tema de estudio en esta investigación ha sido poco indagado, para la búsqueda de artículos, no se usó el filtro “fecha de publicación”, logrando así recopilar artículos publicados hasta abril 2021. Los criterios de búsqueda con sus respectivos separadores booleanos fueron: Mechanical damage” OR “Mechanical properties” OR “Physicochemical properties” OR “Metabolism”) AND (“Anisotropy” OR “Compression load”) AND (“Fruit” OR “Maturity stage” OR “Respiratory rate. Dicho criterio de búsqueda fue utilizado para la recuperación de artículos en Scopus® y Web of Science© 2021 Clarivate, obteniendo resultados poco variables.

RESULTADOS

El resultado de la búsqueda de información a través de las diferentes fases de la revisión sistemática inicialmente identificó 29 artículos en Scopus® y 10 en Web of Science, teniendo un total de 39 resultados que al identificarlos por repetición dieron lugar a 29 artículos elegibles, de los cuales sólo 7 se incluyeron en los análisis cuantitativos.

Cuadro 1. Información general de los documentos incluidos en el análisis

Descripción	Resultados
Línea de tiempo	2013:2019
Fuentes (revistas)	7
Documentos	7
Promedio de años de publicación	4.71
Promedio de citas por documentos	8.714
Autores	32
Autores por documento	4.57

Fuente: Elaboración propia con datos de los documentos recuperados.

En el cuadro 1 se observa que los artículos científicos publicados sobre el tema abarcan desde 2013 hasta 2019, los siete documentos que se incluyeron en este análisis se publicaron en siete diferentes revistas científicas indizadas en Scopus. Es importante resaltar que un artículo científico referente a este tema se publica en promedio cada 5 años y a su vez estos son distribuidos en un total de 32 investigadores, resultando que por cada artículo científico participan en promedio 4 autores. Estos artículos mostraron una citación media por documento de aproximadamente 9 citas comprendidas en el periodo 2013-2019.

El mapa de la figura 2 muestra mediante colores la distribución de los países en donde se han publicado documentos de esta índole, y a manera de resaltar los países con respecto al mayor número de citas y documentos publicados, son representados de color más oscuro con relación a los que tienen menos citas o han publicado menor cantidad de documentos coloreándolos con franjas más tenues según su impacto (Van Eck & Waltman, 2020).

Country Scientific Production

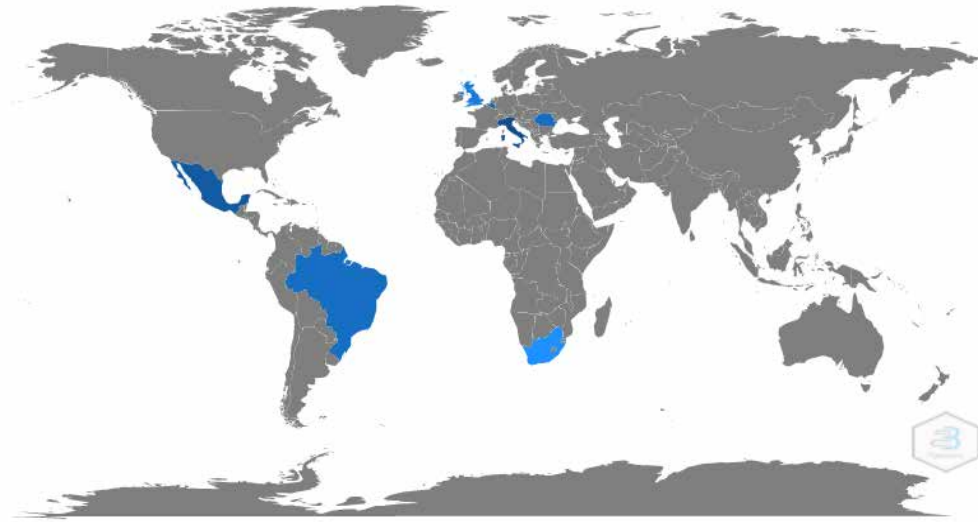


Figura 2. Mapa de la producción científica por país en el tema de las propiedades mecánicas en frutos (Herramienta de R, Bibliometrix: Biblioshiny, 2021).

