



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE GEOGRAFÍA

MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y  
GEOINFORMÁTICA

---

Análisis espacial de sitios potenciales para el establecimiento de *Jatropha curcas* L. como productor de Biodiesel en el Estado de México.

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**Maestro en Análisis Espacial y Geoinformática**

PRESENTA

**Erika Fabiola Hernández Hernández**

Tutor Académico:

Dr. Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo

Tutores adjuntos:

Dra. Clarita Rodríguez Soto

Dr. Juan Campos Alanís

Toluca, Estado de México

Febrero, 2018



2.2. Orografía.....	40
2.3. Fisiografía.....	41
2.4. Edafología .....	42
	2.5. Clima 43
2.6. Vegetación .....	44
2.7. Uso de suelo.....	45
<b>CAPÍTULO 3. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>47</b>
3.1. Material vegetal .....	47
3.2. Material de escritorio.....	47
3.3. Etapas Metodológicas .....	47
3.3.1. Etapa metodológica 1. Identificación de Zonas Potenciales.....	48
3.3.1.1 Bases de datos de la especie.....	48
3.3.1.2. Base de datos climática.....	49
3.3.1.3. Fraccionamiento de datos.....	49
3.3.1.4. Delimitación del área de modelado.....	50
3.3.1.5. Elaboración del modelo MaxEnt .....	51
3.3.1.6. Evaluación del modelo.....	51
3.3.1.7. Determinación de la contribución de las variables.....	53
3.3.2. Etapa Metodológica 2. Análisis Socioeconómico .....	54
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>55</b>
4.1. Identificación de Zonas Potenciales .....	55
4.1.1. Distribución de la especie .....	55
4.1.2. Variables seleccionadas para generar el modelo .....	57
4.1.3. Matriz de correlación.....	57
4.1.4. Modelo de distribución potencial .....	60
4.1.5. Rendimiento del modelo .....	63
4.1.6. Análisis de la contribución de las variables.....	64
4.2. Estudio Socioeconómico.....	67
4.2.1. Delimitación de la zona de estudio .....	67
4.2.2. Características de los municipios de Luvianos y Tejupilco.....	69
4.2.2.1. Uso de suelo .....	70
4.2.2.2. Caracterización social económica y demográfica.....	73

4.2.2.3. Nivel de escolaridad.....	75
4.2.2.4. Marginación .....	77
4.2.2.5. Población económicamente activa.....	78
4.2.2.6. Población económicamente inactiva.....	80
4.2.2.7. Pobreza y desigualdad social.....	83
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>90</b>

## INTRODUCCIÓN

México es reconocido como uno de los 17 países megadiversos por ser centro de origen de una diversidad de cultivos importantes para la Agricultura y la Alimentación a nivel mundial, como es el caso del piñón (*Jatropha curcas* L.). Esta planta es un miembro de la familia Euphorbiceae que se localiza en climas tropicales y semitropicales, aunque tiene un rango de adaptación muy amplio, originaria de América central y México, fue trasladada a otros lugares del mundo durante épocas de la colonia y donde le fueron encontrados diversos usos. (Mittermeier y Goettsch, 1997; SAGARPA, 2006).

En la actualidad, el aceite de semillas está siendo usado para la producción de biodiesel (Chang et al. ,1996; Karmee et al., 2004; Haveren et al., 2008) Sin embargo, *Jatropha curcas* L. es una planta que tiene mayor potencial como materia prima debido a pueden tolerar condiciones ambientales de sequía, lo que nos da la posibilidad de cultivarla en grandes extensiones de tierra marginal y esto reduciría la competencia con cultivos de uso alimentario, adicionalmente es un cultivo que ayuda a la restauración de suelos aportando materia orgánica, secuestro de carbono y servicios ambientales locales (Robertson et al., 2008; Tilman et al.,2006; 2009).

La contaminación ambiental es una de las causas del calentamiento global y por ende del cambio climático, las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO, CH<sub>4</sub> y otros gases han sido los responsables de este deterioro ambiental; así mismo la deforestación de nuestros bosques y selvas. Por otro lado, la disminución de nuestras reservas de petróleo pronosticadas para nueve años, y el incremento del precio internacional del crudo, ha provocado un estado de alerta mundial. De acuerdo al último estudio de la Secretaría de Energía, la producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en el mediano plazo de realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrario y agroindustrial, así como un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico (Martínez, 2007).

El modelado de nicho ecológico (MNE) es una herramienta que sirve para realizar una evaluación de la distribución espacial de especies, es un método adecuado y actualmente es el mejor método comprobado que existe para estimar la distribución geográfica real y potencial de las especies (Guisan y Thuiller, 2005). Este enfoque se utiliza cada vez más en la toma de decisiones en materia de conservación, restauración y contaminación ambiental (Pearce y Lindenmayer, 1998; Ferrier, 2002).

## **Planteamiento del Problema**

El consumo de energías convencionales provenientes de fósiles, tienen un impacto antrópico sobre el medio, por lo tanto puede argumentarse que estas, originan algunos de los más grandes problemas ambientales que sufre el planeta, tales como la lluvia ácida, derretimiento de los polos árticos a consecuencia del cambio climático, entre otros.

México se encuentra entre los primeros 10 lugares como país contaminante del planeta, ya que emite el 1.67% de las emisiones totales mundial de gases con efecto invernadero, provenientes principalmente del sector energético. Aunado al agotamiento de las reservas petrolíferas nacionales y la apertura internacional del mercado de combustibles fósiles en México, nos conlleva a una demanda energética dependiente y a la fluctuación del costo del combustible fósil.

Lo anterior refleja la necesidad de ampliar las fuentes de energía como lo son las energías renovables tales como: mareomotriz, hidráulica, eólica, solar y de biomasa.

## **Justificación**

La necesidad del cambio de paradigma hacia la utilización de energías renovables cada día es más evidente, sin embargo la obtenida a través de biomasa puede ser utilizada con fines energéticos y por lo tanto una alternativa viable para la reducción de contaminantes.

La *Jatropha curcas* L. es una planta no tóxica perenne, resistente a la sequía, se desarrolla bien en suelos de escasa fertilidad. El aceite de las semillas de esta planta sirve para elaborar Biodiesel que puede utilizarse en motores Diesel, y el subproducto de la extracción del aceite puede usarse como fertilizante orgánico.

En México, por sus características climáticas, la siembra y producción puede realizarse de forma continua, de tal forma que se pueda abastecer una planta de producción de biodiesel, durante gran parte del año, ya que pueden aprovecharse tanto los ambientes tropicales, como las zonas de clima templado, no obstante Achten (2008) y Behera et al., (2010) han reportado una amplia variación en los rendimientos de la planta.

Actualmente existen dos estudios realizados de zonificación para *Jatropha curcas* L. , en el primero reportan una superficie de 3.2 millones de hectáreas con potencial medio y 0.57 millones de hectáreas con alto potencial, para ello se utilizó una escala cartográfica de 1:200 500 000 (Ghilardí et al., 2008). El segundo trabajo fue realizado por Zamarripa y Díaz (2008) a una escala de 1:250 000 reportando una superficie de seis millones de hectáreas con alto y medio potencial. Empero aunque existe información sobre la presencia de la

planta en el Estado de México no se han encontrado trabajos realizados acerca de la producción de la planta con fines energéticos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar los sitios potenciales para el establecimiento de *Jatropha curcas L.* con fines de producción de biodiesel en el Estado de México.

### **Objetivos específicos**

1. Modelar la distribución potencial de la especie para identificar las zonas potenciales para la producción de biodiesel con *Jatropha curcas L.*
2. Caracterizar las zonas identificadas como potenciales, para conocer sus características bióticas y abióticas
3. Analizar aspectos sociales y económicos para conocer la factibilidad para la introducción de la especie.

## CAPÍTULO 1. MARCO LEGAL Y TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes de los biocombustibles

#### 1.1.1. Situación de la *Jatropha curcas* L. como productor de Biodiesel

El cultivo de plantas para la elaboración de biocombustibles se viene desarrollando como una opción para suplementar las necesidades energéticas de los países de la región mesoamericana. Entre las diversas fuentes de materia se encuentra la *Jatropha curcas* L., este arbusto oleaginoso recibe cada vez más atención debido a sus posibles usos múltiples y a su aparente tolerancia a condiciones ambientales desfavorables.

#### 1.1.2. Perspectivas en Mesoamérica

El interés por el cultivo de *Jatropha curcas* L. es evidente a nivel mundial, sin embargo, todavía es necesario que se desarrollen marcos regulatorios y cadenas productivas para afianzar la actividad. La mayoría de los proyectos identificados no sobrepasan los tres años de edad y son de pequeña escala. Se necesita mayor difusión de datos de campo para comprobar si las predicciones de rendimientos a largo plazo podrían ser alcanzables. Deben además atenderse las necesidades de selección de variedades productivas y el desarrollo de paquetes tecnológicos apropiados para las condiciones de cada país.

A continuación se presenta la situación y postura actual de cada país en Mesoamérica con respecto a la especie.

País	Situación
<b>México</b>	En febrero de 2008, el gobierno mexicano aprobó una ley para promover y desarrollar los biocombustibles sin competir con la producción alimentaria (GEXSI 2008). Según mapas preliminares de la Red Mexicana de Bioenergía, existen 5 millones de hectáreas con potencial para la producción de <i>Jatropha curcas</i> L. distribuidas principalmente a lo largo de la costa Pacífica (Sinaloa y Michoacán), el sur del país (Chiapas) y Yucatán (Aguillón 2008). México tiene entre 3070 y 6500 ha plantadas con <i>Jatropha curcas</i> L. (GEXSI 2008). Los gobiernos de los estados de Chiapas, Sinaloa y Michoacán son importantes actores en la promoción de la especie, por ejemplo, en Chiapas el gobierno del estado tiene como meta plantar 30.000 ha anuales hasta el 2024; en 2008 la meta fue de 20.000 ha (Arellanes 2008). De manera similar, el estado de Michoacán pretende sembrar 120.000 ha hasta el año 2015 (GEXSI 2008). En

Sinaloa, la Fundación Produce Sinaloa estableció una plantación piloto y está conduciendo estudios de factibilidad para establecer una planta de procesamiento de biodiesel en la región (GEXSI 2008). Varias empresas privadas contemplan proyectos en Michoacán, Guerrero, Chiapas, Oaxaca, Yucatán y Veracruz. Existen además iniciativas locales de universidades y ONG en diversas partes del país.

#### **Belice**

El gobierno reconoce la importancia de fuentes renovables de energía, pero no existe legislación que regule la comercialización del aceite derivado de *Jatropha curcas L.* (GEXSI 2008). El trabajo con *Jatropha curcas L.* se inició a partir de 1995, bajo coordinación de la Fundación JANUS (Euler y Gorriz 2004), la cual estableció *Jatropha curcas L.* en sistemas agroforestales y exploró sus posibilidades en la recuperación de tierras degradadas. Actualmente, la Tropical Studies & Development Foundation ejecuta un proyecto de investigación para evaluar el efecto de diferentes tratamientos de irrigación, podas, densidades de siembra y mejoras al suelo sobre el crecimiento de *Jatropha curcas L.* en el Distrito Cayo (centro-oeste del país). En el mismo distrito, la compañía Technology Alternatives, Ltd. tiene 81 ha sembradas de *Jatropha curcas L.* Las comunidades menonitas en el norte del país y una compañía en el Distrito Stann Creek (centro-este del país) también están desarrollando proyectos de siembra de *Jatropha curcas L.* No se pudo obtener más detalles respecto de estos dos últimos actores.

#### **Costa Rica**

En el país se viene implementando el Plan Nacional de Biocombustibles, el cual contempla el fomento de etanol y biodiesel como fuentes complementarias para la generación energética. A pesar de este marco formal, no se cuenta aún con la materia prima necesaria ni hay claridad en cuanto a la implementación del plan, lo cual genera mucha incertidumbre en los productores e inversionistas. Se percibe mucho interés en la siembra de *Jatropha curcas L.* para producir biocombustibles. Se identificaron cerca de 45 actores involucrados en el desarrollo del cultivo en el país. Estos actores, en su mayoría, son pequeños productores y cooperativas agrícolas, aunque también hay empresas comerciales con capital privado. Existen aproximadamente 1250 ha de plantaciones de *Jatropha curcas L.* en Costa Rica. Las regiones principales donde se siembra la especie son el Pacífico Norte (310 ha), el Pacífico Central (120 ha) y la Zona Sur (330 ha); el resto son plantaciones pequeñas y desperdigadas. Las plantaciones documentadas no sobrepasan los tres años de edad. Desde el año 2006, el Banco de Semillas Forestales del CATIE viene trabajando en el mejoramiento genético de la especie, así como en la determinación de técnicas óptimas para el manejo agronómico y la cosecha del cultivo

#### **El Salvador**

El país no tiene una legislación formal que regule la producción y uso de biocombustibles (Pérez Mejía 2008), aunque existen iniciativas gubernamentales para la promoción de energías alternativas, entre las cuales se encuentra el biodiesel (Pérez Mejía y Ramírez Monterrosa 2008). El área total de plantaciones de *Jatropha curcas L.* en El Salvador oscila entre 155 y 405 ha (Pérez Mejía 2008). Se identificaron plantaciones en 11 de los 14 departamentos del país y una docena de actores involucrados en la investigación o el cultivo de *Jatropha curcas L.* Ninguna de las plantaciones documentadas sobrepasa los tres años de edad. Entre los actores se destacan el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), la

---

Asociación Nacional de Trabajadores Agropecuarios y Productores del Programa de Transferencia de Tierras (ANTRAPETT) y la Fundación Empresa y Desarrollo.

**Guatemala** En la actualidad hay un Comité Nacional de Biocombustibles conformado por los Ministros de Agricultura, Ambiente, Economía, y Energía y Minas, el cual trabaja en la elaboración de una estrategia para el desarrollo de los biocombustibles en el país (Marengo 2007). Según un estudio del Ministerio de Agricultura de Guatemala, en el país hay unas 620.000 ha aptas para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (GEXSI 2008), pero el área total plantada no excede las 800 ha, de las cuales 700 ha pertenecen a Biocombustibles de Guatemala. *Jatropha curcas L.* se sembró inicialmente en el norte del país -en El Petén; sin embargo, las condiciones climáticas más favorables para la especie se encuentran en el sur. Actualmente hay plantaciones en los departamentos de Santa Rosa, Suchitepéquez y Retalhuleu. Los principales actores identificados son Biocombustibles de Guatemala y Technoserve.

**Honduras** La “Ley para la producción y consumo de biocombustibles” (Decreto No. 144-2007) regula y fomenta todo lo relativo a los biocombustibles en el país. La ley además declara de “interés nacional la investigación, producción y uso de biocombustibles para generar empleo, incrementar la autosuficiencia energética y contribuir a disminuir la contaminación ambiental, local y global.” (Gobierno de Honduras 2007). Las zonas con mayor potencial para el desarrollo de este cultivo se encuentran en el sur y oeste del país (departamentos de La Paz, Choluteca, Valle, Intibucá, Ocotepeque, Santa Bárbara y El Paraíso). Sin embargo, en los departamentos de Yoro en el norte, Olancho en el este y Comayagua en el centro del país también hay potencial documentado (Alfonso 2008). Actualmente hay 1650 ha de *Jatropha curcas L.* plantadas en el país, aunque el total podría llegar a 2500 – 3000 ha, sin contar con lo sembrado en cercas vivas. Entre los actores más importantes en la producción de *Jatropha curcas L.* se encuentran Agroindustria el Piñón, S.A. (AGROIPSA) y el Proyecto Gota Verde. AGROIPSA, una iniciativa comercial, ha plantado 1300 ha de *Jatropha curcas L.* cerca de Choluteca. El proyecto Gota Verde es una iniciativa conjunta entre la Fundación para el Desarrollo Empresarial Rural (FUNDER), la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) y nueve instituciones europeas. El proyecto inició en el 2006 y abarca seis municipios en el departamento de Yoro, donde se espera involucrar al menos a 250 productores agrícolas. El objetivo principal del proyecto es demostrar que la producción de biocombustibles a pequeña escala y su uso local es una actividad económica técnicamente viable y ambientalmente sostenible. El proyecto contempla el desarrollo de todas las etapas de producción de *Jatropha curcas L.* con participación activa de productores locales. Otros actores en Honduras son la Corporación Dinant, el SNV (Servicio de Cooperación Holandés para el Desarrollo) y el DED (Servicio Alemán de Cooperación Social y Técnica).

**Nicaragua** En Nicaragua, la Ley No. 532 para la promoción de la generación eléctrica con fuentes renovables y el Decreto Ejecutivo No. 42-2006 declaran de interés nacional la producción de biocombustibles y bioenergía. El Ministerio de Energía actualmente coordina acciones relacionadas con bioenergía junto con el Ministerio de Agricultura y Forestal, el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Instituto Interamericano de

Cooperación para la Agricultura (IICA-Nicaragua) y el SNV15. A pesar de este marco legal e institucional, el país necesita un margo regulatorio más desarrollado para asegurar el éxito de la producción y comercialización del biodiesel (Van der Veen 2008). Nicaragua fue uno de los primeros países de la región en intentar implementar el cultivo de *Jatropha curcas L.* a gran escala. En 1990, se inició el Proyecto Tempate en el Departamento de León. El objetivo principal era el establecimiento de 1000 ha de *Jatropha curcas L.* para la producción de biodiesel y, de manera complementaria, generar empleos para la población rural, reforestar y recuperar tierras degradadas y realizar un fuerte programa de investigación sobre la producción de *Jatropha curcas L.* (GEXSI 2008). Aunque se cumplieron los objetivos de investigación agrícola y desarrollo industrial, el proyecto fue abandonado en 1999 (GEXSI 2008, Euler y Gorriz 2004, Valle Dávila et ál. 1999). Hay 740.000 ha aptas para desarrollar el cultivo en el Pacífico del país (Pérez Mejía y Ramírez Monterrosa 2008). Se identificaron cerca de una docena de individuos o instituciones con interés en la *Jatropha curcas L.* Entre ellos se destacan el Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos (PROCITROPICOS) del IICA, el SNV y el DED. Este último trabaja en coordinación con la Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos (UNAG) y la Cooperativa de Importación y Exportación Nicaragüense del Campo R.L. Mediante esta iniciativa se están desarrollando diversos ensayos de adaptabilidad y manejo en los departamentos de León y Chinandega

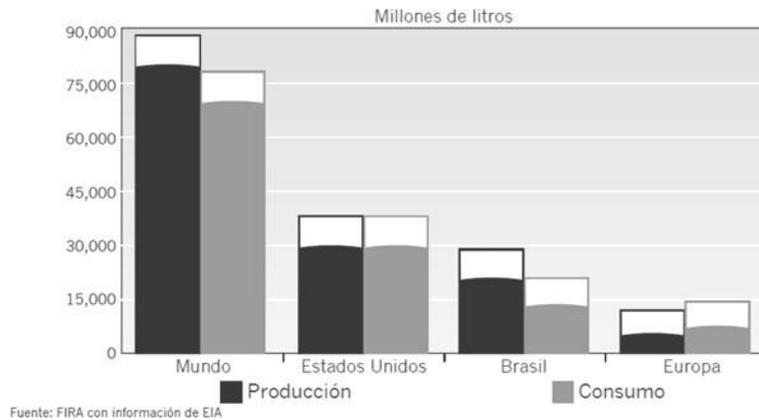
#### **Panamá**

No se encontró legislación que regule explícitamente la producción de biocombustibles en el país. Panamá es el país donde hay un menor desarrollo del cultivo de *Jatropha curcas L.* en toda la región. Se identificaron tres empresas extranjeras, dos organizaciones internacionales (FAO y USAID) y una institución nacional (Autoridad Nacional del Ambiente – ANAM) interesadas en desarrollar el cultivo. Sin embargo, no se pudo documentar la existencia de plantaciones de *Jatropha curcas L.* en el país. La ANAM iniciará un proyecto para la restauración de tierras degradadas y la generación de biocombustibles y otras energías renovables este año; entre las fuentes consideradas estaría la *Jatropha curcas L. curcas L.*

**Tabla 1.** Perspectiva mundial de la situación de *Jatropha curcas L.*, cómo productor de biodiésel.

- Perspectiva mundial de los biocombustibles

En 2008 se produjeron 87,637 millones de litros de biocombustibles líquidos en el mundo (80% etanol y 20% biodiesel). Los regiones líderes en la producción de biocombustibles fueron Estados Unidos con el 43.0% del total, Brasil 23.5% y Europa 14.2%.<sup>5</sup> (**Figura 1**)



**Figura 1. Producción y consumo de Biocombustibles en E.U.A, Brasil y Europa**

En el año 2008 se importaron 2.5 millones de toneladas y se exportaron menos de un millón. Lo anterior, confirma que Europa es deficitaria en la producción de biocombustibles e importa más del 50% del consumo en el continente.

El precio del biodiesel ha mostrado estar fuertemente relacionado con el precio del aceite de colza. El precio de este combustible tuvo como valor máximo 178 centavos de dólar por litro el día 20 de junio del 2008 y como valor mínimo 95 centavos de dólar por litro el día 15 de junio del año 2007. El último precio reportado es de 115 centavos de dólar por litro en agosto del 2015.

### 1.1.3 Perspectiva nacional del biocombustible

En México, 2'614,465 hectáreas tienen un alto potencial para la producción de *Jatropha curcas* L., mientras que 3'474,598 hectáreas tienen un potencial medio. En Sinaloa, Tamaulipas y Chiapas es posible producir *Jatropha curcas* L. con altos rendimientos. Es importante destacar que estas zonificaciones únicamente se basan en datos relativos a potencial agroclimático y edafológico, y que no se toma en cuenta información de uso de suelo. En diciembre del 2006, el gobierno del Estado de Chiapas creó la Comisión de Bioenergéticos, con la finalidad de impulsar el desarrollo de plantaciones para la producción de biodiesel o etanol, entre las principales el piñón (*Jatropha curcas* L.), la higuerrilla y la palma aceitera o africana y la caña de azúcar. Diversas fuentes establecen que en Chiapas existen 10,000 hectáreas cultivadas de *Jatropha curcas* L.

Con el propósito de validar el desarrollo y comportamiento del cultivo de *Jatropha curcas* L. FIRA estableció en el año 2008 huertos semilleros en dos de sus Centros de Desarrollo

Tecnológico (CDT): “Tantakín” en Yucatán y “La Noria” en la Huasteca Potosina; ampliando su superficie en el 2009.

Producir un litro de biodiesel a partir de *Jatropha curcas L.* en una planta de molinera agrícola tiene un costo de 91 centavos de dólar (10 pesos), en una planta de molinera industrial 71 centavos de dólar o 7.8 pesos y en una mediante químicos un costo de 52 centavos de dólar o 5.7 pesos, según el estudio de SENER-BID-GTZ. Los costos de los componentes como materia prima, operativos y capitales son considerados gastos, mientras que los créditos de los subproductos como la glicerina y fertilizantes son considerados ingresos. La suma de ambos es el costo total de producción.

Rendimiento.- En Chiapas se obtienen 7.5 toneladas de semilla por hectárea al año, con un rendimiento de 3,000 litros de aceite crudo (40%), y a partir de esto se obtienen 2,640 litros de biodiesel (rendimiento del 88%).

Consumo.- El único estado en México que consume biodiesel de manera significativa es Chiapas. Actualmente, se cuenta con una flota de autobuses de transporte público que utilizan biodiesel y se tiene proyectado utilizar biodiesel de *Jatropha curcas L.* cuando las plantaciones alcancen su máxima productividad.

#### Apoyos para los bioenergéticos en México

Como parte de las acciones para promover el desarrollo de la agroindustria de los biocombustibles y el uso de las energías renovables o alternativas en el sector agroalimentario, en 2010 la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) presentó el Proyecto de Bioeconomía 2010 al Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, presidido por la Secretaría de Energía (SENER). Dicho proyecto fue autorizado con un presupuesto de 1,000 millones de pesos, con la finalidad de contribuir a la conservación, uso y manejo sustentable de los recursos naturales utilizados en la producción primaria mediante la producción de biocombustibles, el aprovechamiento sustentable de la energía y el uso de energías renovables.

### **1.2. Marco Legal, normativo e Institucional de Biocombustibles en México.**

En México, el marco legal de los biocombustibles está establecido con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) y la Ley para Aprovechamiento de las Energías Renovables y Financiamiento para la Transición Energética (LAERFTE), incluidos dentro de

la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos. Las políticas públicas actuales están sobre todo enfocadas a la implementación de biocombustibles líquidos y biogás

#### A) Constitución Política de los Estados Unidos de México 1917

El artículo 25 Constitucional, menciona que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que este sea integral y sustentable por lo tanto deberá velar por una estabilidad financiera para el crecimiento económico y el empleo siendo El Plan Nacional de Desarrollo, junto con los planes estatales y municipales los que deberán guiarse bajo ese principio.

Es así como se otorga la participación de los sectores social y privado, de acuerdo con la ley para impulsar y organizar las áreas prioritarias del desarrollo bajo los criterios de equidad social, productividad y sustentabilidad.

De igual forma “la ley establecerá los mecanismos que faciliten la organización y la expansión de la actividad económica de sector social...” y además “alentara y protegerá la actividad económica que realicen los particulares proveyendo las condiciones para que el desenvolvimiento del sector privado contribuya al desarrollo económico nacional, promoviendo la competitividad e implementando una política nacional para el desarrollo industrial sustentable que incluya vertientes sectoriales y regionales en los términos que establece esta Constitución”.

Mientras que el Artículo 26 Constitucional nos habla que “El Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, permanencia y equidad de crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación”. Continuando con el mismo artículo pero en su párrafo segundo nos hace referencia que “Habrá un Plan Nacional de Desarrollo al que se sujetarán obligatoriamente los programas de la Administración Pública Federal”.

Además, el mismo artículo menciona que “El estado contará con un Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica cuyos datos serán considerados oficiales. Para la federación, las entidades federativas, los municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, los datos contenidos en el sistema serán de uso obligatorio en los términos que establezca la ley”.

Dándole seguimiento a los artículos constitucionales, en el en el párrafo segundo del Artículo 27 refiere que “ La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, “así como el regular, en

beneficio social el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con el objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana” .

Esto conlleva a que el “Estado promoverá las condiciones para el desarrollo rural integral, con el propósito de generar empleo y garantizar a la población campesina el bienestar y su participación e incorporación en el desarrollo nacional, fomentando la actividad agropecuaria y forestal para el óptimo uso de la tierra con obras de infraestructura, insumos, créditos, servicios de capacitación y asistencia técnica. Asimismo expedirá la legislación reglamentaria para planear y organizar la producción agropecuaria, su industrialización y comercialización, considerándolas de interés público”.

Una vez establecido que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos respalda las acciones para fomentar la economía del país mediante la utilización de las tierras y sus recursos naturales de una manera sustentable y bajo un marco legal, es necesario ahondar en el Plan Nacional de Desarrollo, ya que el mismo considera que la tarea del “desarrollo y del crecimiento corresponde a todos los actores, todos los sectores y todas las personas del país”.

#### B) Reforma Energética en Materia de Energía 2013

Dentro de las reformas que el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos ha modificado se encuentra la Reforma Energética en Materia de Energía la cual pretende, como beneficio de los Mexicanos, una diversificación de fuentes de energía de tal forma que promueve el uso de fuentes de energía renovables (Reforma Energética, 2013). Bien es mencionado en su artículo transitorio Décimo Cuarto, 3. “Realizar la transferencia al Fondo de Extracción de Hidrocarburos; a los fondos de investigación en materia de hidrocarburos y sustentabilidad energética, y en materia de Fiscalización Petrolera”, (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917, 2013).

#### C) Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018

El Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018), se presenta, en cumplimiento al Artículo 26 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y se ha elaborado de acuerdo a lo establecido en la Ley de Planeación.

En este Plan Nacional de Desarrollo menciona que hay estrategias claras para impulsar la economía de México ya que el país cuenta con lo necesario, sin embargo, dicho plan

también hace referencia que los países que han logrado superarse logran tener una mejor calidad de vida esto se debe al establecimiento de condiciones para que su productividad crezca de manera sostenida, un ejemplo es en cuanto a la innovación y el desarrollo científico-tecnológico que se traduce en una mayor capacidad de las empresas para producir más con menos. Entonces, lo que propone el Plan Nacional de Desarrollo, en cuanto al ámbito del desarrollo científico, tecnológico y de innovación para el progreso económico y social sostenible, se requiere de una vinculación entre escuelas, universidades, centros de investigación y el sector privado; además de incrementar la inversión pública y promover la inversión privada en actividades de innovación y desarrollo (PND, 2013-2018).

En este sentido se puede traducir a un Desarrollo Sustentable, es decir, es necesario en el país junto con el resto del mundo comenzar a reducir la dependencia que tiene de los combustibles fósiles ya que el planeta puede sufrir dislocaciones irreparables como lo es con el calentamiento global, por lo que es necesario impulsar el uso de fuentes de energía alternativas (PND, 2013-2018).

Es por esta situación el Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018), propone distintas líneas de acción, citando alguna de ellas se encuentran:

- Ampliar la cobertura de infraestructura y programas ambientales que protejan la salud Pública y garanticen la conservación de los ecosistemas y recursos naturales.
- Desarrollar instituciones e instrumentos de política del Sistema nacional de Cambio Climático.
- Acelerar el tránsito hacia un desarrollo bajo en carbono en los sectores productivos primarios, industriales y de la construcción, así como en los servicios urbanos, turísticos y de transporte.
- Promover el uso de sistemas y tecnologías avanzados de alta eficiencia energética y de baja o nula generación de contaminantes o de compuestos de efecto invernadero.
- Impulsar y fortalecer la cooperación regional e internacional en materia de cambio climático, biodiversidad y medio ambiente.
- Realizar investigación científica y tecnológica, generar información y desarrollar sistemas de información para diseñar políticas ambientales y de mitigación y adaptación al cambio climático.
- Continuar con la incorporación de criterios de sustentabilidad y educación ambiental en el Sistema Educativo Nacional, y fortalecer la formación ambiental en sectores estratégicos.

- Contribuir a mejorar la calidad del aire y reducir emisiones de compuestos de efecto invernadero mediante combustibles más eficientes, programas de movilidad sustentable y la eliminación de apoyos ineficientes a los usuarios de combustibles fósiles.
- Promover el uso y consumo de productos amigables con el medio ambiente y de tecnologías limpias, eficientes y de bajo carbono.
- Focalizar los programas de conservación de la biodiversidad y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, para generar beneficios en comunidades con población de alta vulnerabilidad social y ambiental.
- Promover el uso eficiente de la energía, así como el aprovechamiento de fuentes renovables, mediante la adopción de nuevas tecnologías y la implementación de mejores prácticas.

#### D) Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018

Diseña y desarrolla programas y acciones para el uso óptimo de energía en procesos y actividades de la cadena energética nacional además de fortalecer la regulación de la eficiencia energética para aparatos y sistemas consumidores de energía fabricados y comercializados en el país, al igual fortalece los sistemas e instancias de gobernanza de la eficiencia energética a nivel federal, estatal y municipal e integrando instituciones públicas, privadas, académicas y sociales para fomentar el desarrollo de capacidades técnicas y tecnológicas vinculadas al aprovechamiento sustentable de la energía y a su vez promover la investigación y desarrollo tecnológico en eficiencia energética (PRONASE, 2014).

#### E) Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos

Nació a partir del artículo 12 del Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, la cual establece los aspectos agrícolas, energéticos, ambientales, sociales y económicos que se deben considerar para avanzar en el desarrollo de los Bioenergéticos en nuestro país. Sin embargo, esta estrategia pretende servir como marco conceptual y base para el desarrollo de diversas políticas y proyectos que serán necesarios para el desarrollo ordenado y sustentable de la industria mexicana de la bioenergía.

#### F) Acuerdos Internacionales

- El protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (1998), es un tratado que se acordó el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto, Japón el cual busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta promoviendo un crecimiento sustentable de los países que la ratifican.

En el artículo 2 (Protocolo de Kioto, 1998), párrafo 1 menciona que el fin será el desarrollo sostenible para cumplir con limitaciones y reducciones no cuantificables de las emisiones de gases con efecto invernadero; en el mismo artículo, sección iii, iv, v, vi, y viii hace mención de la promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático, al igual a la investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales, a que se reduzca progresiva o eliminación gradual las deficiencias del mercado que sean contrarias a la Convención y al documento antes citado así como una limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos así como en la producción, el transporte y la distribución de energía; mientras que en su artículo 3 especifica claramente que las emisiones de esos gases deberán haberse reducido por lo menos un 5% al que tuvieron en el periodo del año 1990, y que para el año 2005 se debió demostrar un avance concreto en cumplimiento de los compromisos pactados en dicho acuerdo; cabe hacer mención que en su “Anexo A” cataloga los gases de efecto invernadero como:

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>)

México firmo y ratifico dicho acuerdo en 1997 y 2000 respectivamente (CICC, 2007).

- Estrategia Mesoamericana de Sustentabilidad Ambiental (EMSA, 2008), la cual surge en Julio de 2007 en la Ciudad de México sin embargo fue hasta el 10 de Junio de 2008 cuando se suscribe la “Declaración de Campeche” en donde se acordó adoptar y ejecutar la EMSA; dentro del acuerdo abordan tres áreas estratégicas a abordar las cuales son:
  - Biodiversidad y Bosques: Proponen 4 líneas de cooperación que abarcan el conocimiento sobre el ecosistema, biodiversidad y recursos naturales; la gestión de ecosistemas vulnerables, prioritarios, compartidos y en riesgo; gestión de ecosistemas forestales; y la valoración para el fomento del uso sostenible de los ecosistemas y la Biodiversidad.

- Cambio Climático: Si bien es un hecho comprobado científicamente y además de que el efecto que produce este tipo de gases es irreversible, esta estrategia cuenta con 5 líneas de cooperación las cuales son Conocimiento del cambio climático; Impactos Económicos y sociales del cambio Climático; Adaptación; Mitigación y Negociaciones internacionales.
- Competitividad sostenible: Las líneas de cooperación para esta estrategia son Políticas e instrumentos regionales de gestión ambiental sostenible; Políticas e instrumentos nacionales de gestión ambiental sostenible; Desarrollo de tecnologías y prácticas productivas más limpias y competitivas; Desarrollo de mercados para bienes y servicio de sistemas productivos sostenibles; y desarrollo microrregiones y local ambientalmente ordenado, limpio y competitivo.

#### G) Plan integral para el Desarrollo de las Energías Renovables en México 2013-2018

Dentro de este plan menciona que México es un país que cuenta con los recursos naturales capaces de desarrollar energías renovables, además, que dicho recursos se pueden encontrar a lo largo y ancho de la República Mexicana, destacando uno de ellos, podemos encontrar que el Potencial de Biomasa es bastante amplio, ya que mediante este tipo de recurso natural se pueden aprovechar desde los Residuos agrícolas, ganaderos, urbanos, industriales y forestales como los cultivos energéticos para la producción de Biocombustibles (DERM, 2013).

#### H) Estrategia Nacional de Energía 2014-2028

A través de este modelo se brinda una claridad sobre el rumbo y funcionamiento del modelo del sector resultante de la Reforma Energética, pero su mayor virtud es que representa la oportunidad de lograr los consensos necesarios entre los distintos sectores y actores (social, académico, industrial, de investigación y los tres niveles de gobierno), para determinar cuáles son los objetivos que se tienen en materia energética y sus políticas necesarias para alcanzar los objetivos planteados dentro de la Estrategia Nacional de Energía (Secretaría de Energía, 2004).

Además, también busca que los beneficios fluyan en todas las direcciones del territorio nacional para que cada región pueda aprovechar su potencial y que la población se

convierta en un participante proactivo en el desarrollo del sector energético (Secretaría de Energía, 2004).

Dentro de los objetivos es el acceso a servicios energéticos sustentables en el territorio nacional de tal modo que haya un crecimiento económico a través de la inclusión social y así obtener la autonomía energética en México, sin embargo refiere que es una transición complicada ya que se debe de tener una eficiencia energética sustentable competitiva con la actual y mayor utilizada por lo que se propone que sea un objetivo a largo plazo con la diversificación de la matriz energética dejando a un lado el monopolio de los hidrocarburos (Secretaría de Energía,2004).

I) Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE)

La ENTEASE (2014) impulsa las políticas, publicas programas, proyectos y acciones encaminadas a conseguir una mayor utilización de las energías renovables y tecnologías de bajas emisiones de carbono, así como en promover la eficiencia y la diversificación de la matriz energética.

A partir de dicho impulso mediante la ENTEASE (2014), se planea una implementación y financiamientos de múltiples proyectos para aumentar la participación de las fuentes renovables de energía a gran escala con la cual se crearan empleos verdes, sin embargo es necesario una sinergia entre la protección del medio ambiente y el establecimientos de las relaciones con las comunidades ya que así se podrá lograr una transición hacia la sustitución de las energías fósiles a combustibles más baratos y más limpios (ENTEASE, 2014).

J) Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (2008)

Si bien lo menciona en el artículo primero de esta ley (LPDB, 2008), es reglamentaria de los artículos 25 y 27 fracción XX de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, teniendo por objeto la promoción y desarrollo de los Bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permitan garantizar el apoyo al campo mexicano y así estable las bases como por ejemplo:

Art. 1. II. Desarrollar la producción, comercialización y uso de los Bioenergéticos para contribuir a la reactivación del sector rural, la generación de empleo y una mejor calidad de vida para la población, en particular las de alta y muy alta marginalidad.

IV. Procurar la reducción de emisiones contaminantes a la atmosfera y gases de efecto de Invernadero, utilizando para ello los instrumentos internacionales contenidos en los tratados en que México sea parte, y

V. Coordinar acciones entre los Gobiernos Federal, Estatales, Distrito Federal y Municipales, así como la concurrencia con los sectores social y privado, para el desarrollo de los Bioenergéticos.

Es importante resaltar que en la citada ley, dentro del Artículo 2 Sección II define Bioenergéticos como combustibles Obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, acuacultura, algacultura, residuos de la pesca, domesticas, comerciales, industriales, de microorganismos y de enzimas, así como sus derivados, producidos por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente en los términos de esta ley.

Mientras que en el mismo artículo pero sección III define al Biodiesel como un combustible que se obtiene por la transesterificación de aceites de origen animal o vegetal.

Por otro lado, dentro del Capítulo II de la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos se presente el Artículo 8 de la citada ley, creando la Comisión de Bioenergéticos, la cual estará integrada por los titulares de la SAGARPA, SENER, SEMARNAT, la Secretaría de Economía y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la cual tendrá entre otras funciones, la de:

III. Establecer las bases para la concurrencia de los sectores social y privado, a fin de dar cumplimiento a esta Ley, así como a los programas y disposiciones que deriven de la misma, en lo relativo a las cadenas de producción y comercialización de insumos, y a la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos;

VI. Fomentar la agroindustria y la inversión e infraestructura necesarias, así como el uso de tecnologías eficientes para la producción y comercialización de insumos y para la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos.

En su Título II, Capítulo I de las disposiciones generales, el artículo 6 nos refiere que la interpretación para efectos administrativos y la aplicación de esta ley (LPDB, 2008), corresponde al Ejecutivo Federal, a través de la Secretaria de Energía, la Secretaria de

Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el ámbito de sus competencias.

Cabe señalar, en el Capítulo III, se habla de las facultades que tendrán las distintas comisiones (SAGARPA, SENER, SEMARNAT), sin embargo es importante destacar que la SENER en el Artículo 12 de la presente ley, fracción VIII menciona que deberá establecer el Programa de Introducción de Bioenergéticos, considerando objetivos estrategias, acciones y metas. Y que para su elaboración del Programa se tomara en cuenta principalmente la producción nacional sobre la importación, así como la definición de plazos y regiones para la incorporación del etanol como componente de la gasolina, y la incorporación del Biodiesel al consumo así como los requerimientos de infraestructura para su producción, transporte y comercialización, además, se tendrá en cuenta que al programa podrá incorporar otros Bioenergéticos que sean resultado del desarrollo científico y tecnológico.