El rango de citas obtenidas a partir de los 10 autores fue de 9 a 21, que han contribuido en este tema, ordenados de acuerdo con su índice H y el número de citas que han recibido. Con base en esta medición se observa que los autores principales en la investigación relacionada con la temática de las propiedades mecánicas del tejido de frutos en pruebas de compresión axial y la relación que estas guardan o no con el metabolismo son: Pérez López, A. y colaboradores con un índice H de 1 y 21 citas en total ligados a una publicación realizada en 2014 en *Journal of Food Engineering* (Cuadro 2). Este artículo habla de la anisotropía en frutos que son sometidos a fuerzas de compresión y hace hincapié a la importancia de conocer las propiedades físicas, fisiológicas y mecánicas de los frutos, para mejorar las prácticas postcosecha.

Cuadro 2. Principales autores y coautores relacionados con el índice H

Autores	H índice	Número de publicaciones	Número de citas	Año de Publicación
Pérez López A.	1	1	21	2014
Villaseñor Perea C.A.	1	1	21	2014
Espinosa Solares T.	1	1	21	2014
Hernández Gámez L.H.	1	1	21	2014
Lobato Calleros C.	1	1	21	2014
Chávez Franco S.H.	1	1	21	2014
Fadiji T.	1	1	16	2018
Opara U.L.	1	1	16	2018
Gaiotti F.	1	1	9	2013
Giacosa S.	1	1	9	2013

Fuente: Elaboración propia con datos de los documentos recuperados.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática de literatura con análisis bibliométrico es una metodología confiable y eficiente para realizar el análisis de la información científica que se genera a nivel mundial sobre una temática en específico. Además, la metodología PRISMA puede ser muy valiosa si se aplica de manera correcta y se establecen claramente las premisas de la investigación o revisión y análisis bibliográfico. Como se realizó en este estudio en donde existe una producción de artículos científicos, a nivel mundial, muy pobre con relación a la temática de las propiedades mecánicas en pruebas de compresión axial en frutos. La información encontrada da pauta para realizar un análisis más profundo para conocer el factor que está ocasionando esta baja producción científica en torno al tema.

Agradecimientos

Agradecemos al comité de proyectos convencionales de la DGIP (Dirección General de Investigación y Posgrado), de la Universidad Autónoma Chapingo por las subvenciones financieras de este estudio.

LITERATURA CITADA

- Everett, K. R., Hallett, I. C., Rees-George, J., Chynoweth, R. W., & Pak, H. A. (2008). Avocado lenticel damage: The cause and the effect on fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.008>
- García-Perdomo, H. A. (2015). Conceptos fundamentales de las revisiones sistemáticas/metaanálisis. *Urología Colombiana*, 24(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.uroco.2015.03.005>

- Herrera González, J. A., Venegas González, E., & Madrigal Huendo, L. (2017). Proporciones de daños mecánicos y su efecto en calidad poscosecha de aguacate 'Hass.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, 3897–3909. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153823005>
- Nishiyama, K., Guis, M., Rose, J. K. C., Kubo, Y., Bennett, K. A., Wangjin, L., Kato, K., Ushijima, K., Nakano, R., Inaba, A., Bouzayen, M., Latche, A., Pech, J. C., & Bennett, A. B. (2007). Ethylene regulation of fruit softening and cell wall disassembly in Charentais melon. *Journal of Experimental Botany*, 58(6), 1281–1290. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl283>
- Opara, U. L., & Pathare, P. B. (2014). Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce-A review. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.009>
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2020). VOSviewer Manual version 1.6.16. *Univeristeit Leiden*, November, 1–52. <https://www.vosviewer.com/download/f-33t2.pdf>

Capítulo XI

Regina Marín Cabrera¹, Artemio Pérez López^{2*},
Carlos Alberto Villaseñor Perea¹, Arturo López Mancera³

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA TÉRMICA EN UN ALAMBIQUE DE PRODUCCIÓN DE MEZCAL TIPO ARTESANAL

RESUMEN

Se elaboró el cálculo de transferencia de energía térmica en un alambique de cobre en el proceso de elaboración de mezcal tipo artesanal, con el objetivo de encontrar la energía necesaria para obtener la temperatura de saturación del fluido y la pérdida de calor en la etapa de condensación. Para la obtención de los parámetros de entrada se tomaron mediciones de temperatura en un equipo de destilación simple en el Sitio de Xitlapehua. Miahuatlán, Oaxaca. Se tomaron datos de temperatura en la montera del destilador, en la entrada del serpentín de enfriamiento, y en el estanque contenedor del agua de enfriamiento. Se obtuvo como resultado una temperatura superficial necesaria de 557.4 K para lograr un flujo pico de calor de 1,171.6 kW·m⁻². En el proceso de destilado se obtuvo una pérdida energética de 370.66 J·s⁻¹. En la condensación se obtuvo una pérdida energética de 95 207 J·s⁻¹ considerando una temperatura superficial del serpentín de 322.5 K. Durante la destilación se observó un mayor porcentaje de alcohol en el destilado inicial y ésta disminuyó gradualmente hasta en el destilado final. Se destaca que la temperatura juega un papel muy importante, ya que cuando se incrementa excesivamente, la concentración de alcohol tiende a bajar a causa de la evaporación de componentes indeseados. Por lo tanto, se recomienda implementar mecanismos de control en el equipo para tener cuidado la temperatura de alimentación.