Dentro del mismo capítulo y la misma ley, Artículo 18 nos refiere que para impulsar, desarrollar e incentivar la producción de los Bioenergéticos, las Secretarías y los Gobiernos de las entidades federativas y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias promoverán la creación de infraestructura para la producción de Bioenergéticos.

Y de acuerdo al Artículo 19 las instituciones encargadas de apoyar la investigación científica y tecnológica para la producción y uso de los Bioenergéticos, así como la capacitación en estas materias son la SAGARPA y la SENER, teniendo como propósitos esenciales:

- I. Fomentar y desarrollar la investigación científica para la producción sustentable de insumos destinados a la producción de Bioenergéticos;
- II. Fomentar y desarrollar la investigación de tecnologías de producción, distribución y usos de los Bioenergéticos;
- III. Satisfacer las necesidades de información de las diversas autoridades competentes;
- IV. Establecer procedimientos de evaluación para determinar el estado de la viabilidad de los proyectos para la producción de Bioenergéticos, y
- V. Brindar elementos para determinar las condiciones en que deben realizarse la producción de Bioenergéticos, de manera que se lleven a cabo en equilibrio con el medio ambiente.

Mientras que el Artículo 20 de la misma ley hace mención que la Comisión de Bioenergéticos establecerá las bases para impulsar la investigación científica y tecnológica, así como la capacitación en materia de Bioenergéticos.

#### K) Ley Para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética

En el artículo 2 que a la letra menciona que “El aprovechamiento de las fuentes de energía renovable y el uso de tecnologías limpias es de utilidad y se realizará en el marco de la estrategia nacional para la transición energética mediante la cual el Estado mexicano promoverá la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía” (LAERFTE, 2015).

Mientras que en su capítulo II, nos refiere el artículo 6 que le corresponde a la Secretaría de Energía la coordinación con la Secretaría de Economía para fomentar el aprovechamiento de energías renovables así como observar los distintos compromisos internacionales de México en el aprovechamiento de energías renovables y cambio climáticos, además de dar seguimiento a los programas nacionales en materia de mitigación del cambio climático (LAERFTE, 2015).

El capítulo IV, artículo 22 establece la estrategia como el mecanismo mediante el cual el estado mexicano impulsara las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energías renovables y las tecnologías limpias, promoviendo la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía (LAERFTE, 2015).

#### L) Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2013-2018

En este documento se puede enumerar algunos de los objetivos en materia de Energías Renovables, por ejemplo:

- Promover la participación social durante la planeación y evaluación del programa;
- Establecer objetivos y metas específicas para el aprovechamiento de energías renovables, así como definir estrategias y acciones necesarias para alcanzarlas;
- Establecer, a través de la Secretaría de Energía a desarrollar la programación relativa a la producción, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de BIOENERGETICOS;
- Aumentar la capacidad instalada y la generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía;
- Incrementar la inversión pública y privada en la generación así como en la construcción y ampliación de la infraestructura para su interconexión.
- Incrementar la participación de biocombustibles en la matriz energética nacional.

- Impulsar el desarrollo tecnológico, de talento y de cadenas de valor en energías renovables.
- Democratizar el acceso a las energías renovables mediante la electrificación rural, el aprovechamiento térmico y la participación social.

Los puntos antes mencionados se enfocan a incrementar el aprovechamiento de las Energías Renovables para contribuir al desarrollo sustentable del país mediante su participación en la diversificación de la matriz energética y como instrumento de mitigación al cambio climático (PND, 2013-2018).

#### M) Ley de Transición Energética

En su texto nos menciona su artículo 1 que tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos (LTE, 2015).

Tomando en cuenta el Título tercero, capítulo III, donde el artículo 27 propone como estrategia constituir el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo en materia de obligaciones de Energías Limpias, Aprovechamiento sustentable de la energía y mejorar en la productividad energética en su casa, de reducciones económicamente viable de emisiones contaminantes de la industria Eléctrica, en las cuales tengas como objetivos:

- I. Estableces las metas y la Hoja de Ruta para la implementación de dichas metas;
- II. Fomentar la reducción de emisiones contaminantes originadas por la Industria Eléctrica, y
- III. Reducir, bajo criterios de viabilidad económica, la dependencia del país de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía.

Mientras que el artículo 31 nos refiere que el Servicio Meteorológico Nacional aportara sus capacidades para la predicción de las variables climatológicas que influyan sobre la oferta de Energías Limpias y su variabilidad, con la periodicidad necesaria para incorporarlas a la oferta de energía eléctrica en el despacho del Mercado Eléctrico Mayoristas (LTE, 2015).

### 1.3. Características del biodiesel

La situación a nivel mundial en cuestión de producción de Biodiesel, en particular importante, ya que de 1000 MI que se produjeron en el año 2000 incremento a 11000 MI en el 2007, aunque la mitad de producción mundial proviene de Europa y el resto se

divide entre Estados Unidos, Brasil, Argentina, entre otros; aunque para México aún se considera pionero en el tema (Red Mexicana de Bioenergía, A. C., 2011).

Se define como Biodiesel un combustible que es producido a partir de materias de base renovables, como por ejemplo aceites vegetales que son una buena alternativa para disminuir los costos de producción en comparación del uso de fuentes de combustibles fósiles (Ramírez et al., 2012; Stratta, 2000).

Para la obtención de Biodiesel se tiene que realizar una reacción química por medio de la transesterificación la cual consiste en la reacción entre un triglicérido, contenido en el aceite vegetal o grasa animal y un alcohol ligero, obteniendo como productos glicerina y ésteres derivados de los tres ácidos grasos de partida, es decir, Biodiesel (Guillermo, 2009).

## 1.4. Descripción de la especie

### 1.4.1. Características generales

Es una planta que se considera oleaginosa en forma de arbusto con más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros. Dentro de los nombres comunes que se le da en México y otros países se encuentra el de piñón, piñoncito, piñol, higos del duende, barbasco, piñones purgativos, higo del infierno, entre otros (Torres, 2007). Su taxonomía es la siguiente:

Reino:        Plantae  
Subreino:    Tracheobionta  
División:    Magnoliopsida  
Subclase:    Rosidae  
Orden:        Euphorbiales  
Familia:      Euphorbiaceae  
Género:      *Jatropha*  
Especie:     *curcas*

#### 1.4.2. Distribución

Se puede considerar originaria de México y Centroamérica, aunque en general se puede cultivar en países tropicales por lo que se ha logrado un establecimiento en América central, Sudamérica, Sureste de Asia, India y África (Torres, 2007).

Dentro de los países con mayor cultivo de *Jatropha curcas* L. en Latinoamérica se encuentra México y Honduras seguidos de Costa Rica, Guatemala y Belice, mientras que los países que cuentan con menores hectáreas de plantación de dicha planta se encuentra El Salvador, Nicaragua y Panamá, (Cifuentes-Jara, 2009).

En México, *Jatropha curcas* L. es la especie con mayor distribución dentro de la familia Euphorbiceae, ya que se registra en los estados de Yucatán, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero, Puebla, Morelos, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Puebla y Sinaloa y es posible encontrarla en zonas como bosque tropical caducifolio matorrales con o sin vegetación secundaria, y en vegetaciones secundarias de bosques de encinos y juníperos (Cervantes, 2002; Rodríguez-Acosta, M. et al., 2009).

#### 1.4.3. Morfología

Es un arbusto caducifolio, de crecimiento rápido, cuya altura es más de dos metros y un diámetro aproximado de veinte centímetros, el tronco presenta un fuste ramificado a poca altura y una corteza lisa de madera suave blanca grisácea, un floema con largos canales que se extienden hasta las raíces por el cual circula un látex translucido que brota en abundancia a cualquier herida (Torres, 2007; Alfonso, 2008).

Tallo. Crecen con discontinuidad morfológica en cada incremento (Torres, 2007). El fuste está dividido desde la base en ramas largas (Alfonso, 2008).

Raíz. Normalmente se forman cinco raíces cortas y poco ramificadas, una central y cuatro periféricas.

Hojas. Son de color verde, amplias y brillantes, en forma de palmas pecioladas, forman con cinco a siete lóbulos acuminados, pocos profundos y grandes con peciolo largos de 10 a 15 centímetros y de igual ancho (Torres, 2007; Alfonso, 2008).

Flores. Nacen a partir de la zona axial de las hojas en las ramas. Las flores masculinas y femeninas en la misma planta de seis a ocho milímetros, de un color verde amarillento en

el diámetro. Cada inflorescencia tiene aproximadamente diez frutos ovoides. Para el desarrollo del fruto se necesita noventa días desde la floración hasta que madura la semilla.

Frutos. Son capsulas drupáceas y ovoides con una semilla en cada cavidad formando un pericarpio o cascara dura y leñosa. Al inicio son carnosas e indehiscentes cuando son secas. Las frutas son inicialmente de color verde, sin embargo, a madurar cambia a un color café oscuro o inclusive negro. Se conoce que las semillas están maduras cuando el fruto cambia de color verde a amarillo.

Semilla. Es relativamente grande, cada semilla aproximadamente de dos centímetros de largo y uno de diámetro, pesa entre 0.551 a 0.797g, dependiendo de la variedad y en proporción de 33.7 a 45% de cáscara y de 55 a 66% de almendra (Torres, 2007; Alfonso, 2008).

#### 1.4.4. Requerimientos climáticos y edáficos

La mejor condición es a una altitud de 500 a 800 msnm. Su requerimiento de agua es sumamente bajo ya que puede requerir hasta menos de 600 mm de precipitación media anual, sin embargo para que se tenga un desarrollo óptimo han reportado valores de precipitación ente los 1200 – 2500 mm media anual por lo que es una planta susceptible a inundaciones, además es resistente al calor, y también soporta bajas temperaturas, pudiendo resistir hasta una escarcha ligera, la temperatura óptima es de varia ente los 18°C a 28.5°C (Toledo et al., 2009; Inurreta-Aguirre et al. ,2013).

En cuanto al suelo que requiere *J. curcas*, se podría decir que crece en cualquier medio desde los suelos áridos y con poca fertilidad hasta los suelos húmedos y con bastante fertilidad, sin embargo las condiciones óptimas para su desarrollo son los suelos semihúmedos así como que cuenten con fertilidad de alta a media (Gaona, 2009; Toledo et al. ,2009; Inurreta-Aguirre et al., 2013).

#### 1.4.5. Fenología del cultivo

Los encargados de la polinización de la *J. curcas* es a cargo de diversos insectos entre los que destacan los himenópteros y dípteros (Gaona, 2009; Heller, 1996). Esto nos lleva a que la floración en *J. curcas* puede presentarse entre el 1º y 2º año en condiciones muy favorables, pero normalmente toma más tiempo (comúnmente hasta los 3 años) aunque

su ciclo reproductivo puede extenderse hasta los 50 años en promedio (De la Vega, 2007; Torres, 2007). El desarrollo del fruto toma entre 60 y 120 días desde la floración hasta la madurez de la semilla. Los suelos ideales para cultivo de *J. curcas* deben ser arenosos, ventilados, bien drenados, pH entre 5 y 7, fertilidad media a escasa y con profundidad mínima de 40 centímetros. Las semillas para siembra deben ser obtenidas de plantas que hayan mostrado altas producciones (De la Vega, 2007).

**Germinación.** La germinación es epigea (cotiledones surgen sobre la tierra), colocando la semilla en el sustrato adecuado y con buena humedad, la germinación comienza incluso del 3er al 5to día; poco después de las primeras hojas se han formado, los cotiledones marchitan y se caen (Torres, 2007).

**Siembra.** Es importante considerar el aspecto del tipo de cultivo que se desea ya puede constar en pequeña y gran escala (Gaona, 2009), una vez considerado se tiene que realizar preferentemente con la entrada de primavera o de las primeras lluvias (Torres, 2007).

**Plántulas.** Tardan de cinco a siete semanas para alcanzar la altura óptima para ser trasplantadas al campo, es decir, cuando tienen una altura de 40-50 cm, aunque una plántula de 25 cm tiene ya las propiedades para trasplante a campo (Torres, 2007).

**Fructificación.** Se presenta relativamente rápido puesto que dentro de los primeros 8 meses puede presentar frutos; normalmente la floración es en Diciembre- Enero y la fructificación en Marzo-Abril (Torres, 2007).

**Cosecha.** La primera cosecha se produce entre los 8 y 12 meses de vida de la planta con aproximadamente 0.2 kg por planta; los frutos son recolectados cuando comienzan a abrirse; después de año y medio se efectúan dos cosechas anuales, con una cosecha promedio de 1.8 kg de frutos por planta (Torres, 2007). Sin embargo, los frutos pueden ser recolectados también dependiendo de su coloración ya que por medio de esta se puede saber el contenido de aceite en la semilla (Henning, 2009; Gaona, 2009).

#### 1.4.6. Importancia

Está por demás mencionar el sin fin de beneficios que conllevaría la producción en masa de la planta en el país y en el mundo puesto que se tienen un sinnúmero de investigaciones relacionadas con el tema para la producción de biodiesel, a lo cual, ayudaría a un equilibrio ecológico al contrarrestar la acumulación de gases efecto invernadero en la atmósfera, beneficiando a las generaciones futuras ya que al utilizar este tipo de energía

alternativa renovable se daría pie a un uso racional de combustibles fósiles y al mismo tiempo se generaría un decremento en el costo de combustibles de primera mano.

#### 1.4.7. Uso

*Jatropha curcas* L. es mencionado por Pabón et al., (2012), como un árbol con múltiples usos ya que puede representar un valor agregado a la economía de países en busca de un desarrollo sustentable ya que su producción puede permitir la regeneración de suelos, productos farmacéuticos y alimenticios así como la producción de energía sustentable.

Dentro de la medicina ha tenido varias aplicaciones como el látex que desprende el tallo se ha utilizado como anestesia local así como un cicatrizante natural (Villegas et al., 1997). Además, Rug y Ruppel (2000) mencionaron en su estudio que puede ser utilizada como control de esquistosomiasis. También se ha confirmado una actividad antiinflamatoria del extracto de la raíz de *J. curcas* (Mujumdar, 2004).

Por otro lado, también se ha registrado que la planta antes mencionada ha mejorado la biomasa en zonas áridas, así como también ha mejorado las condiciones del suelo evitando la erosión del mismo (Sotolongo et al. , 2007), y otros estudios han resaltado que la planta se puede utilizar también como absorbente de metales pesados propiciando la mejora en la fertilidad de otras plantas (Jamil et al. , 2009).

En el 2008, GEXIS menciona en su publicación la importancia a nivel mundial de *Jatropha curcas*, así como su uso en la producción de biodiesel. Mientras que De la Vega (2007) refiere que a través de la planta *Jatropha* se puede obtener biocombustibles que pueden ser utilizados por los mismos productores de las comunidades que se dediquen a la agricultura en sus tractores o maquinarias agrícolas.

Al observar el amplio potencial de la especie, se puede considerar como un elemento estratégico para obtener beneficios innumerables, sin embargo, el tema de mayor escala que puede abarcar esta planta es sin duda la generación de Biodiesel ya que puede hacer de manera sostenible en combinación con cultivos cortos, contribuyendo a áreas marginales e inclusive erosionadas, a un desarrollo agrícola local, y en forma paralela, produciría un efecto beneficioso en la economía de los países (Toral, 2008).

## 1.5. Distribución de especies

Un área de distribución de especies, es la “fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa de manera no efímera con el ecosistema” (Zunino y Palestrini, 1991) en este contexto esta, nos ayudara a definir las características del medio (Maciel-Mata et al., 2015) y se construye a partir de los lugares en donde se han registrado la presencia (Espinosa et al., 2001). Sin embargo aunque el concepto de área de distribución es concreto, la distribución de especies involucra procesos y/o patrones complejos.

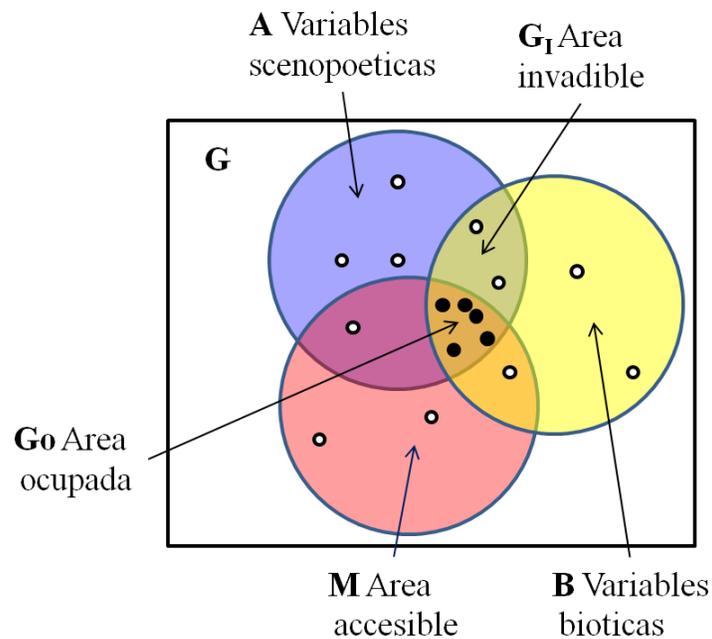
Entre los factores que determinan casualmente el área de distribución de una especie, se encuentran sus tolerancias ambientales (su nicho fundamental), la presencia o ausencia de otras especies (polinizadoras, dispersoras, competidoras, depredadoras, etc.) y las posibilidades de dispersión en lapsos y en las áreas relevantes. Dicho en otras palabras, un área de distribución, en general, depende de muchos factores, más que el simple nicho fundamental de la especie. Una manera muy simplificada de expresar lo anterior es el llamado diagrama BAM (Revista Mexicana de Biodiversidad. 2017).

El diagrama BAM (**Figura 2**) muestra que una especie tiene altas probabilidades de ser observada en aquellas regiones del planeta donde existan las condiciones favorables (Revista Mexicana de Biodiversidad. 2017).

Los nichos ecológicos y las distribuciones de especies se visualizan como un conjunto de 3 partes que se cruzan en círculos, representando esquemáticamente 3 clases determinantes (Townsend, 2006):

- Variables físicas o scenopoéticas (A): necesarias para una supervivencia y reproducción de las especies. Nicho abiótico, por ejemplo, aspectos del clima, entorno físico, edáfico, condiciones afines, etc., que imponen límites fisiológicos a las especies con la capacidad de persistir en un área (Soberón y Townsend, 2005).
- Variables bióticas (B): necesarias para la supervivencia y reproducción de una especie (Townsend, 2006). Nicho biótico, por ejemplo, el conjunto de interacciones con otras especies que modifican la capacidad de la especie para mantener poblaciones. Estas interacciones pueden ser ya sea positivo (por ejemplo, mutualistas como semilla dispersantes, polinizadores, etc.) o negativos (p. competidores, depredadores, enfermedades). Al limitar o mejorar los procesos de población, las interacciones obviamente pueden afectar las distribuciones.
- Accesibilidad (M): son las regiones que son accesibles a la dispersión de las especies, ya sea históricamente o en la actualidad (Townsend, 2006). Este factor es extremadamente útil para distinguir la distribución real de una especie con su

potencial de distribución, esto basado en la configuración del paisaje y las habilidades de dispersión de la especie.



**Figura 2.** Diagrama BAM, CONABIO.

Dónde:

G: Espacio geográfico de estudio.

G<sub>0</sub>: Área ocupada. Es la parte que cuenta con las condiciones ambientales y bióticas favorables y que ha estado accesible a la especie.

G<sub>1</sub>: Área invadible. Es la parte que cuenta con condiciones ambientales y bióticas favorables, pero no accesible a la especie.