Palabras clave: transferencia de calor, alambique, mezcal, condensador.

SUMMARY

The calculation of thermal energy transfer in a simple still was elaborated, to find the energy necessary to obtain the saturation temperature of the fluid and the loss necessary for condensation. To obtain

¹ Posgrado en Ingeniería agrícola y Uso Integral de Agua, Universidad Autónoma Chapingo, al20126194@chapingo.mx.

² Posgrado en Ciencias y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo, aperezl@chapingo.mx

³ Posgrado en Tecnología de Granos y Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

the input parameters, temperature measurements were taken in a simple distillation equipment at the Xitlapehua Oaxaca Site. The data taken were temperature in the hood of the still, temperature at the inlet of the cooling coil, and temperature in the tank containing the cooling water. The equations used were taken from the Heat and Mass Transfer book, obtaining a necessary surface temperature of 557.4 K to achieve a peak heat flux of $1,171.6 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. In the distillation process, an energy loss of $370.66 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ was obtained. In the condensation, an energy loss of $95\,207 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ was obtained, when taking a surface temperature of the coil of 322.5 K. Throughout the process, a higher percentage of alcohol was found at the beginning, and a poorer concentration at the end. It is highlighted that temperature plays a very important role since when the alcohol concentration is increased excessively it tends to drop due to the evaporation of unwanted components. Therefore, it is advisable to have a control in the feeding temperature.

Keywords: heat transfer, alembic, mezcal, condenser.

INTRODUCCIÓN

La destilación es un proceso que consiste en separar un fluido, elevando la temperatura hasta su punto de ebullición, para después condensarlo (Spaho, 2017; Treybal, n.d.). El punto de ebullición varía según el fluido, y esto va en función de la densidad, ya que fluidos menos densos tienen a evaporarse más fácilmente, aunque cuando se encuentran acompañados de otros componentes se pueden comportar de una manera distinta (Prado-Ramírez et al., 2005). La destilación se ha convertido en un proceso muy importante debido a que hace posible la obtención de diversos fluidos como bebidas embriagantes (coñac, tequila, vino, mezcal, etc.), combustibles, tratamiento de aguas y obtención de esencias (Cerón-Salazar, 2009; Prado-Ramírez et al., 2014; Sacher et al., 2013).

Los métodos de destilación son distintos según la bebida que se desea obtener ya que cada mezcla tiene requisitos únicos para el correcto destilado (Spaho, 2017). Para bebidas con un grado de alcohol mayor y de mayor pureza, se emplean equipos más sofisticados, pero de mayor costo, como destiladores de torre. Darıcı et al. (2018) implementaron triple destilación de torre para obtener alcohol al 75%, a partir de uvas. El proceso de obtención tardó un periodo de 26 a 36 horas. Un dato interesante que encontraron estos autores fue la disminución de la cantidad de ésteres, terpenos y aldehídos y fenoles volátiles de las fracciones intermedias, con el aumento de destilaciones.

Dentro de las bebidas embriagantes de México resalta el tequila y el mezcal por su denominación de origen (Carrillo-Trueba, 2007). Destacando por sus procesos artesanales la bebida virtuosa del mezcal (Durán-García, et al., 2007). Incluso la destilación es un proceso un tanto artesanal, pues la leña empleada para el proceso aporta un mejor aroma y sabor al producto final. Durante el proceso de destilación es significativo tener en cuenta dos procesos: evaporación y condensación, ya que ambos fenómenos juegan papeles muy importantes en el proceso y se debe tenerlos en cuenta por medio de un balance energético para una mejora en el proceso (Sacher et al., 2013), por lo que se propone la elaboración de un análisis de transferencia de calor durante el proceso en un palenque de mezcal. Esperando que los resultados arrojen varios aspectos importantes a tomar

en cuenta durante el proceso para la optimización del proceso, dentro de ellos el comportamiento de la temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El cálculo se realizó para un equipo ubicado en el Sitio de Xitlapehua, Oaxaca, que se encuentra a una latitud de $16^\circ 21' 3''$ Norte y longitud: $96^\circ 31' 58''$ Oeste, a una altura de 1570 msnm, y a una presión atmosférica de 83.8405 kPa.

Descripción del modelo

El modelo consta de un destilador simple de cobre en forma cilíndrica de 0.6 m de diámetro por 75 cm de altura, con un cilindro adyacente de 35.5 cm de diámetro, acoplado a un casquete polar de 10 cm de altura donde se forma el flujo de vapor (ver **Figura 2**) que conecta a una tubería de 2 in, con una longitud de 1.5 metros, desembocando el fluido a un plato del que parte un serpentín de 48 centímetros de 5 vueltas (**Figura 3**).

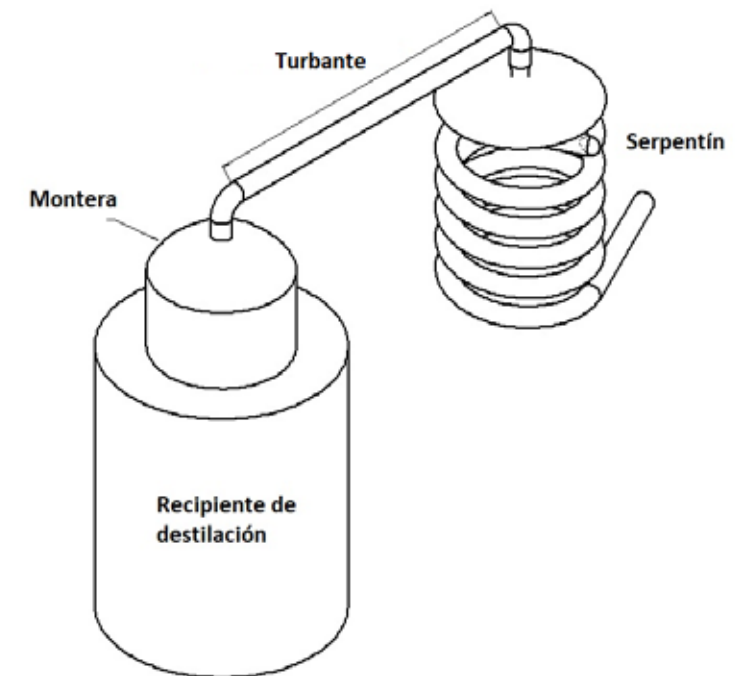


Figura 1. Geometría completa del destilador.



Figura 2. Geometría del destilador.



Figura 3. Geometría del sistema de enfriamiento del destilador.

Instrumentación

Se empleó un sensor infrarrojo Testo 835-H1 para tomar mediciones superficiales de temperatura, un densímetro para alcohol, y para mediciones de temperatura en la entrada del serpentín, se empleó un Data Logger Testo 175T3.

Cálculos matemáticos

El destilador es considerado un sistema donde se cumple el principio de conservación de la energía. Por lo tanto, un balance energético en el sistema se expresa de acuerdo con la ecuación (1):

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (1)$$

De tal forma que la entrada de energía se lleva a cabo durante el proceso de evaporación (ganancia energética) y la salida de energía se lleva a cabo durante la condensación (perdida de energía). A continuación, se analiza el sistema por separado, teniendo en cuenta las propiedades del agua como fluido de interés, con la finalidad de idealizar el modelo y hacerlo menos complejo.

Evaporación

La ebullición es el proceso mediante el cual un fluido líquido pasa a estado gaseoso. Esto sucede cuando el fluido entra en contacto con una temperatura que está por encima de su temperatura a punto de saturación. Este proceso comienza con la formación de burbujas de vapor que tienden a dirigirse hacia la superficie libre de líquido, y en este recorrido las burbujas de vapor transmiten el calor al fluido líquido (Cengel, 1996). Para llegar a este punto, es necesario que la mezcla llegue a su temperatura a punto de saturación y después se mantenga hasta obtener la destilación entera del producto. En este proceso la temperatura tiene que permanecer constante dentro y fuera del recipiente, pudiendo asumir el sistema como estacionario.