Estos factores interactúan dinámicamente y con diferentes puntos fuertes a diferentes escalas para producir el entidad compleja y fluida que llamamos la distribución geográfica de una especie (Soberón y Townsend, 2005).

### 1.5.1 Nicho ecológico

Hutchinson (1957) propone el concepto de nicho ecológico por primera vez como “un hipervolumen en un espacio ecológico multidimensional, determinados por los requerimientos de la especie para reproducirse y sobrevivir” y cada dimensión representa los requerimientos de la especie para su supervivencia.

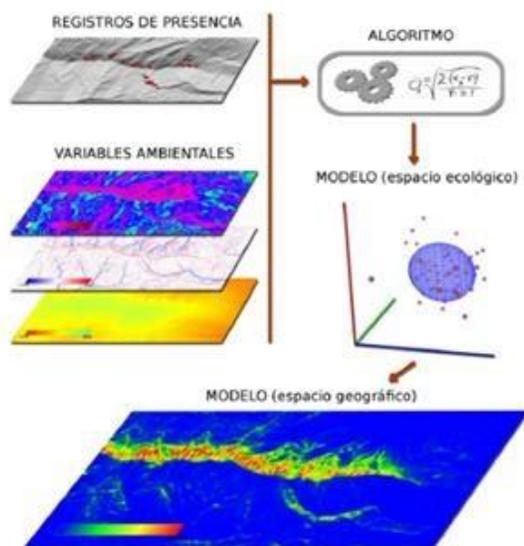
Por consiguiente un nicho incluye a todos los factores bióticos y abióticos con los cuales cualquier organismo se relaciona, en un tiempo y espacio determinado, esto involucra a todos los recursos presentes del ambiente, las adaptaciones de los organismos y cómo se relacionan estos dos. Este concepto general de nicho puede ser delimitado a lo que ha sido llamado nicho ecológico, en donde se hace referencia al tiempo actual en el cual se desarrolla el organismo y cómo éste interactúa con los factores ambientales que lo rodean. (Illoldi-Rangel y Escalante, 2008).

### 1.5.2. Modelo de distribución de especies (MDE)

Los modelos de distribución de especies, utilizando el nicho ecológico como base teórica, es una construcción numérica que define el espacio ecológico, las relaciones entre la especie y los valores ambientales que influyen en su distribución, lo cual nos muestra un mapa digital que representa la idoneidad de la presencia de la especie. Son herramientas muy útiles para resolver preguntas de ecología aplicada, conservación y biogeografía, debido a las bases ecológicas y evolutivas subyacentes (Guisan y Thuiller W, 2005). Se han desarrollado varios modelos que ayudan a comprender algunas de las dimensiones ambientales y ecológicas en las que se encuentra un taxón, principalmente aquellas relacionadas con factores abióticos como los aspectos del clima, entorno físico, edáfico, condiciones afines, etc., imponiendo límites fisiológicos a las especies y bióticos como el conjunto de interacciones con otras especies que modifican la capacidad de la especie para mantener poblaciones (Soberón y Townsend, 2005).

Para un modelo de distribución según Benito (2009) se deben considerar 5 factores (**Figura 3**): registros de presencia de la especie; variables ambientales almacenadas como mapas digitales; un algoritmo que analiza la relación entre ambas entradas; un modelo definido en el espacio ecológico y la representación geográfica del resultado en forma de mapa.

**Figura 3: Elementos necesarios para definir un MDE y la secuencia lógica de construcción del modelo**



Fuente: Benito (2009)

El desarrollo de algoritmos matemáticos permite modelar con mayor precisión el nicho ecológico de los taxones. Entre los diferentes algoritmos de modelado que existen, podemos mencionar principalmente a BIOCLIM (uso de algoritmos de envolturas climáticas), GARP (algoritmos genéticos) y MaxEnt (algoritmos de máxima entropía) (Illoldi-Rangel y Escalante, 2008).

Los modelos de distribución y modelos de nicho ecológico están siendo utilizados no solo para comprender los requisitos ecológicos de las especies, sino también para comprender aspectos de la biogeografía, predicen la existencia de poblaciones y especies desconocidas, identificar sitios para translocaciones y reintroducciones, área del plan selección para conservación y efectos de pronóstico de cambio ambiental (Townsend, 2006).

### 1.5.3. Modelo de nicho ecológico MaxEnt (Maximun Entropy)

Se tomó en cuenta este modelo de nicho para realizar el presente trabajo, debido a que documentalmente está demostrado que es uno de los mejores algoritmos utilizados cuando no se tienen ausencias estrictas, además de ser uno de los más utilizados y por consiguiente es uno de los más confiables incluso con muestras pequeñas (Hernández et al., 2006, Elith et al., 2006, Phillips et al., 2006).

#### 1.5.4. MaxEnt

Para Phillips et al. (2009) MaxEnt, es una máquina de inteligencia artificial con una formulación matemática precisa y la idea es “estimar (aproximar) la probabilidad de distribución desconocida de una especie”

Por lo tanto, es un programa que determina la probabilidad de distribución adecuada para una especie a partir de información incompleta (Pearson, 2010), lo cual es una clara ventaja sobre otros modelos que requieren datos de presencia y ausencia de las especies (Morales, 2012), es una técnica de modelado recientemente introducida, logrando una alta precisión predictiva (Phillips y Dudík, 2007).

Dentro de las diversas aplicaciones, se encuentran la priorización de zonas para iniciativas de conservación biológica y restauración ecológica, modelaciones de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, y la evaluación de patrones de propagación de especies invasivas. Como ya se mencionó, el método MaxEnt no requiere datos de ausencia para la especie que se modela; en su lugar, utiliza los datos ambientales de toda el área de estudio por lo cual el algoritmo ha demostrado tener un buen desempeño en comparación con métodos alternativos (Morales, 2012).

Una desventaja del enfoque de MaxEnt es que usa un modelo exponencial que puede predecir una alta capacidad para las condiciones ambientales que están fuera del rango presente en el área de estudio (Pearson, 2010). Varias configuraciones afectan la precisión del modelo a determinar, esta complicación es controlada por los tipos de características y configuración llamándolo "parámetros de regularización", estos parámetros previenen el modelo al hacer coincidir los datos de entrada, lo que se conoce como "sobreajuste" (Phillips y Dudík, 2007).

Para corregir este problema, al predecir los valores variables que están fuera del rango del área de estudio, estos valores se restablecen para que coincida con los valores superiores o inferiores encontrados en dicha área. El algoritmo debe evitar hacer suposiciones que no sean apoyadas por los datos, por lo tanto, encontrar la probabilidad de distribución más cercana, se sujeta a las restricciones impuestas por la información disponible con respecto a la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en toda el área de estudio (Pearson, 2010).

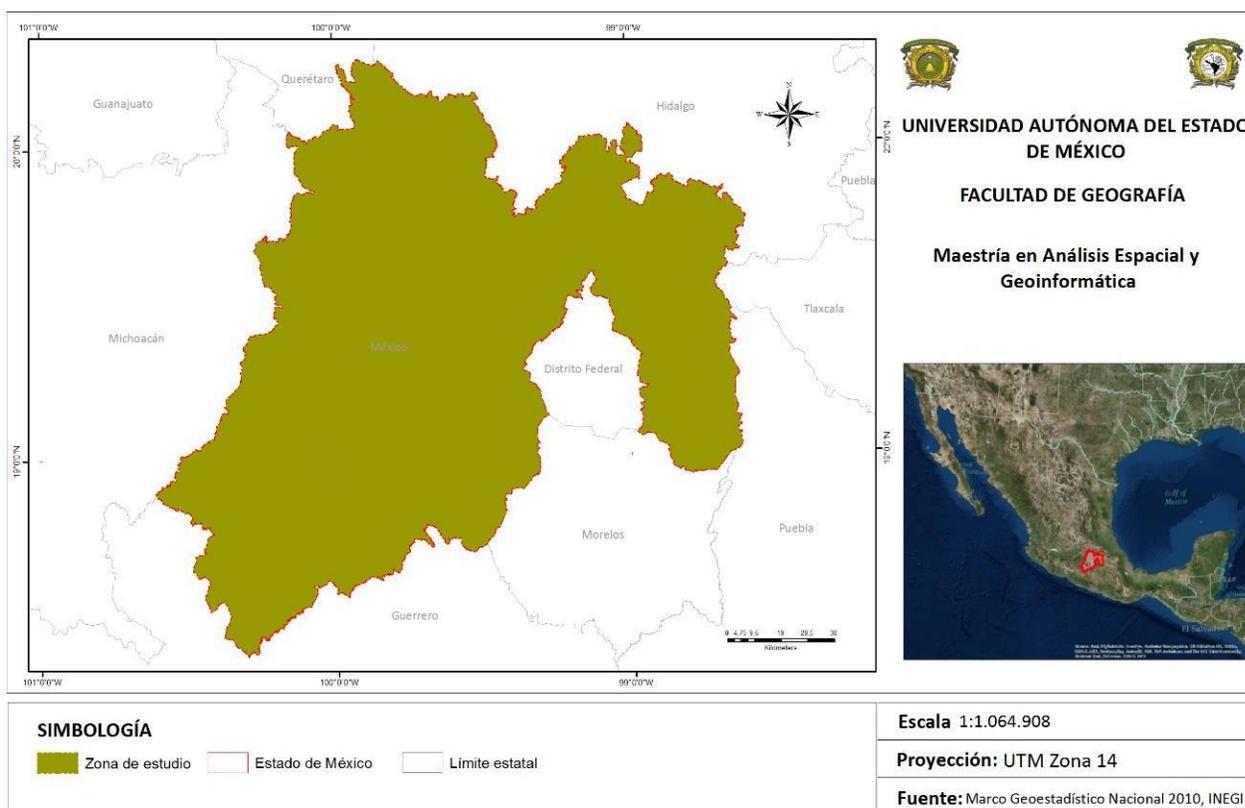
Por tanto, la integración de MaxEnt con otras fuentes de información disponible, puede transformarse en una herramienta de gran valor para la generación de información que permita hacer un uso más eficiente de los recursos, predecir escenarios potenciales y de esta manera aumentar el éxito de proyectos de conservación, así como también aquellos relacionados con el manejo de recursos naturales productivos (Morales, 2012).

## CAPITULO 2. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1. Ubicación

El Estado de México se localiza en la altiplanicie mexicana, en la porción central de la república mexicana, colinda al norte con Michoacán de Ocampo, Querétaro e Hidalgo; al este con Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos y la Ciudad de México; al sur con Morelos y Guerrero; al oeste con Guerrero y Michoacán de Ocampo (**Figura 4**). Sus coordenadas geográficas extremas son: al norte  $20^{\circ}17'09''$ , al sur  $18^{\circ}22'01''$  de latitud norte: al este  $98^{\circ}35'49''$ , al oeste  $100^{\circ}36'47''$  de longitud oeste (Anuario estadístico y geográfico de México, 2016).

**Figura 4: Ubicación geográfica del Estado de México.**



Fuente: Elaboración propia a partir de información de INEGI

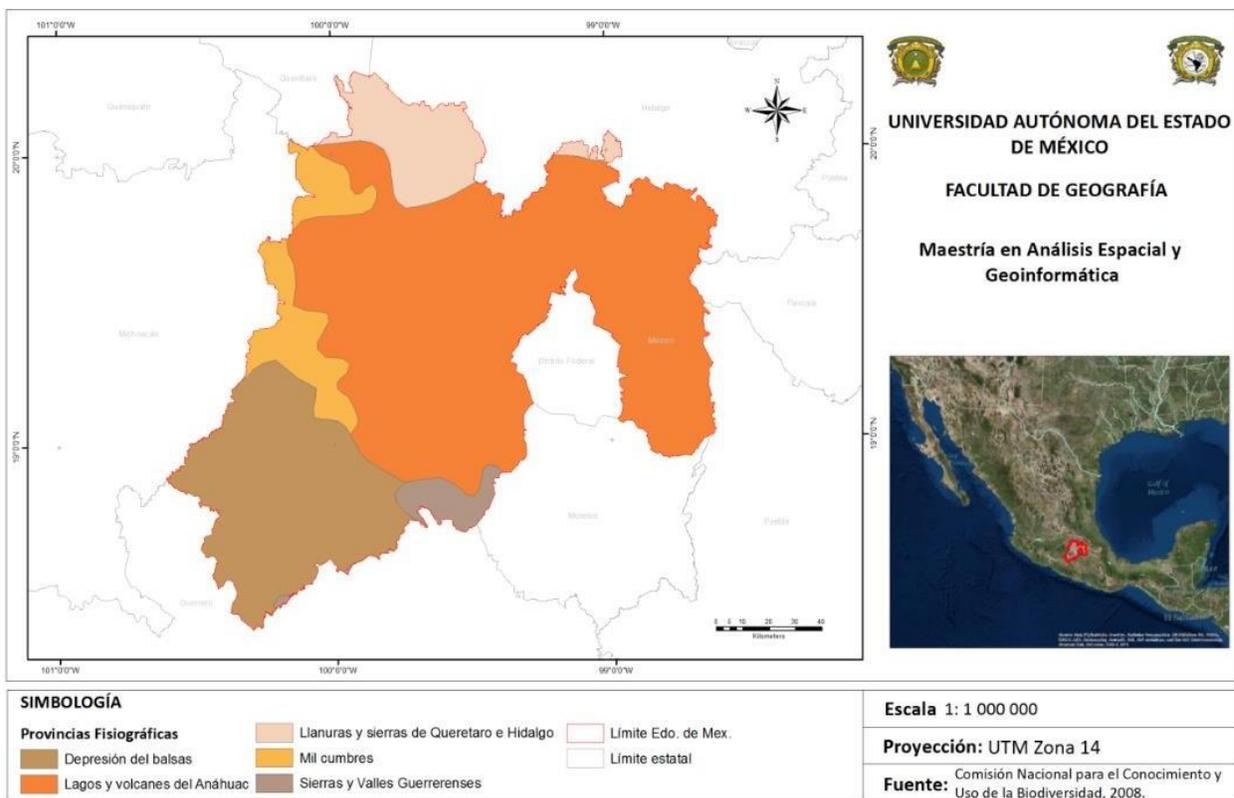
Geopolíticamente, el Estado de México está dividido en 125 municipios (Plan estatal de desarrollo urbano, 2008), siendo Toluca de Lerdo la sede de la Capital de la entidad (Anuario estadístico y geográfico de México, 2016).

Cuenta con una superficie de 22,351.50 km<sup>2</sup> y representa el 1.1% del territorio nacional (Panorama sociodemográfico de México, 2015).

## 2.2. Orografía

La entidad se ubica en la parte sur de la altiplanicie meridional mexicana, en una de las regiones más elevadas del país; la altitud en las cabeceras municipales fluctúa entre 1,330 y 2,800 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se caracteriza por la presencia de zonas montañosas, valles, lomeríos y llanuras. Predominan las sierras y lomeríos que ocupan el 76.08% del territorio estatal; el 23.92% corresponde a las llanuras y valles.

Casi tres cuartas partes de la superficie estatal corresponden a la provincia fisiográfica denominada Eje Volcánico y el resto a la Sierra Madre del Sur. Al oriente destacan las sierras de Río Frío y Nevada, donde sobresalen los volcanes Iztaccíhuatl y el Popocatepetl en los límites con Puebla y Morelos.



**Figura 5:** Subprovincias del Estado de México

En el Valle Cuautitlán - Texcoco el relieve es básicamente plano, dominando la llanura lacustre con una altura promedio de 2,240 msnm, la cual se interrumpe por algunas

elevaciones como la Sierra de Guadalupe, localizada al norte del Distrito Federal y la de Santa Catarina, al sur poniente de esa entidad. El Valle de Toluca se caracteriza por tener un relieve de llanuras, lomeríos y cañadas, con algunas elevaciones de origen volcánico como el Nevado de Toluca ubicado a 22 km al sur poniente de la capital del estado (Plan estatal de desarrollo urbano (2008); Anuario estadístico y geográfico de México (2016)).

### 2.3. Fisiografía

El Estado de México comprende dos provincias fisiográficas (**Figura 5**): el Eje Volcánico que abarca la mayor parte de su territorio y la Sierra Madre del Sur (Plan estatal de desarrollo urbano, 2008) y 5 subprovincias (**Tabla 2**).

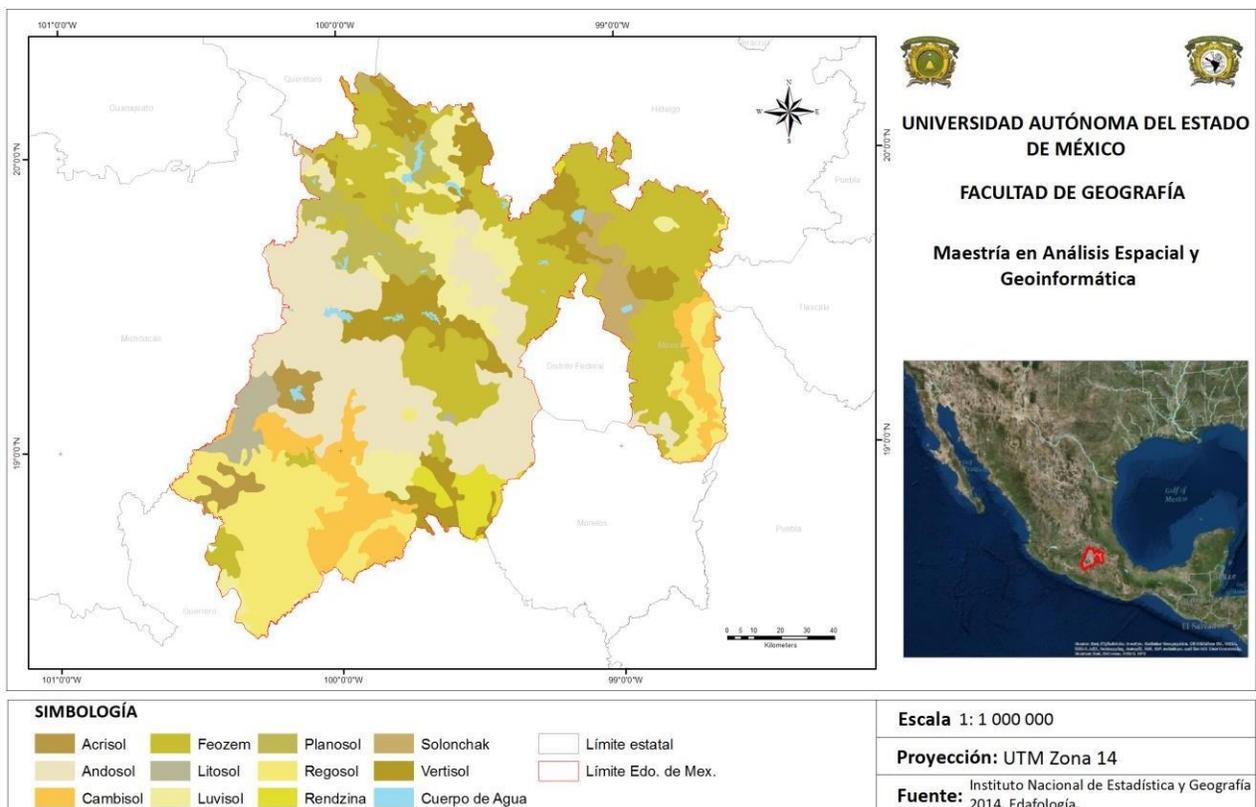
**Tabla 2: Provincias y Subprovincias del Estado de México**

Provincia	Subprovincia		Sistema de topoformas	
	Nombre	Total (%)	Nombre	Total (%)
Eje Neovolcánico	Lagos y volcanes de Anáhuac	58.83	Sierra	17.99
			Lomerío	21.94
			Meseta	0.27
			Llanura	13.89
			Valle	4.74
	Mil Cumbres	9.95	Sierra	2.59
			Lomerío	6.07
			Meseta	0.78
			Valle	0.51
	Llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo	6.79	Sierra	0.36
			Lomerío	5.08
			Llanura	1.35
Sierra Madre del Sur	Depresión del Balsas	20.30	Sierra	19.27
			Valle	1.03
	Sierras y valles Guerrerenses	4.13	Sierra	2.25
			Lomerío	1.88
		100.00		100.00

## 2.4. Edafología

Los suelos predominantes en el Estado de México son los Andosoles, Regosoles, Feozems, Vertisoles, Cambisoles y Leptosoles (**Figura 6**). Los Andosoles se encuentran ubicados principalmente en la zona central del estado, en donde la altura sobrepasa los 2800 msnm; Los Regosoles predominan en la zona sur de Tejupilco y límites de Guerrero y Michoacán; Los Feozems se sitúan en la parte norte, y unas pequeñas áreas en el suroeste; Los Vertisoles se encuentran ubicados en el valle de Ixtlahuaca, Atlacomulco, Jilotepec y Texcoco. Los Cambisoles predominan en la parte sur en conjunto con los Andosoles con alturas inferiores a 1,800 msnm y Los Leptosoles se observan en el sur con límites en Morelos,

En poco más de la mitad del territorio estatal (54.57% de acuerdo al anuario estadístico y geográfico de México, 2016), se presentan suelos de los grupos Feozems, Andosoles y Regosoles. El resto de la superficie corresponde a los demás grupos edáficos (Plan estatal de desarrollo urbano, 2008).