De acuerdo con la ecuación 2, se obtiene el flux máximo de calor que existe en el recipiente de destilado:

$$\dot{q}_{m\acute{a}x} = C_{cr} \cdot h_{fg} \cdot [g \cdot \rho_v \cdot (\rho_l - \rho_v)]^{\frac{1}{4}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2)$$

Donde: C_{cr} – Constante, adim., h_{fg} – Entalpia de vaporización, $J \cdot kg^{-1}$, g – aceleración gravitacional, $m \cdot s^{-2}$, ρ_l – densidad del líquido, $kg \cdot m^{-3}$, ρ_v – densidad del vapor, $kg \cdot m^{-3}$.

Después de haber obtenido el flujo máximo de calor, se obtiene la temperatura superficial necesaria para obtener dicha energía (Ecuación 5), despejándola de la relación de Rohsenow (Ecuación 3).

$$\dot{q}_{nucleada} = \mu_1 h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{c_{pl}(T_s - T_{sat})}{C_{sf} h_{fg} Pr_l^n} \right]^3 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3)$$

$$\text{Si} \quad (4)$$

$$\dot{q}_{nucleada} \sim \dot{q}_{m\acute{a}x}$$

$$t_s = \left(\frac{\dot{q}_{m\acute{a}x}}{\mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot C_{sf} h_{fg} Pr_l^n + t_{sat} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (5)$$

Donde: μ_l – viscosidad del líquido, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, h_{fg} – Entalpia de vaporización, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, g – aceleración gravitacional, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, ρ_l – densidad del líquido, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, ρ_v – densidad del vapor, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, σ – tensión superficial de la interfase liquido-vapor, $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$, C_{pl} – calor específico del líquido, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, T_s – temperatura superficial del calentador, K , T_{sat} – temperatura de saturación del fluido, K , C_{sf} – constante experimental dependiente de la combinación superficie-fluido, Pr_l – número de Prandtl del líquido, n – constante experimental que depende del fluido.

Tabla 1. Propiedades termo-físicas del agua en condiciones de saturación.

$\mu_l = 0.297 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	$\rho_v = 0.5045 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$T_{sat} = 368.15 \text{ K}$
$h_{fg} = 2270000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\sigma = 0.06 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$	$C_{sf} = 0.130$
$g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$C_{pl} = 4212 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$Pr_l = 1.85$
$\rho_l = 961.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$		$n = 1$

Tomado de: Tabla A-9 (Cengel, 1996).

Durante la evaporación es necesario que la energía suministrada sea equivalente al flujo pico de calor, sin embargo, para que esto suceda el sistema tiene que permanecer estable en cuanto a pérdidas y ganancias energéticas. Se estipula que la pérdida energética en este proceso está dada por medio de la ley de Fourier (ecuación 6), la cual está en función de la resistencia opositora en el transcurso del recorrido de esta.

$$r_t = \frac{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi \cdot h \cdot k_{cu}} + \frac{\ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)}{2\pi \cdot h \cdot k_{aislante}} \quad (6)$$

Donde: r_t – sumatoria de las resistencias de transferencia de calor, r_1, r_2, r_3 – radio 1, 2 y 3 (Ver **Figura 4**), h – altura del recipiente, m , k_{cu} – conductividad térmica del cobre, $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $k_{aislante}$ – conductividad térmica del ladrillo, $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Y la pérdida energética está dada por la ecuación 7. (7)

$$Q = \frac{T_i - T_a}{r_t}$$

Donde: Q – calor transferido por el recipiente, W , T_i – temperatura del interior del recipiente, K , T_a – temperatura del ambiente, K .

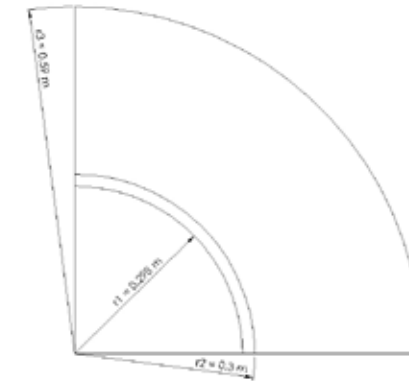


Figura 4. Sección del recipiente de destilado.

Condensación

La condensación se estudia el intercambio de calor en el serpentín. Anteriormente ya se ha descrito esta parte del sistema así que no se retomará de nuevo, aunque es importante recordar la geometría, así como sus medidas y materiales de construcción pues de ello dependerá la transferencia de calor. Cabe recalcar que la transferencia de energía circula del medio que tiene la temperatura mayor hacia el cuerpo de menor temperatura y la transferencia se detendrá cuando ambos cuerpos lleguen a un equilibrio (Cengel, 1996).

Al obtener la evaporación, el vapor obtenido es conducido por medio de un ducto hacia el sistema de enfriamiento. El vapor tenderá a condensarse gracias a la formación de una película sobre la superficie (serpentín), donde se realizará la transferencia de calor hasta llegar a una temperatura por debajo de la temperatura a punto de saturación del vapor. En este punto comenzará la formación de película en la parte superior del serpentín y a medida que transcurra el tiempo, el fluido tenderá a bajar gracias a la gravedad. En el proceso de la condensación, el fluido tiene una pérdida de energía, también conocido como calor latente de vaporización h_{fg} , y este es transferido hacia la superficie más próxima, la cual será absorbida por el agua de enfriamiento, la cual tiene que estar a una temperatura menor para que el proceso pueda realizarse.

La transferencia de energía se calcula con la ecuación 8.

$$\dot{Q} = h \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot l) \cdot (T_{sat} - T_s) \quad (8)$$

Donde: \dot{Q} – razón de transferencia de calor, W, h – coeficiente de transferencia, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, r – radio, m, l – longitud de la tubería, m, T_{sat} – temperatura a punto de saturación, K, T_s – temperatura de la superficie.

Donde el coeficiente de transferencia de calor se calcula se puede estimar con la ecuación 9.

$$h = 0.555 \left[\frac{g \cdot \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3}{\mu_l (T_{sat} - T_s)} \left(h_{fg} + \frac{3}{8} Cpl (T_{sat} - T_s) \right) \right]^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

Donde: g – gravedad, $m \cdot s^{-2}$, ρ_l – densidad del fluido líquido, $kg \cdot m^{-3}$, ρ_v – densidad del fluido vapor, $kg \cdot m^{-3}$, μ_l – viscosidad cinemática del fluido líquido, $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$, T_{sat} – temperatura a punto de saturación, K, T_s – temperatura de la superficie, K, h_{fg} – entalpía de vaporización, $kJ \cdot kg^{-1}$, Cpl – calor específico, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la obtención del resultado de las ecuaciones, fue necesario realizar una primera etapa de mediciones de tres repeticiones, en la que se monitoreo la temperatura de la montera, así como el interior del serpentín (al inicio), y la temperatura del agua del sistema de enfriamiento. En la **Figura 5** se plasma el comportamiento de la temperatura en la montera a lo largo de la destilación en cada proceso de destilación medido.

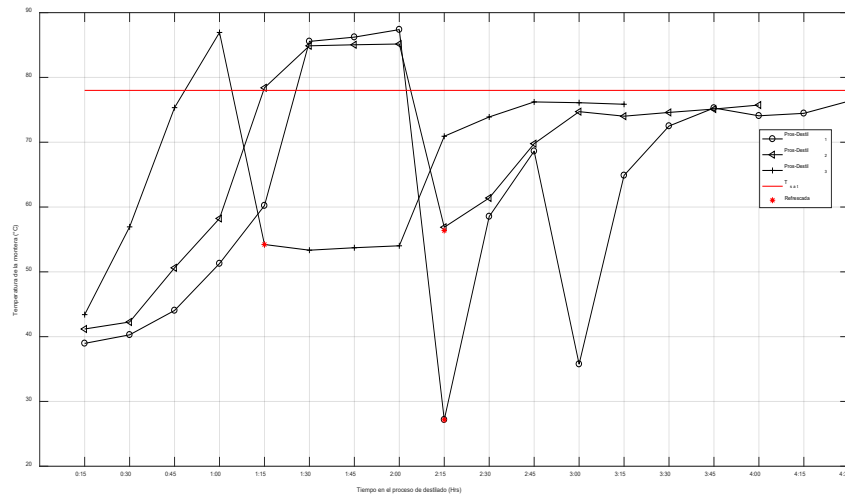


Figura 5. Comportamiento de la temperatura en la montera.

Como se puede observar en la **Figura 5**, la temperatura inicial parte alrededor de los 40 °C, ya que se ha guardado temperatura del anterior proceso. Después se nota un incremento en la temperatura hasta oscilar entre 80 °C y 90 °C (inicia la destilación) y se mantiene constante por un breve lapso. Después se observa una caída de temperatura debido a que cuando la temperatura supera el punto de saturación del fluido de interés, otros fluidos comienzan a destilarse, lo que disminuye la concentración de alcohol. Por ello se realiza un proceso llamado “refrescada” que consiste en enfriar la montera, de tal forma que los fluidos de mayor densidad tenderán a bajar y los fluidos más ligeros (alcohol etílico) seguirán evaporándose. Aunque puede dejar de hacerlo, si la temperatura baja del punto de saturación del fluido a destilar.