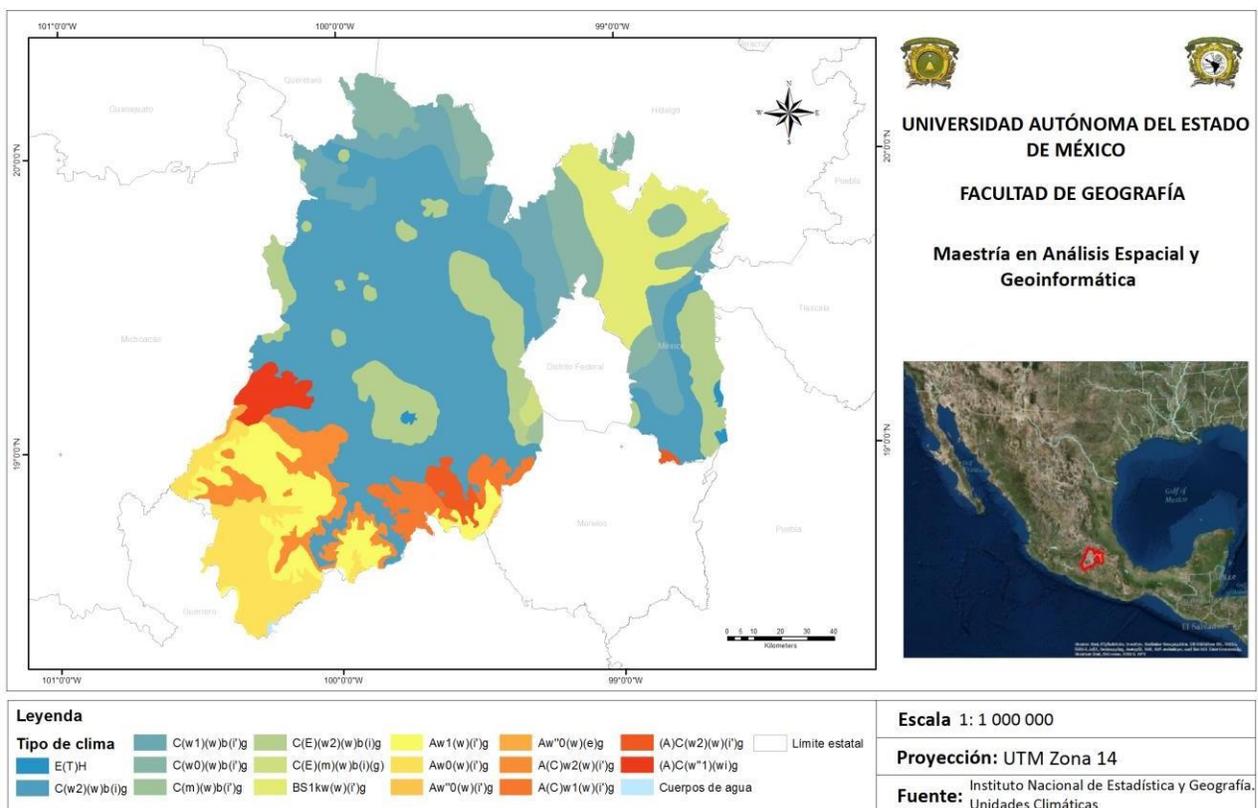
**Figura 6:** Tipos de suelo presentes en el Estado de México

Los suelos de tipo Feozems se caracterizan por ser aptos para la agricultura; los Andosoles, derivados de cenizas volcánicas, son altamente susceptibles a erosionarse y poco aptos

para uso agrícola; los de tipo Regosoles, formados por materiales sueltos diferentes del aluvial, son con frecuencia pedregosos, su aptitud para la agricultura es moderada y se encuentran en zonas de montaña y lomeríos. Este tipo de suelo es colapsable al igual que los Andosoles (Plan estatal de desarrollo urbano, 2008).

## 2.5. Clima

El clima predominante en la entidad es el llamado Templado o Mesotérmico, aunque en términos generales, en el Estado se presentan cuatro climas básicos que se distribuyen conforme a la orografía de su territorio: los templados en los valles elevados; los semifríos y fríos en las montañas, en las regiones del centro y oriente; los semisecos en las zonas del nororiente y los semicálidos y cálidos en las regiones del sur y sur poniente, en los límites con el Estado de Guerrero (Anuario estadístico y geográfico de México, 2016).



**Figura 7:** Tipos de climas presentes en el Estado de México

La temperatura media anual es de 14.7°C y una precipitación total anual de 900mm (Información económica y estatal, 2015).

Tipo o subtipo	Símbolo	Total (%)
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	A(W)	10.32
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	ACw	10.36
Templado subhúmedo con lluvias en verano	C(w)	61.82
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	C(E)(m)	0.67
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	C(E)(w)	10.90
Semiseco templado	BS1k	5.77
Frío	E(T)	0.16
		100.00

**Tabla 3:** Superficie estatal por tipo de clima

La temporada de lluvias inicia la segunda quincena del mes de mayo, para terminar en la primera quincena del mes de octubre. En las Sierras Nevada, de las Cruces, Nanchititla y Nevado de Toluca se presentan los más altos valores pluviométricos, entre 1,000 y 1,600 mm al año, mientras que la región más seca corresponde al nororiente de la entidad, donde la precipitación va de 600 a 700 mm anuales (Plan estatal de desarrollo urbano, 2008).

Las heladas y granizadas presentan frecuencias que van desde 10 hasta 160 días al año dependiendo del tipo de clima. Los vientos predominantes en el Estado son los alisios (vientos orientales); también se registran desplazamientos de masas de aire frío de orígenes árticos y polares.

## 2.6. Vegetación

En el territorio estatal se identifican 5 tipos de vegetación: bosques de clima templado y frío, selva baja caducifolia, matorral, pastizal y vegetación acuática o hidrófila (**Tabla 4**).

Los bosques representan el 26% de la superficie estatal, la selva representa el 4.1%. La mayor concentración y diversidad de los bosques de clima templado y frío, se encuentra en la cuenca del río Balsas y los principales sistemas montañosos (Sierras de Monte Alto, de las Cruces, Nevada y Nevado de Toluca). La selva baja caducifolia, se localiza en las laderas de los cerros cuyas altitudes son menores a los 1,700 msnm, en los ambientes cálidos de la región hidrológica del Balsas; Los matorrales y pastizales semiáridos se localizan en el norte de la entidad, mientras el pastizal de alta montaña, se presenta en altitudes mayores a los 3,600 msnm; la vegetación acuática se localiza en la rivera de los escurrimientos y cuerpos de agua (Anuario estadístico y geográfico, 2016)

Concepto	Nombre científico	Nombre local	Utilidad
Bosque	<i>Pinus montezumae</i>	Ocote blanco	Comercial, Industrial
	<i>Pinus pringlei</i>	Pino	Comercial, Industrial
	<i>Quercus rugosa</i>	Encino quebracho	Comercial, Industrial
	<i>Quercus magnoliifolia</i>	Encino nopis	Comercial, Industrial
	<i>Abies religiosa</i>	Oyamel	Comercial, Industrial
Selva	<i>Lysiloma acapulcense</i>	Tepehuaje	Doméstico, Forraje
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guacíma	Doméstico, Forraje
	<i>Bursera copallifera</i>	Copal	Doméstico
	<i>Ipomoea wolcottiana</i>	Cazahuate	Doméstico, Medicinal
	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Brasil	Doméstico, Medicinal
Matorral	<i>Opuntia streptacantha</i>	Nopal cardón	Comestible, Doméstico
	<i>Mimosa biuncifera</i>	Gatuno	Doméstico, Medicinal
	<i>Senecio praecox</i>	Palo loco	Doméstico
	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Vara dulce	Doméstico, Medicinal
	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Doméstico, Forraje
Pastizal	<i>Muhlenbergia macroura</i>	Zacatón	Forraje
	<i>Festuca tolucensis</i>	Zacate	Forraje
	<i>Calamagrostis tolucensis</i>	Zacatón	Forraje
	<i>Bouteloua repens</i>	Navajita	Forraje
	<i>Distichlis spicata</i>	Zacate salado	Forraje
Vegetación hidrófila	<i>Cyperus</i> sp.	Tulillo	Artesanal, Doméstico
	<i>Typha domingensis</i>	Tule	Artesanal, Doméstico
	<i>Schoenoplectus</i> sp.	Tule	Artesanal
Agricultura	<i>Zea mays</i>	Maíz	Comestible
	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza	Comestible
	<i>Hordeum sativum</i>	Cebada	Forraje
	<i>Opuntia</i> spp.	Nopal verdura	Comestible
	<i>Prunus persica</i>	Durazno	Comestible

**Tabla 4:** Principales especies vegetales por grupo de vegetación

## 2.7. Uso de suelo

El Estado de México se distingue porque la variedad y desarrollo de las actividades económicas, en interacción con los asentamientos humanos, han originado una compleja distribución de usos del suelo, recurso que constituye un elemento estratégico para el desarrollo urbano (Plan estatal de desarrollo urbano, 2008). (Plano Clave D-10, Usos de suelo, Plan estatal de desarrollo urbano, 2007).

Los usos no urbanizables ocupan una superficie que representa el 79.2% del territorio estatal. Entre estos, los usos agropecuario y forestal abarcan alrededor de tres cuartas partes de la entidad.

Por su parte, la superficie urbana actual representa el 7.4% de la superficie estatal, mientras otras han sido clasificadas como urbanizables por los planes municipales de desarrollo urbano aprobados que equivalen al 4.2% del territorio del Estado (Anuario estadístico y geográfico de México, 2016).

Concepto	Clase o subclase		Total (%)	
	Clave	Descripción		
Uso agrícola	A1	Mecanizada continua	33.78	100.00
	A2.2	De tracción animal continua	7.29	
	A3	De tracción animal estacional	0.78	
	A4	Manual continua	33.74	
	A5	Manual estacional	11.64	
	A6	No aptas para la agricultura	12.77	
Uso pecuario	P1	Para el desarrollo de praderas cultivadas	35.26	100.00
	P2	Para el aprovechamiento de la vegetación de pastizal	0.69	
	P3	Para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal	11.90	
	P4	Para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino	35.15	
	P5	No aptas para uso pecuario	17.00	

**Tabla 5:** Superficie estatal de uso potencial agrícola y pecuario

## **CAPÍTULO 3. MATERIALES Y METODOS**

### **3.1. Material vegetal**

Para generar la base de datos, se realizó trabajo de gabinete que consistió en la búsqueda de registros de colecta y localización de la especie *Jatropha curcas L.*, en la literatura y en bases de datos en línea como la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB), CONABIO y Global Biodiversity Information Facility (GBIF), así mismo se solicitó las bases de datos de la Red Jatropha del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) mediante el organismo encargado, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

### **3.2. Material de escritorio**

Los insumos utilizados fueron:

- Programas: MaxEnt 3.3.3, ArcGis 10.2.2, Idrisi Selva 17.0, Biomapper 4, IBM SPSS Statistics 19, Google earth, Word y Excel.
- Variables ambientales descargadas de internet (Superficies Climáticas para México), Resolución espacial de 30 arcos de segundos (1 km)
- Mapas temáticos y políticos.
- Computadora.

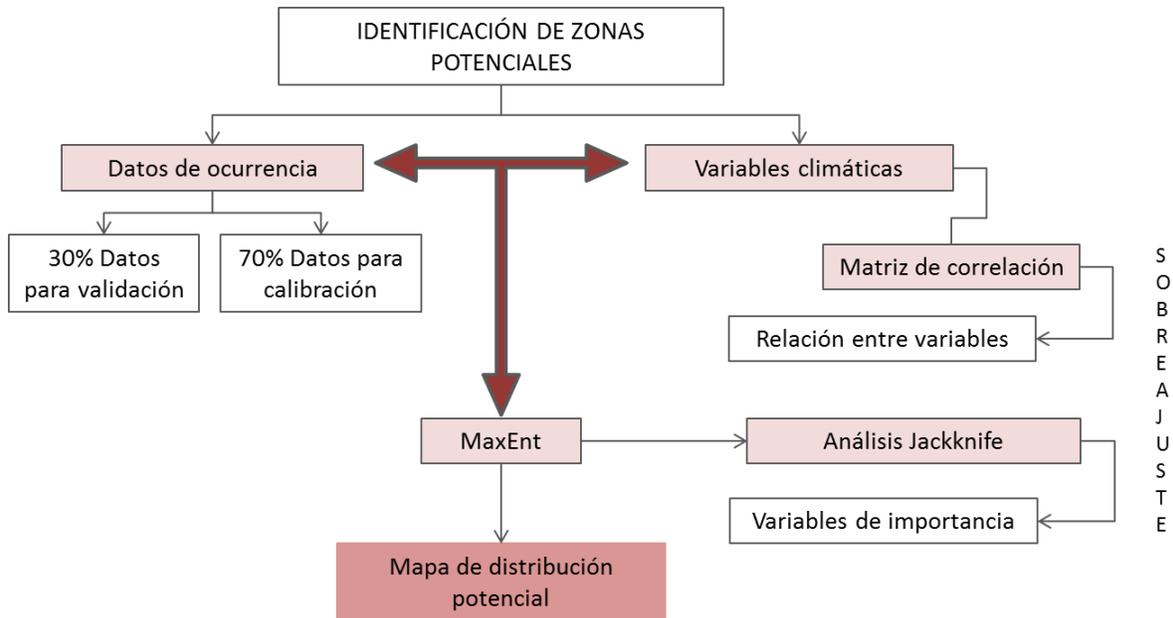
### **3.3. Etapas Metodológicas**

La metodología consistió en dos etapas específicas, cada una con diferente escala de trabajo, la primera etapa fue la identificación de zonas potenciales y la segunda, derivada de la primera etapa fue el análisis socioeconómico de las zonas potenciales identificadas.

### 3.3.1. Etapa metodológica 1. Identificación de Zonas Potenciales

Para entender mejor la metodología presentamos un flujograma (**Figura 8**) que resume los pasos que se siguieron para cumplir los objetivos.

**Figura 8: Diagrama Metodológico para la Identificación de Sitios Potenciales**



#### 3.3.1.1 Bases de datos de la especie

Se encontraron un total de 428 registros, la mayoría de ellos fueron colectados entre los años de 2010 y 2016, estos fueron revisados y se verificó que la fuente de colecta correspondiera al lugar donde estaba siendo reportada para esto se sistematizó la base de datos con los siguientes parámetros

1. Nombre científico.- Dentro de la base de datos se utilizaron solo especímenes que fueron identificados a nivel de especie y que correspondieran a *Jatropha curcas L.*
2. Año de colecta.- Se coloca el año en el que el registro fue visto o colectado
3. Estado, municipio y localidad.- Se verificó que el registro contara con estos datos
4. Descripción de la localidad.- en esta sección se proporcionaba una pequeña descripción del lugar de colecta
5. Elevación.- La elevación se la determina con un GPS o Altimetro en campo

6. Colector y Número de Colecta.- Se anota a la persona quien realizo la colección y el número de esta colección.
7. Identificador.- Se anota el nombre de la persona quien identifico el espécimen y el año en que la hizo.
8. Latitud y Longitud.- La casilla de las coordenadas es una de las más importantes, ya que son la base para encontrar la distribución de la especie por lo que deben ser verificadas una por una, primero verificando que se encuentren en el estado, municipio y localidad en el que el registro es reportado, luego en el programa Google Earth se verifica que el lugar del registro coincida con la descripción del lugar colectado. Si el registro presentada alguna inconsistencia, por ejemplo que las coordenadas marcaran un lugar completamente distinto al lugar reportado, estos eran excluidos de la investigación.
9. Duplicados.- Se encuentra las siglas de los herbarios donde se tienen los duplicados del espécimen.
10. Observaciones.- Se anotó la procedencia de las colecciones para poder tener tenerla identificadas y que no se duplicara la información. Se descartaron los datos de los especímenes con identificación no segura dentro del MDE.

#### 3.3.1.2. Base de datos climática

Las condiciones climáticas determinan en muchos casos la distribución de la especie y sus interacciones (Franklin, 2010), principalmente por la relación e influencia que tienen con la fisiología de las especies y su comportamiento.

Es por ello que se utilizaron 19 variables climáticas (Tabla6) realizadas por Cuervo-Robayo *et.al.* (2013), investigadores de Investigadores de la UAEMéx, UNAM, y el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, en donde actualizaron las superficies climáticas para México a nivel mensual (periodo 1910 - 2009), utilizando ANUSPLIN como método de interpolación. Los datos se encuentran en formato raster (.rst) a una resolución espacial es de 30 arcos de segundo ( $\approx 1$  km), con sistema de referencia latitud/longitud (no proyectadas) y con un datum de WGS84.

#### 3.3.1.3. Fraccionamiento de datos

Para una mejor evaluación del modelo los fueron fraccionados en dos 75% para la calibración (datos utilizados para la predicción del modelo) y 25% de los registros fueron

utilizados para la validación (datos que no se toman en cuenta dentro del modelo) (Echarri et al., 2009); se utilizó un procedimiento Jackknife que consiste en sacar un punto y entrenar el modelo con los restantes, para determinar si este modela el punto faltante (Kumar, 2009).

**Tabla 6: Descripción de las 19 variables climáticas.**

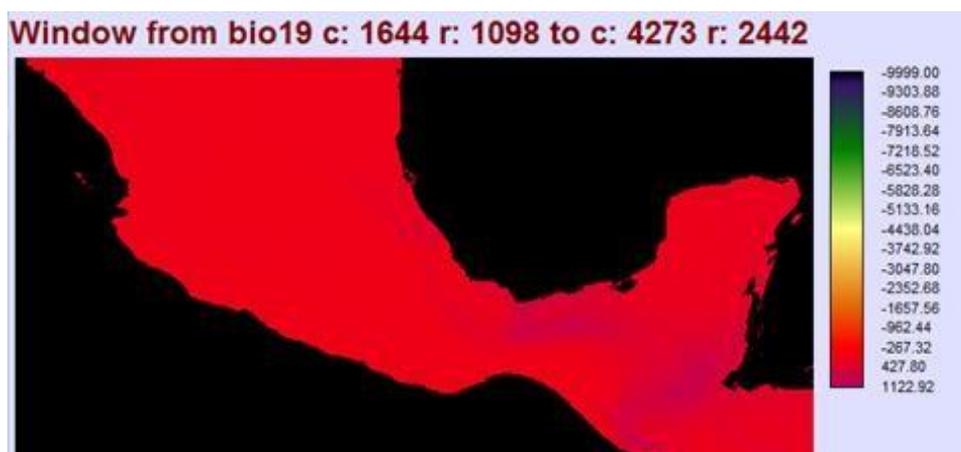
Variable	Descripción
Bio 1 =	Temperatura media anual
Bio 2 =	Rango de temperatura diurno medio (media mensual de (Tem max - Tem min))
Bio 3 =	Isotermalidad $((\text{Bio}2/\text{Bio } 7)*100)$
Bio 4 =	Estacionalidad de temperatura (desviación estandar*100)
Bio 5 =	Temperatura máxima del mes más caliente
Bio 6 =	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7 =	Rango de temperatura anual (Bio5-bio6)
Bio 8 =	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio 9 =	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10 =	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 11 =	Temperatura media del trimestre más caliente
Bio 12 =	Precipitación total anual
Bio 13 =	Precipitación del mes más húmedo
Bio 14 =	Precipitación del mes más seco
Bio 15 =	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
Bio 16 =	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17 =	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18 =	Precipitación del trimestre más caliente
Bio 19 =	Precipitación del trimestre más frío

#### 3.3.1.4. Delimitación del área de modelado

Para modelar la distribución potencial de *Jatropha curcas* L. con base a un modelo de nicho ecológico se requiere delimitar el espacio geográfico, para ello se construyó una máscara "M" que delimita los límites geográficos del modelo (**Figura 9**)

La máscara se construyó a partir de la distribución actual de la especie, mediante los registros de presencias obtenidos de las bases de datos y con los archivos vectoriales en formato shape (shp.) de los límites estatales a nivel nacional, obtenidos del portal de INEGI, y fueron procesados con el programa IDRISI Selva 17.0, con el fin de obtener una plantilla única con límites extremos del área a modelar y así poder cortar y homogenizar

las variables climáticas a utilizar en el modelo en los parámetros de extensión, valores nulos, tamaño de pixel, proyección y formato.



**Figura 9:** Ejemplo de corte de las variables climáticas a partir de la máscara generada

#### 3.3.1.5. Elaboración del modelo MaxEnt

Se utilizó el programa MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips et al., 2006) (disponible en línea), con un formato de salida “Logistic” (clasifica el valor de los píxeles de 0 a 1 e interpreta la escala como la probabilidad de presencia (Merow et al., 2013)), y un análisis de datos “Auto features”. Los datos tuvieron que ser procesados en el programa Excel e ingresados a MaxEnt en un formato “csv delimitado por comas” con las siguientes características: Especie, latitud y longitud con coordenadas geográficas, esto para que el programa pudiera leer el archivo.

Una vez ingresadas las variables climáticas, se corrió el programa por primera vez, utilizando todas las variables y así poder obtener el análisis de “Jackknife” (se encuentra dentro de los procesos auxiliares de MaxEnt y que permite el cálculo de la contribución relativa de las variables (Phillips et al. , 2006)) para poder comparar con la matriz de correlación, con el fin de quitar las variables ambientales que aportaban 0% al modelo o que incluso se correlacionaban, posteriormente se hizo correr nuevamente el programa sin estas, para sacar el modelo de zonas potenciales.

#### 3.3.1.6. Evaluación del modelo

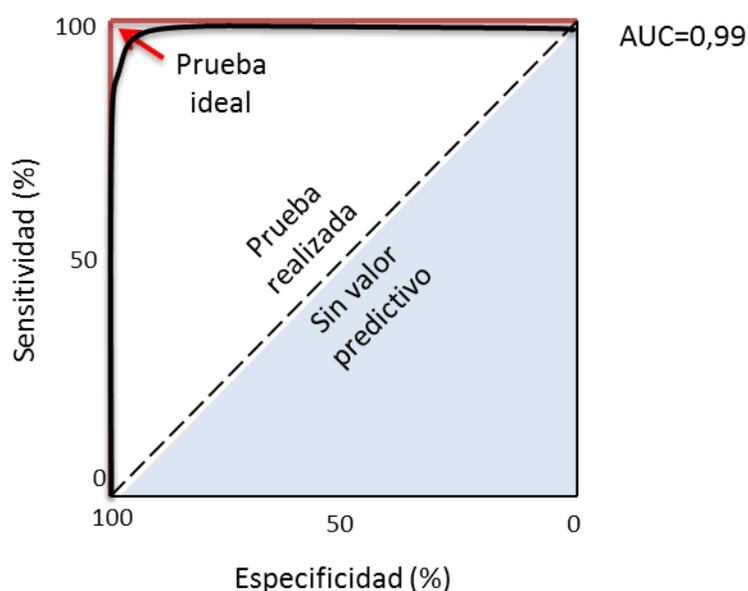
La primera evaluación del modelo fue a través del Receptor del Funcionamiento Característico (ROC, por sus siglas en inglés), de los que se derivan el área bajo la curva

(AUC por sus siglas en inglés), obtenido con el mismo programa MaxEnt, y se considera como indicador para evaluar el desempeño del modelo (Mooney, 2010; Franklin, 2010).

Para el caso de los modelos de distribución, el valor de AUC es un valor único que mide la distinción entre sitios en donde la presencia de la especie es probablemente alta en contra de sitios en los que no (Mooney, 2010).

Existen dos tipos de errores en los modelos de predicción: los errores de omisión (falsos negativos) donde el modelo no considera las áreas de distribución conocidas y los de comisión (falsos positivos), que incluyen áreas que no son aptas para la especie. (Peterson et al., 2008; Mas et al., 2013).

El análisis de la curva ROC (**Figura 10**) muestra en el eje de las "X", la ESPECIFICIDAD que es la tasa de falsos positivos (proporción de pixeles "sin presencia" que son modelados como presencias) y en el eje de las "Y" la SENSITIVIDAD que representa la tasa de positivos verdaderos (proporción de presencias conocidas que fueron modeladas como tales).



**Figura 10:** Curva ROC: Comparación de un modelo ideal y un modelo con un AUC de 0.99

MaxEnt provee un análisis estadístico básico mediante un mapa de distribución de probabilidades que va de 0 a 100%. Para determinar la presencia y ausencia de la especie se aplicó como umbral de corte el décimo percentil de los puntos de entrenamiento, este está basado en los intervalos que incluyen el 90% de los registros y se acepta un 10% de error para excluir aquellos valores que hayan sido mal georreferenciados o que no tengan

una similitud al modelo, es decir, aquellos que no correspondieron a las condiciones actuales en el modelado (Liu et al., 2005; Morueta-Holme et al., 2010).

#### 3.3.1.7. Determinación de la contribución de las variables

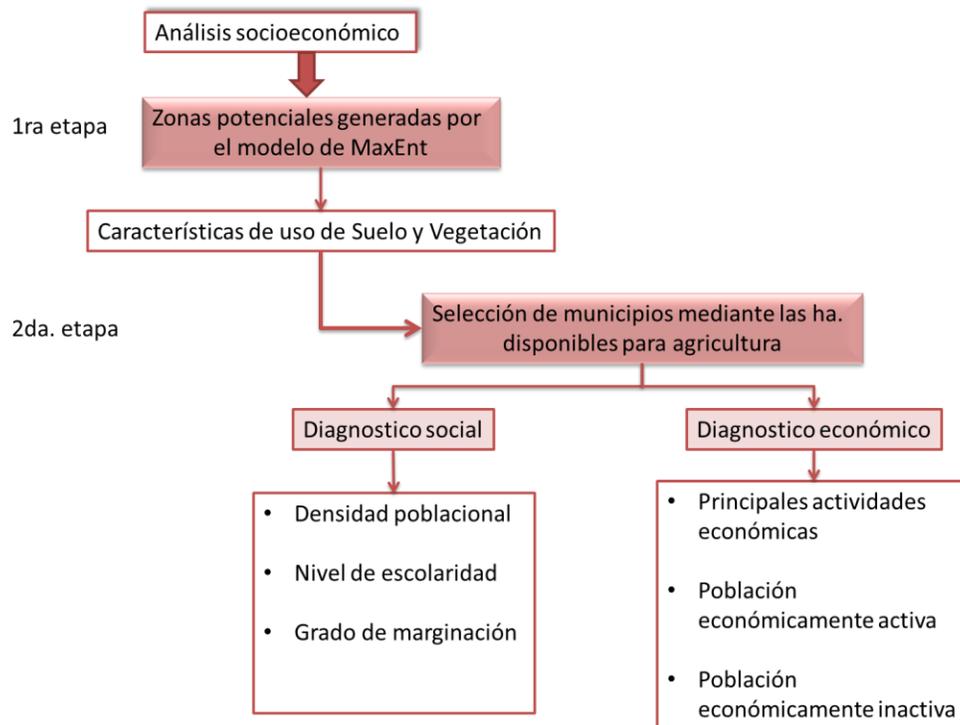
MaxEnt permite identificar la contribución relativa que tiene cada variable en los modelos mediante la prueba de "Jackknife", esta, muestra el porcentaje de contribución de cada variable al modelo (Mooney, 2010).

### 3.3.2. Etapa Metodológica 2. Análisis Socioeconómico

Los procedimientos que se utilizaron para completar el análisis socioeconómico de las zonas potenciales identificadas por el modelo de MaxEnt, comprenden la Identificación de zonas disponibles para agricultura y la caracterización social y demográfica de los municipios seleccionados

La metodología contempla el desarrollo de la investigación, se inició con el análisis de las condiciones físico-naturales que permite conocer las características específicas de cada municipio, seguida del análisis de las características socioeconómicas (población total, densidad, PEA, etc.), con lo cual, se pudo identificar la situación actual para validar la factibilidad de la introducción de la especie.

**Figura 11: Diagrama Metodológico para el Análisis Socioeconómico**



**Para el estudio socioeconómico, se utilizaron las siguientes fuentes de información:**

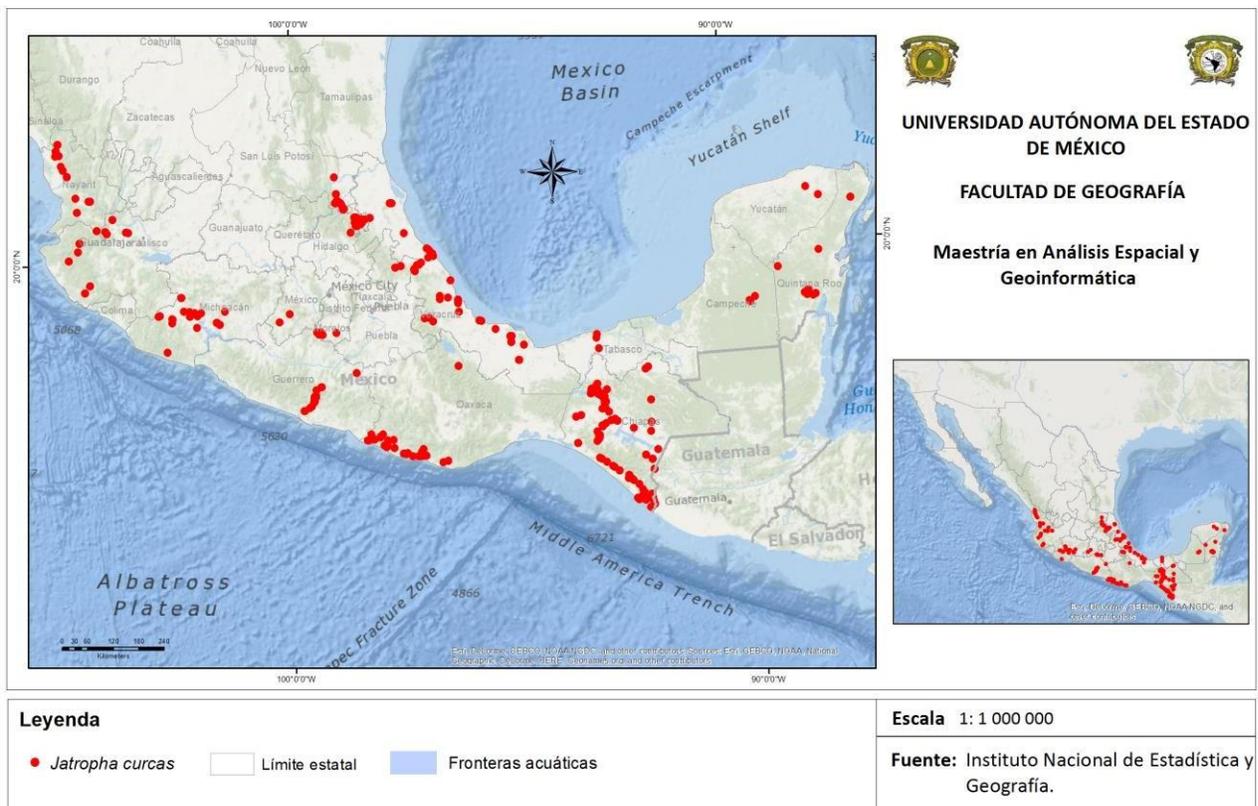
## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se mostraran los resultados obtenidos al aplicar la metodología antes descrita, así mismo la discusión de cada uno de los resultados.

### 4.1. Identificación de Zonas Potenciales

#### 4.1.1. Distribución de la especie

A través de la búsqueda bibliográfica y de bases de datos en internet se integró una base de datos con 428 registros de *Jatropha curcas* L. (Figura 12), distribuidos ampliamente en 14 estados del país en la zona centro-sur.



**Figura 12:** Distribución de *Jatropha curcas* L. mediante puntos de presencia.

Esta amplia distribución se debe que la especie es una planta originaria de México (Pompelli et al., 2010; Trabucco et al., 2010; Reubens et al., 2011), lo cual quiere decir que la planta inició su proceso de domesticación es estas zonas y por lo tanto, existen los

parientes silvestres que originaron este cultivo, se encuentra distribuida en un rango altitudinal que va de los 0 a los 1800 msnm, tolera altas temperaturas así como a condiciones semiáridas, tolera suelos pobres y con bajo contenido de nutrientes, así como arenosos, se le puede encontrar en climas tropicales y semitropicales y presenta fácil establecimiento y rápido crecimiento. (Behera et al., 2010; Trabucco et al., 2010; Ndong et al., 2009; Maes, 2009; Gour, 2006; Achten, 2008).

Sin embargo de los registros que se encontraron, muchos de ellos se encontraban registrados muy cerca unos de otros, así que se hizo una depuración en los registros y se eliminaron 281 de forma aleatoria para así evitar el sobre muestreo y el sobreajuste en el modelo quedando un total de 147 registros útiles para el modelo (**Figura 13**).

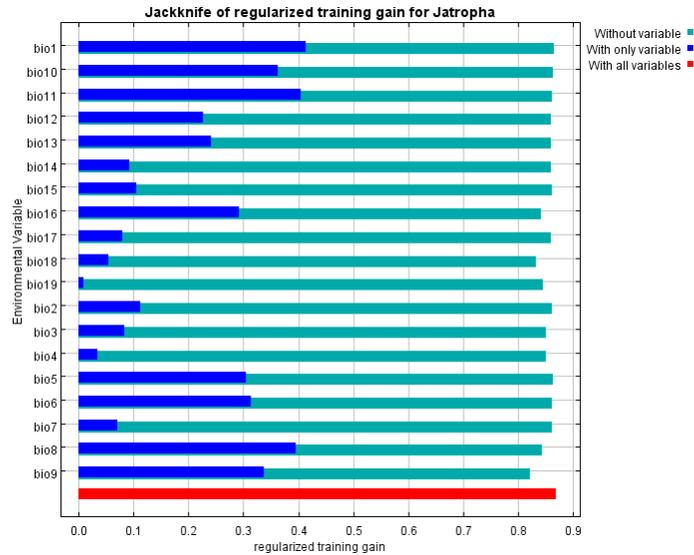


**Figura 13:** Registros utilizados en el modelo

De acuerdo con Tellería et al. (2012) que menciona que una porción de la muestra total debe ser fraccionada para ser analizada por aparte como validación del modelo, esto quiere decir que el modelo debe predecir las zonas correspondientes a los registros separados como validación, para este caso del total de la muestra se separaron un 30 % de ella (44 registros) para utilizarlos como validación y el 70% (103 registros) fueron utilizados para ejecutar el modelo.

#### 4.1.2. Variables seleccionadas para generar el modelo

Antes de realizar el modelado de la distribución potencial de una especie, se recomienda hacer una preselección de variables para evitar una correlación entre ellas (Quinn y Keough, 2002), pues la redundancia o variables irrelevantes pueden inducir sesgos en la mayoría de los modelos. Para ello se utilizaron dos técnicas: el de Jackknife y el de matriz de correlación, donde se obtuvo lo siguiente:



**Figura 14:** Resultados de la prueba de Jackknife para variables de importancia (MaxEnt).

Mediante la prueba de Jackknife (**Figura 14**) se observó que la variable ambiental con mayor ganancia cuando se utiliza de forma es Bio1, esto quiere decir que es la que tiene la información más útil en sí misma. La variable ambiental que disminuye la ganancia cuando se omite es Bio9, que consecuentemente parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables.

Otro factor importante a considerar es la tabla de contribuciones relativas generadas por MaxEnt que te proporciona el porcentaje de contribución de cada variable.

Las variables de mayor contribución fueron: Bio 16 (28.7%), la Bio 1(15.6%), Bio 8 (15.6%), Bio 3 (9.9%), Bio 11 (7.6 %), Bio19 (5.3%), Bio1 (3.7%), Bio9 (3.2%), Bio6 (2.9%), Bio13 (2.3%) y Bio18 (1.9%). Dando así un total del 96.7% de aportación al modelo, el conjunto de las variables restantes tan solo menos del 4%.

#### 4.1.3. Matriz de correlación

La correlación es una medida normalizada de asociación o covariación lineal entre dos variables. Esta medida o índice de correlación  $r$  puede variar entre -1 y +1, ambos extremos indicando correlación perfecta, negativa y positiva respectivamente. Un valor de  $r = 0$  indica que no existe relación lineal entre las dos variables (Vinuesa, 2016).

De acuerdo con Morales (2011) que menciona que no existe como tal una regla para determinar los coeficientes altos y bajos de correlación, sin embargo el más óptimo para variables ambientales es con los siguientes valores

$$< 5 \text{ no existe correlación} \quad \geq 5 \text{ existe correlación}$$

Por ende, con el análisis de la matriz de correlación (**Matriz 1**) se obtuvo que las variables con mayor correlación fueron: la Bio12 y la Bio17 con 10 variables arriba de 5.8 y 5.2 respectivamente; La Bio2 con 8 variables arriba de 5.8; la Bio10 y Bio4 correlacionadas con 7 variables con un coeficiente arriba de 7.7 y 5.5 respectivamente; la Bio 5 y Bio 7 con 6 variables arriba de 8.3 y 7.7 respectivamente.

Y las variables con menor correlación fueron: Bio 1, Bio11, Bio13, y Bio16 con 3 variables; la Bio3, Bio6, Bio8, Bio9, Bio18 y Bio19 tuvieron correlación con 4 variables y la Bio14 con 5, todas con un coeficiente de correlación menor a 5.

La importancia de eliminar la correlación de las variables es para evitar que los datos sean afectados por la colinearidad que es la capacidad de que dos o más variables sean capaces de explicar una tercera.