Y en la **Figura 6** se plasma el comportamiento de los 3 tipos de mediciones del sistema durante la destilación.

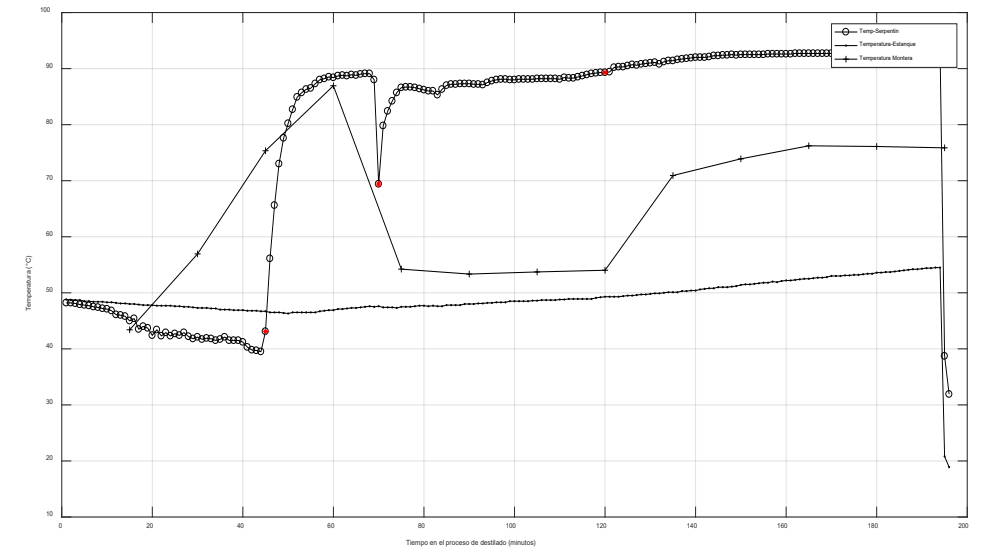


Figura 6. Comportamiento de la temperatura en los tres puntos de mediciones (montera, serpentín y estanque de enfriamiento).

En la **Figura 6** se puede observar que la temperatura dentro del serpentín ronda de 85 °C a 95 °C, y la temperatura del agua de enfriamiento va de 47 °C a 55°C.

Porcentaje de alcohol

El porcentaje de alcohol del mezcal vario a lo largo del proceso, siendo más alto al inicio de la destilación. La toma de mediciones fue al azar y se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Comportamiento del alcohol a lo largo del tiempo en cada proceso.

Primera destilación		Segunda destilación		Tercera destilación	
Tiempo (min)	Cont. alcohol (%)	Tiempo (min)	Cont. alcohol (%)	Tiempo (min)	Cont. alcohol (%)
00	60	00	59	00	52.5
15	45	30	46	15	41
30	38	45	41.5	30	57
45	47	60	46	45	50
60	38	80	37.5	60	44
120	18	120	19.5	75	37.5
150	13	150	13	90	19.3
175	8			105	12.5
				120	12
				135	8.5
				150	7.5
Mezcal			Colas		

Como se puede observar en la **Tabla 2**, el tiempo promedio del proceso es de 2.5 horas, sin embargo, no todo el fluido es aprovechable. Una medida de separación entre el mezcal y las colas es el contenido de alcohol, aunque también interfiere el contenido de otras sustancias.

Evaporación

Se resolvieron las ecuaciones correspondientes y se obtuvo un flujo pico de calor de $1,171.6 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ necesario para alcanzar la temperatura a punto de saturación del fluido y comenzar a destilar. Fijando la temperatura a punto de saturación del fluido en 368.15 K , la temperatura de superficie necesaria para alcanzar dicha temperatura interna resultó en 557.4 K . Sin embargo, durante este proceso la pérdida energética que tiene el recipiente es de 370.66 W .