### Matriz de correlación de las 19 variables climáticas

	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
BIO1	1	-0,276	-0,376	0,262	0,945	0,453	-0,06	0,381	0,28	0,99	0,485	0,262	0,246	0,233	-0,155	0,202	0,932	0,206	0,279
BIO2	-0,276	1	0,579	-0,96	-0,034	-0,501	0,802	-0,27	-0,295	-0,279	-0,248	-0,578	-0,477	-0,579	0,47	-0,408	-0,592	-0,414	-0,606
BIO3	-0,376	0,579	1	-0,818	-0,393	-0,372	-0,018	-0,446	-0,351	-0,472	-0,244	-0,456	-0,4	-0,552	0,354	-0,343	-0,55	-0,488	-0,272
BIO4	0,262	-0,96	-0,818	1	0,364	0,139	0,868	0,395	0,179	0,791	0,096	0,976	0,146	0,404	-0,85	0,092	0,831	0,376	0,328
BIO5	0,945	-0,034	-0,393	0,364	1	0,825	0,25	0,938	0,922	0,958	0,912	0,169	0,17	0,156	-0,065	0,141	0,15	0,138	0,199
BIO6	0,453	-0,501	-0,372	0,139	0,825	1	-0,34	0,91	0,955	0,426	0,257	0,38	0,328	0,335	-0,258	0,274	0,339	0,218	0,391
BIO7	-0,06	0,802	-0,018	0,868	0,25	-0,34	1	0,002	-0,103	0,907	-0,123	-0,771	-0,28	-0,315	0,833	-0,236	-0,931	-0,144	-0,338
BIO8	0,381	-0,27	-0,446	0,395	0,938	0,91	0,002	1	0,939	0,288	0,942	0,251	0,238	0,26	-0,181	0,192	0,255	0,28	0,277
BIO9	0,28	-0,295	-0,351	0,179	0,922	0,955	-0,103	0,939	1	0,96	0,179	0,322	0,298	0,253	-0,152	0,255	0,259	0,203	0,34
BIO10	0,99	-0,279	-0,472	0,791	0,958	0,426	0,907	0,288	0,96	1	0,953	0,765	0,249	0,267	-0,173	0,201	0,264	0,231	0,301
BIO11	0,485	-0,248	-0,244	0,096	0,912	0,257	-0,123	0,942	0,179	0,953	1	0,234	0,229	0,16	-0,095	0,194	0,161	0,143	0,22
BIO12	0,262	-0,578	-0,456	0,976	0,169	0,38	-0,771	0,251	0,322	0,765	0,234	1	0,922	0,726	-0,36	0,881	0,752	0,671	0,804
BIO13	0,246	-0,477	-0,4	0,146	0,17	0,328	-0,28	0,238	0,298	0,249	0,229	0,922	1	0,48	-0,028	0,975	0,499	0,682	0,466
BIO14	0,233	-0,579	-0,552	0,404	0,156	0,335	-0,315	0,26	0,253	0,267	0,16	0,726	0,48	1	-0,797	0,373	0,991	0,412	0,417
BIO15	-0,155	0,47	0,354	-0,85	-0,065	-0,258	0,833	-0,181	-0,152	-0,173	-0,095	-0,36	-0,028	-0,797	1	0,08	-0,805	-0,184	-0,725
BIO16	0,202	-0,408	-0,343	0,092	0,141	0,274	-0,236	0,192	0,255	0,201	0,194	0,881	0,975	0,373	0,08	1	0,391	0,671	0,463
BIO17	0,932	-0,592	-0,55	0,831	0,15	0,339	-0,931	0,255	0,259	0,264	0,161	0,752	0,499	0,991	-0,805	0,391	1	0,516	0,945
BIO18	0,206	-0,414	-0,488	0,376	0,138	0,218	-0,144	0,28	0,203	0,231	0,143	0,671	0,682	0,412	-0,184	0,671	0,516	1	0,324
BIO19	0,279	-0,606	-0,272	0,328	0,199	0,391	-0,338	0,277	0,34	0,301	0,22	0,804	0,466	0,417	-0,725	0,463	0,945	0,324	1

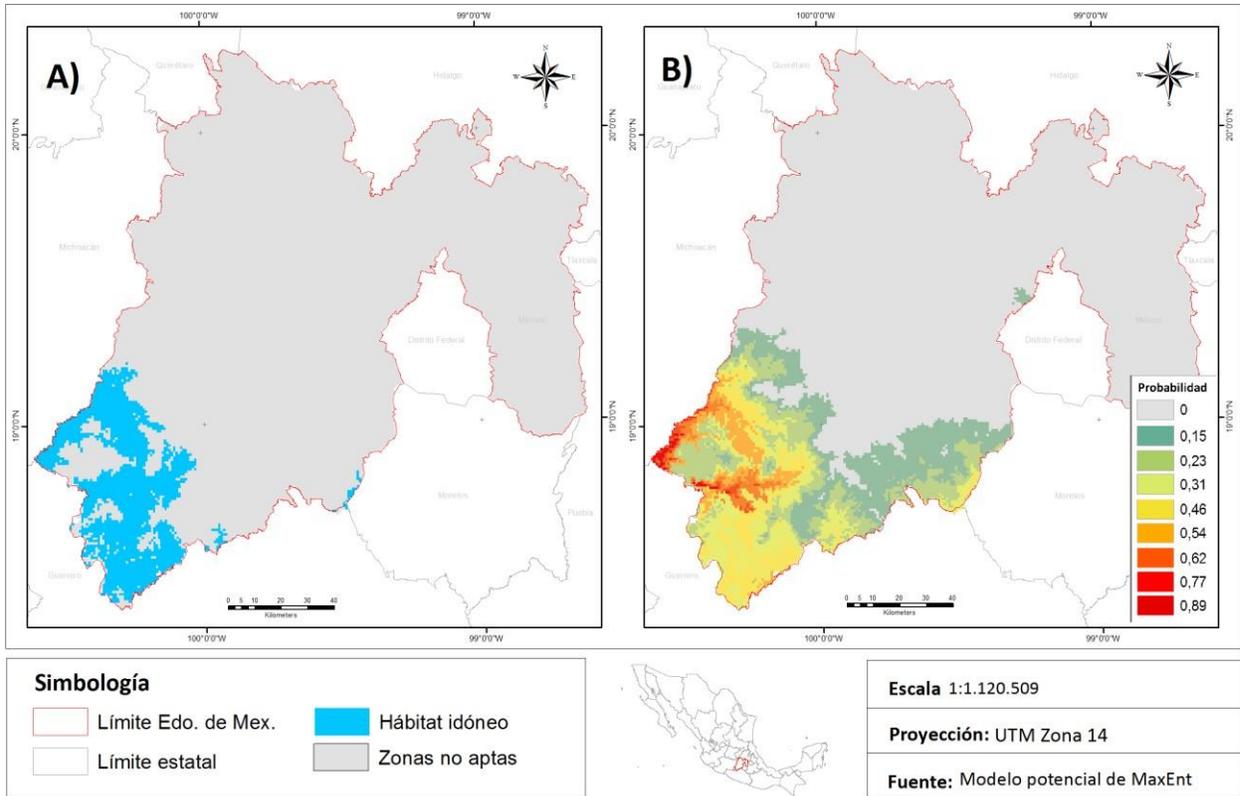
#### 4.1.4. Modelo de distribución potencial

El modelo de distribución potencial de *Jatropha curcas L.* se basó en once variables climáticas (**Tabla 8**). El mapa resultante fue generado en el programa MaxEnt (Phillips et al. 2006), considerado como uno de los de mejor desempeño (Pérez-García y Liria 2013, Elith & Graham 2006, Hernández et al. 2006) que se puede observar en la **Figura 15A**. Para obtener el mapa binario de presencia/ausencia se aplicó el algoritmo de 10 percentil (10 percentile training presence) con umbral de corte 0.316, esto permitió proponer una distribución de áreas con “hábitat idóneo” (**Figura 15B**).

Variable	Descripción
Bio 1	Temperatura media anual
Bio 3	Isotermalidad ((Bio2/Bio 7)*100)
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio11	Temperatura media del trimestre más caliente
Bio 13	Precipitación del mes más húmedo
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 18	Precipitación del trimestre más caliente
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

**Tabla 8:** Variables climáticas utilizadas en el modelo de predicción.

El modelo resultante tuvo un buen desempeño (Marmion et al. 2009) y aun teniendo solo datos de presencia, se considera una ventaja, debido a que la obtención de ausencias estrictas es muy difícil (Galparsoro et al. 2009). Sin embargo este tipo de modelación pueden generar sesgos asociados al muestreo (Phillips et al. 2009) y aunque MaxEnt genera las pseudoausencias para la calibración, no se pueden utilizar para la evaluación del modelo (Anderson et al. 2003, Peterson et al. 2011), es por ello que se tienen que tomar un porcentaje de los registros para la calibración del modelo.



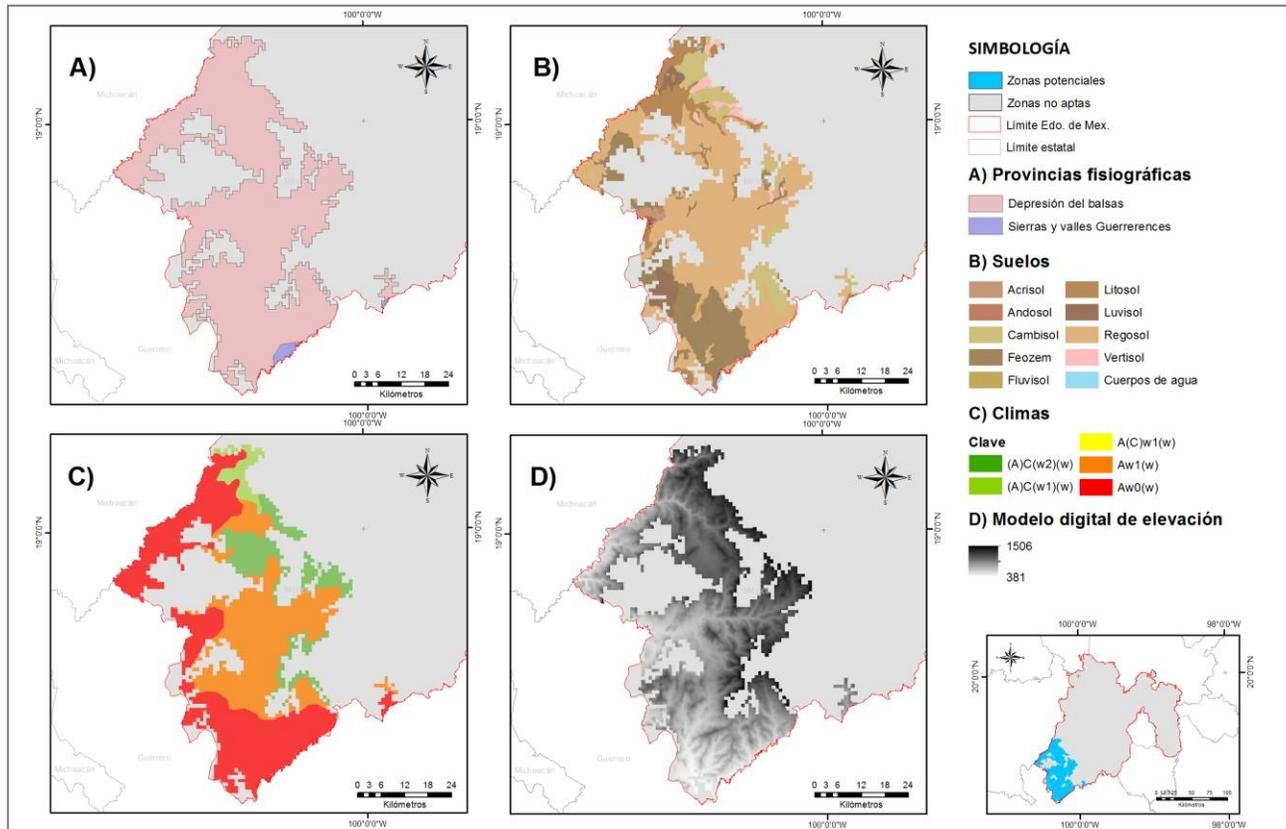
**Figura 15: Modelo de probabilidad y zonas aptas**

El área potencial basada en el modelo, se localiza al sur-oeste del Estado de México con un área total de 211,571.04 ha., ubicadas principalmente en la provincia fisiográfica: depresión del balsas (**Figura 16 A**) predominando los climas cálido subhúmedo ( $AW_0$  y  $AW_1$ ), semicálido subhúmedo ( $(A)Cw_1(w)$ ) y templado subhúmedo ( $((A)C(w_1)(w)$  y  $(A)C(w_2)(w)$ ), Según el sistema de clasificación de Köpen Modificada por Enriqueta García 1973. (**Figura 16C**) fue de acuerdo a Achten (2008) la especie a pesar de tolerar distintas condiciones climáticas, esta prefiere climas tropicales y semitropicales.

En esta zona las unidades de suelo predominante son (**Figura 16B**): Regosol, Feozem, Luvisol, Cambisol y en menor escala se encuentran los suelos Litosol, Acrisol, Andosol, Fluvisol, Vertisol. (DETENAL, 1973). Y las elevaciones se encuentran entre los rangos de 381 a 1506 msnm (**Figura 16C**). Que de acuerdo con

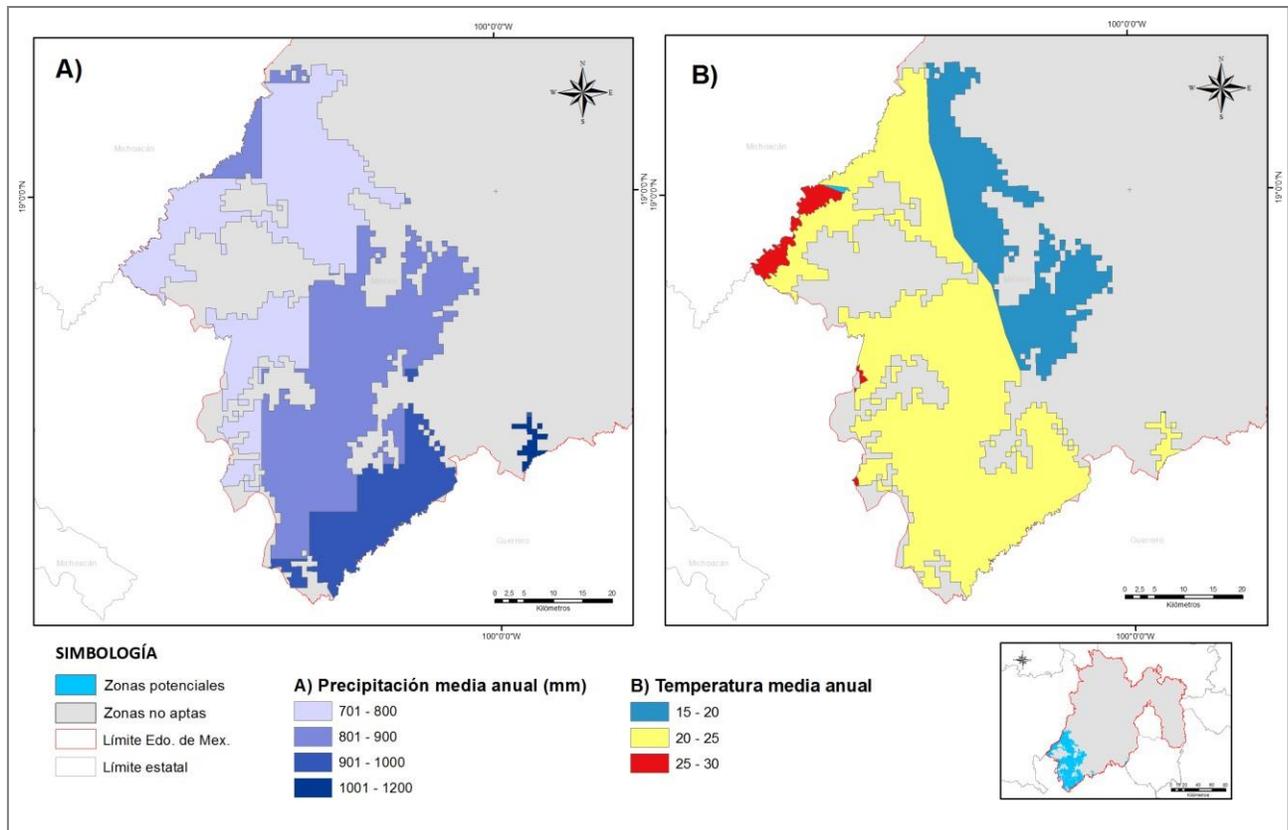
Los resultados obtenidos resaltan la importancia del conocimiento de la biología de la especie y de las características del hábitat en el que se encuentran. Tal es el caso, que varios autores tales como: SENASICA (2012); SIAP (2012); Gaona (2009); Zamarripa (2008) y Martínez (2008) mencionan que esta especie tiene altos rangos de tolerancia, sin embargo sus óptimos para el crecimiento y potencialidad son:

- Altitud: para un potencial alto se debe encontrar entre los rangos 0 – 1000 msnm y para potencial medio 1000 – 1500 msnm.
- Precipitación: las precipitaciones de 700 – 1300 mm, son preferentes para un potencial alto y las que van de 300 – 700 y 1300 – 1800 mm son zonas de potencial medio (**Figura 17A**).
- Temperatura: la especie tendrá un potencial alto con un rango de temperatura que va de 18 - 28° C y potencial medio de los rangos de 11 - 18 y 28 - 34° C (**Figura 17B**).



**Figura 15.** Características fisiográficas, edáficas, climáticas y altitud de las zonas potenciales.

De manera que los modelos puedan ser refinados y así proponer de mejor manera una aproximación de la distribución de las especies.



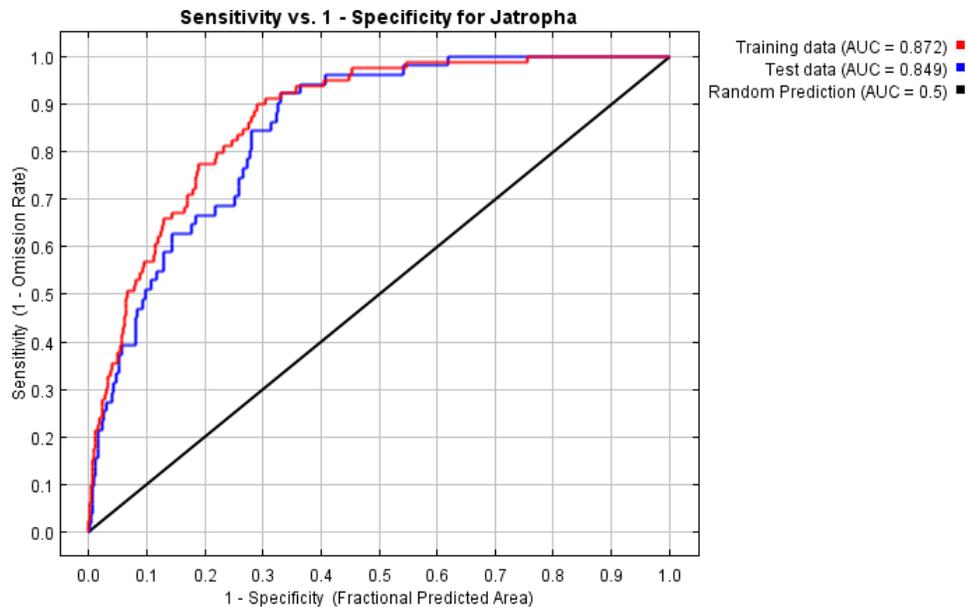
**Figura 16:** Precipitación y temperatura de las zonas potenciales.

Actualmente existen métodos diversos para modelar la distribución de especies por ejemplo: método cartográfico dependiendo de los registros de presencia de la especie, el trazado a mano definido por opinión experta y el modelado de nicho ecológico, sin embargo el único modelo que puede considerarse confiable, es el último, ya que los demás pueden no ser específicos y sobre estimar el área de distribución (Mota-Vargas y Rojas-Soto, 2012). El modelado basado en nicho generalmente produce predicciones de distribución potencial más apegados a la realidad, siempre y cuando la resolución de las variables ambientales sea adecuada para reflejar las necesidades de hábitat de la especie de estudio. (Mota-Vargas y Rojas-Soto, 2012).

#### 4.1.5. Rendimiento del modelo

El modelo mostró un buen ajuste con los datos tanto de calibración como de validación obteniéndose valores cercanos a uno, de (0.872) y (0.849) respectivamente (**Figura 17**); confirmando la presencia, así como el potencial de ciertas áreas geográficas al suroeste del Estado de México, esto indica que el modelo pudo predecir las presencias de la especie en la fracción de datos que fueron excluidos del modelo, tomados como datos de

validación, lo que significa que pudo distinguir los sitios donde la presencia de una especie es probable y donde no (Mooney, 2010).