Condensación

Para la condensación se empleó algo distinto, ya que involucra un fluido en continuo movimiento (vapor). Para el cálculo de la transferencia de energía, es necesario obtener el número de Reynolds, para determinan el tipo de fluido. El fluido interno se caracterizó como flujo laminar con un coeficiente de 1.93 . Con dicho dato, se eligió la ecuación 9, para condensación en película dentro de tubos horizontales. El coeficiente de transferencia obtenido fue de $2\,638.5 \text{ W}$ y la transferencia de energía dio como resultado $95\,207 \text{ W}$.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron mediciones de temperatura dentro del serpentín, así como en la montera y en el agua de enfriamiento. Gracias a dichas mediciones se realizó el cálculo de transferencia de energía en un destilador simple de aproximadamente 200 litros de capacidad, obteniendo una temperatura superficial necesaria de 557.4 K para lograr un flujo pico de calor de $1,171.6 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. En el proceso

de destilado se obtuvo una pérdida energética de $370.66 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$ en el recipiente que almacena el tepache, dicha energía tiene que ser suministrada por la fuente de calor para que el proceso no se vea interrumpido, sin embargo, no se debe exceder pues resultaría contraproducente, en el sentido de que se comenzarían a destilar fluidos indeseados.

Gracias a las mediciones de los grados de alcohol a lo largo del proceso se encontró un mayor porcentaje al inicio, y una concentración más pobre al final, cabe destacar que la temperatura juega un papel muy importante ya que cuando se incrementa exageradamente, la concentración de alcohol tiende a bajar por la razón de que se evapora una gran cantidad de agua y otros componentes, lo que aminora su contenido. Por lo que se aconseja tener un control en la temperatura de alimentación.

Por otra parte, el sistema de enfriamiento tiene una pérdida de energía de $95\,207 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$, cuando el agua de enfriamiento tiene una temperatura de $49 \text{ }^\circ\text{C}$, sin embargo, la transferencia de energía cambia cuando esta se modifica.

LITERATURA CITADA

- Carrillo-Trueba, L.-A. (2007). Los destilados de agave en México y su denominación de origen. *Ciencias*, 87, 41–49.
- Cengel, Y. A. (1996). *Transferencia de calor y masa. Un enfoque practico*. (M. G. Hill, Ed.), *Biotechnology Letters* (Tercera ed, Vol. 18). 2007. <https://doi.org/10.1007/BF00129346>
- Cerón-Salazar, I.-X. (2009). Separación De Metabolitos De Los Aceites Esenciales De Eucalipto Y Cidrón Por Destilación Molecular, 1–133. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/2869/>
- Darıcı, M., Bergama, D., & Cabaroğlu, T. (2018). Effect of triple pot still distillation on the volatile compositions during the Rakı production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(6), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13864>
- Durán-García, H. M., González-Galván, E. J., & Matadamas-Ortiz, P. (2007). Mechanization process in the production of mezcal. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5(3–4), 32–35.
- Padro-Ramírez, R. (2014). Tequila and mezcal distillation technology : Similarities and differences. *Sustainable and Integral Exploitation of Agave*.
- Prado-Ramírez, R., Gonzáles-Alvarez, V., Pelayo-Ortiz, C., Norberto Casillas, Estarrón, M., & Gómez-Hernández, H.-E. (2005). The role of distillation on the quality of tequila. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(7), 701–708. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00983.x>
- Sacher, J., García-Llobodanin, L., López, F., Segura, H., & Pérez-Correa, J. R. (2013). Dynamic

modeling and simulation of an alembic pear wine distillation. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 447–456. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.04.001>

Spaho, N. (2017). Distillation Techniques in the Friu. In *Destillation Innovative Applications and Modeling* (Vol. Chapter 6, p. 24).

Treybal, R. E. (n.d.). Operaciones de transferencia de masa.

Consejo Arbitral	
Dr. En C. Ernesto Bravo Benitez Instituto de Investigaciones Económicas UNAM	Dr. Roberto Arpi Mayta Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú
Dra. Martha Marivel Mendoza Ontiveros Universidad Autónoma del Estado de México	Dr. Edmar Salinas Callejas UAM-Azcapotzalco
PhD Miguel Ángel Martínez Damián Colegio de Postgraduados	Dr. Samuel Rebollar Rebollar Universidad Autónoma del Estado de México
Dra. Ma. Teresa Pérez Soto Universidad Autónoma de Morelos	PhD Lorenzo Irineo López Cruz Universidad Autónoma Chapingo
Dr. Jorge Cortés Carreño Universidad Autónoma Chapingo	Dra. Laura Elena Garza Bueno Colegio de Postgraduados
PhD Pablo Emilio Escamilla García Instituto Politécnico Nacional	

FACTORES PRODUCTIVOS EN LA
AGRICULTURA MEXICANA

se publicó en agosto de 2022

Para su composición se emplearon las fuentes

Times New Roman

Franklin Gothic Medium Cond

Diseño editorial: linkverde2004@yahoo.com.mx

El cuidado de la edición estuvo a cargo
de Francisco Pérez Soto