**Figura 17:** Curva ROC del modelo de zonas potenciales

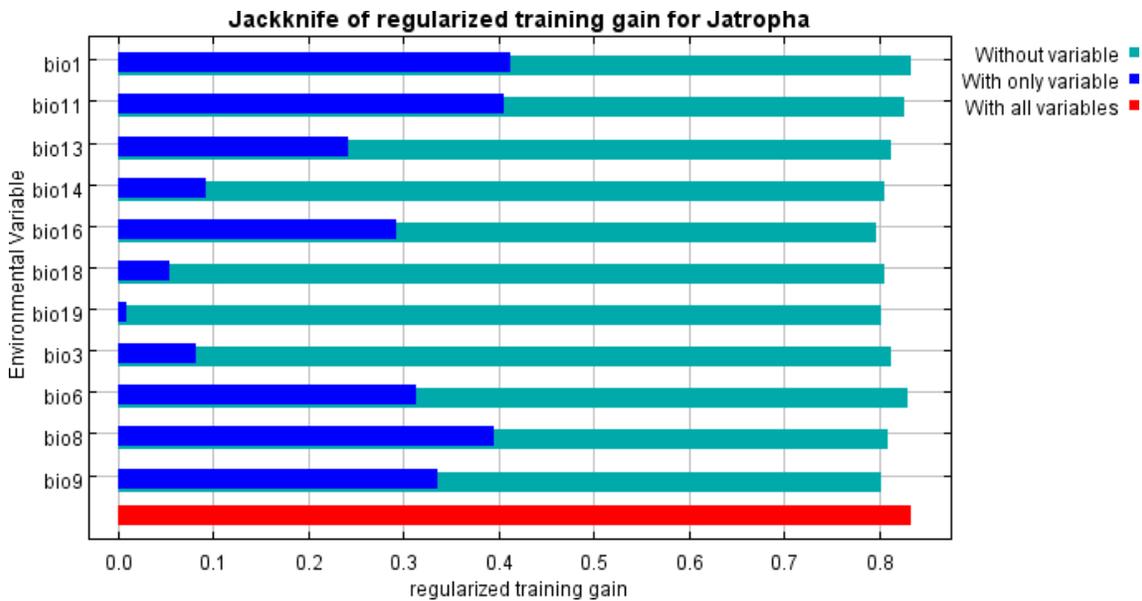
#### 4.1.6. Análisis de la contribución de las variables

Las variables que tuvieron mayor contribución en la construcción del modelo fueron: Bio16, Bio1, Bio8, Bio3, Bio11, Bio19; aportando un porcentaje del 85.2%, las que tuvieron menor contribución por debajo del 5% fueron: Bio6, Bio14, Bio9, Bio18, Bio13; aportando el 14.8% del porcentaje restante.

Variable	% de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación del trimestre más húmedo	31.7	16.6
Temperatura media anual	15	4.1
Temperatura media del trimestre más húmedo	13.5	5.7
Isotermalidad	11	4
Temperatura media del trimestre más caliente	8.6	17.9
Precipitación del trimestre más frío	5.4	14.7
Temperatura mínima del mes más frío	4.8	1.2
Precipitación del mes más seco	4.5	7
Temperatura media del trimestre más seco	2.5	13.9
Precipitación del trimestre más caliente	1.9	2.6
Precipitación del mes más húmedo	1.2	12.3

**Tabla 9:** Contribución de las variables.

Mediante el análisis de Jackknife se observó que las variables con la mayor ganancia al emplearse de manera aislada fueron: temperatura media anual (Bio1), seguida de la temperatura media del trimestre más caliente (Bio11) y Precipitación del trimestre más caliente (Bio8), esto indica que estas variables contienen la mayor información útil por sí misma para la construcción del modelo, la variable Precipitación del trimestre más húmedo (Bio16) fue la que más disminuyó la ganancia cuando fue omitida, seguida de Temperatura media del trimestre más seco (Bio9) y Precipitación del trimestre más frío (Bio19), esto quiere decir que la información que se encuentra en estas variables, parece no estar contenida en ninguna otra variable (**Figura 18**)



**Figura 18:** Análisis de contribución de las variables.

Los valores de las variables seleccionadas reflejaron las condiciones climáticas del Estado de México y coinciden con los requerimientos de la especie según SENASICA (2012); Solís (2009); Gaona (2009); Zamarripa (2008) y Martínez (2008), lo que quiere decir las zonas predichas como potenciales pueden ser consideradas para el establecimiento de *Jatropha curcas L.* y que el modelo a pesar de no contar con puntos de ausencia se considera bueno.

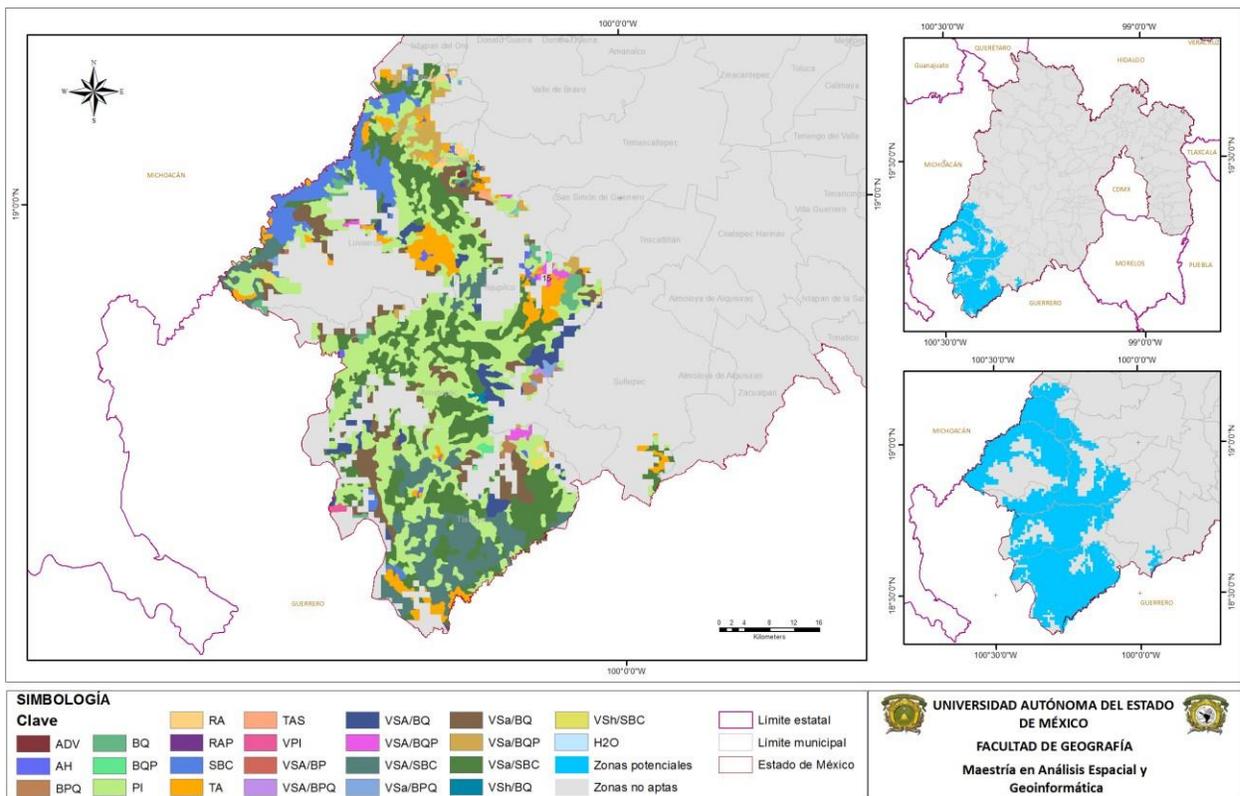
Actualmente la utilización de modelos predictivos se aplican cada día mas, tanto para priorización, identificación de zonas nuevas, hot spot y un sin fin de situaciones, como en diferentes materias (Wearne et al., 2013; Harte et al., 2013; Tellería et al., 2012), sin embargo se siguen considerando las limitaciones que pudieran tener estos modelos (Mateo et al., 2011; Zurell et al., 2009; Pearson et al., 2007; Hampe, 2004; Guisan y

Thuiller, 2005; Pearson y Dawson, 2004) tales como, la aparición de barreras geográficas, la capacidad de dispersión, e incluso el grado de manejo de la especie (Lester et al., 2007; Guisan y Zimmermann, 2000).

## 4.2. Estudio Socioeconómico

### 4.2.1. Delimitación de la zona de estudio

La zona de estudio está delimitada por las zonas identificadas como potenciales en modelo de MaxEnt (**Figura 19**) los municipios que se obtuvieron para realizar el estudio socioeconómico, estuvo determinado por las zonas agrícolas mediante el uso de suelo y vegetación.



**Figura 19:** Uso de suelo y vegetación presente en las zonas potenciales.

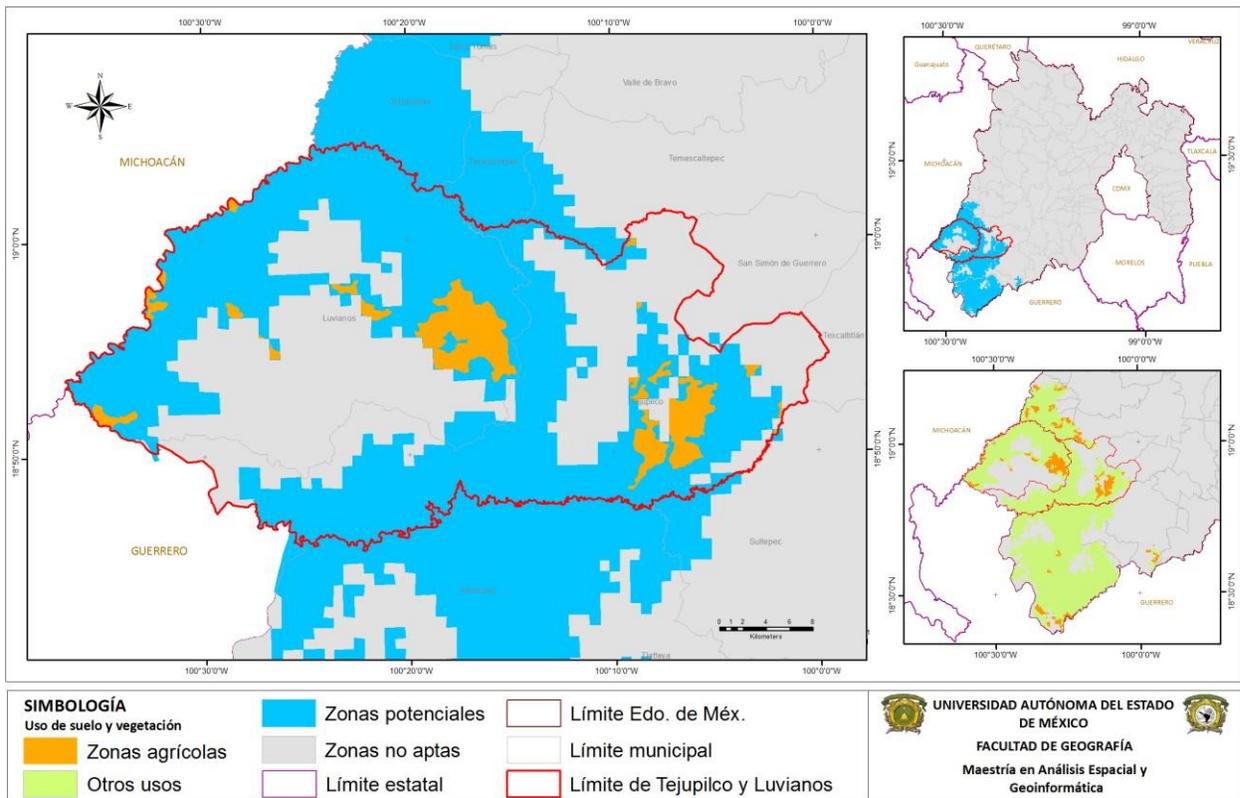
Basándose en la información proporcionada por el INEGI (2015), los principales usos de uso de suelo y vegetación de las zonas potenciales son: pastizal inducido, seguidos de vegetación secundaria arbustiva de la selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino y agricultura de temporal anual. (Tabla 10)

CLAVE	DESCRIPCIÓN	AREA (Ha.)
VSA/BP	Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	44,64
RAP	Agricultura de riego permanente	49,86
H2O	Cuerpos de agua	129,80
ADV	Área desprovista de vegetación	149,43
VSA/BPQ	Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	185,91
TAS	Agricultura de temporal anual y semipermanente	298,41
VPI	Palmar inducido	332,09
VSh/BQ	Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino	345,01
BQP	Bosque de encino-pino	613,93
VSa/BPQ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	774,09
VSh/SBC	Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia	988,19
RA	Agricultura de riego anual	996,01
AH	Urbano construido	1241,60
BPQ	Bosque de pino-encino	1372,93
VSA/BQP	Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	1526,89
BQ	Bosque de encino	3261,96
VSa/BQP	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	4823,86
VSA/BQ	Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	8106,40
SBC	Selva baja caducifolia	12604,34
TA	Agricultura de temporal anual	14257,64
VSa/BQ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	16339,82
VSA/SBC	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	23604,18
VSa/SBC	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	47412,37
PI	Pastizal inducido	72111,68
Total :		211571,04

**Tabla 10:** Descripción del uso del suelo y vegetación presentes en las zonas potenciales.

De acuerdo al análisis mediante el cálculo de áreas agrícolas por municipio se obtuvo, que los municipios que cuentan con mayor área agrícola son: Luvianos y Tejupilco con 5147y 3349 hectáreas respectivamente, Tlatlaya con 2482 ha. Otzoloapan 1405, y los municipios con menos de mil hectáreas fueron: y Temascaltepec con 987, Zacazonapan con 825 y Sultepec con 626 ha.

Por tanto el análisis socioeconómico solo se realizó a los municipios de Luvianos y Tejupilco por tener el mayor número de hectáreas agrícolas (**Figura 20**), ya que en estas son las únicas áreas que pueden proponerse para el manejo de especies productoras tales como *Jatropha curcas* L (INEGI 2015)



**Figura 20:** Zonas agrícolas de las zonas potenciales en los municipios de Tejupilco y Luvianos.

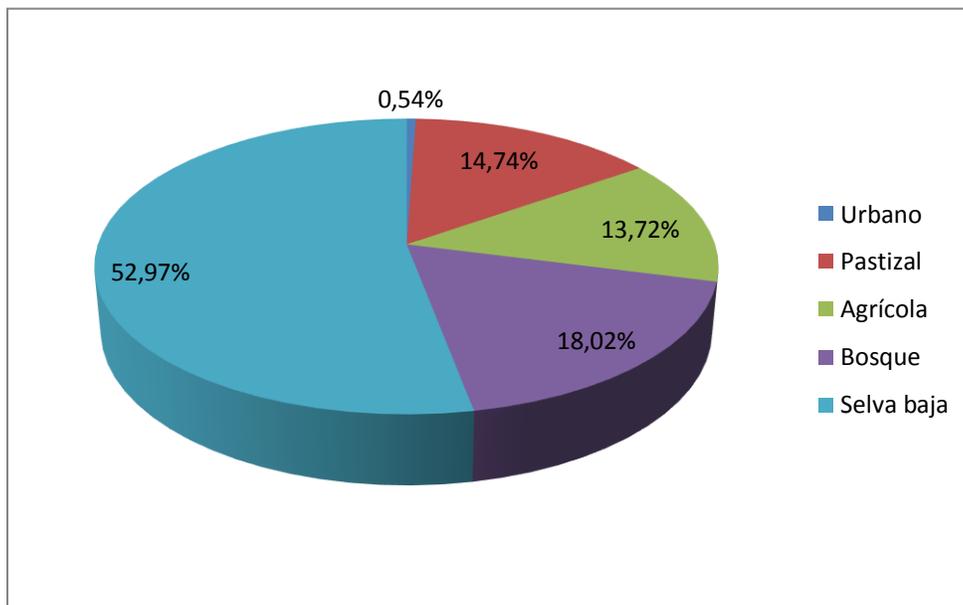
#### 4.2.2. Características de los municipios de Luvianos y Tejupilco

En esta sección se describirán las características socioeconómicas y uso de suelos de los municipios de Luvianos y Tejupilco, con el fin de caracterizar la situación en la que actualmente se encuentran ambos municipios

#### 4.2.2.1. Uso de suelo

##### Luvianos

Las principales zonas de uso agrícola del municipio de Luvianos cuentan con extensión de 5,146.06 hectáreas, principalmente ubicadas en los terrenos bajos de Luvianos, San Juan Acatitlán y El Reparó de Nanchital, y en menor medida en las inmediaciones de los ríos Pungarancho y Temascaltepec, los principales cultivos son maíz forrajero y de gran, jitomate, tomate, calabaza, fríjol y hortalizas; además cuenta con zonas de pastizales con una extensión de 70,300 hectáreas, ocupadas principalmente para uso pecuario; 22,029 hectáreas para recursos forestales y el resto se destinan a diferentes usos, incluyendo los urbanos (**Figura 21**) (Luvianos 2016-2018).



**Figura 21:** Grafica de distribución de uso de suelo de Luvianos

En la gráfica anterior se observa que los usos principales del suelo son, principalmente selva baja y bosque, entre ambas comprenden el 70.99% del territorio municipal, seguidas del pastizal con el 14.74% y uso agrícola con el 13.72%, el suelo que se destina para zonas urbanas comprende tan solo del 0.54%, por lo que hacen de Luvianos un municipio rural.

Los suelos son de cultivo-aluvial y residual, cuya fertilidad va de moderada a alta. Los suelos regosol y cambisol ocupan una extensión de aproximadamente 70%, este tipo de suelos son aprovechados para cultivos regionales, su productividad agrícola va de moderada a alta.

El suelo litosol se localiza al norte de los márgenes del río Pungarancho, ocupan una extensión de aproximadamente 25%, suelo de menos de 10 cm. de espesor sobre roca o tepetate, se utiliza para el pastoreo de ganado de manera moderada. El uso urbano es el

que menos peso tiene en el municipio, pues entre las seis principales localidades apenas abarcan aproximadamente 378 ha correspondiente al 3.1% del total de la superficie (INEGI, 2015)

El municipio forma parte de la Región Hidrológica No. 18 del Río Balsas, en la Cuenca Hidrológica del Río Cutzamala y de las Subcuencas de los ríos Temascaltepec y Tilostoc. En general cuenta con tres ríos importantes de caudal permanente, algunos arroyos de caudal permanente y con una gran cantidad de arroyos y escurrimientos de caudal estacional, así como incontables manantiales de agua en puntos diversos del municipio, para constituir un gran caudal disponible de agua superficial.

Al norte destaca el Río Temascaltepec que es uno de los afluentes del Cutzamala, y constituye el límite natural con los municipios de Otzoloapan y Zacazonapan. Se forma con escurrimientos del Nevado de Toluca y con los afluentes que recibe en el municipio del mismo nombre adquiere un gran caudal, para ser la fuente básica del Sistema Chichotla, que abastece de agua potable a varios municipios y, por supuesto, a algunas localidades de Luvianos, entre las que destacan la propia cabecera municipal, El Estanco, Hermiltepec y Acatitlán; Al nororiente, y como afluente del río Temascaltepec, se ubica el río Chiquito que también es el límite natural con Tejupilco, su origen está en la comunidad de San Lucas del Maíz (Plan municipal de desarrollo urbano de Luvianos, 2003).

El Río Pungarancho se forma en el Estado de Michoacán y en su tránsito al poniente del municipio, se constituye en el límite con ese Estado. Cabe señalar que algunos de los arroyos de caudal permanente son: Acatitlán, El Salto, Aguilares y Palo Gordo. Asimismo, en el municipio se presentan algunos manantiales como Río Frío (INEGI, 2015)

Así pues, los recursos hidrológicos del municipio vastos y la posibilidad de aprovechamiento de las aguas superficiales para usos urbano y agrícola, es alta (Plan municipal de desarrollo urbano de Luvianos, 2003).

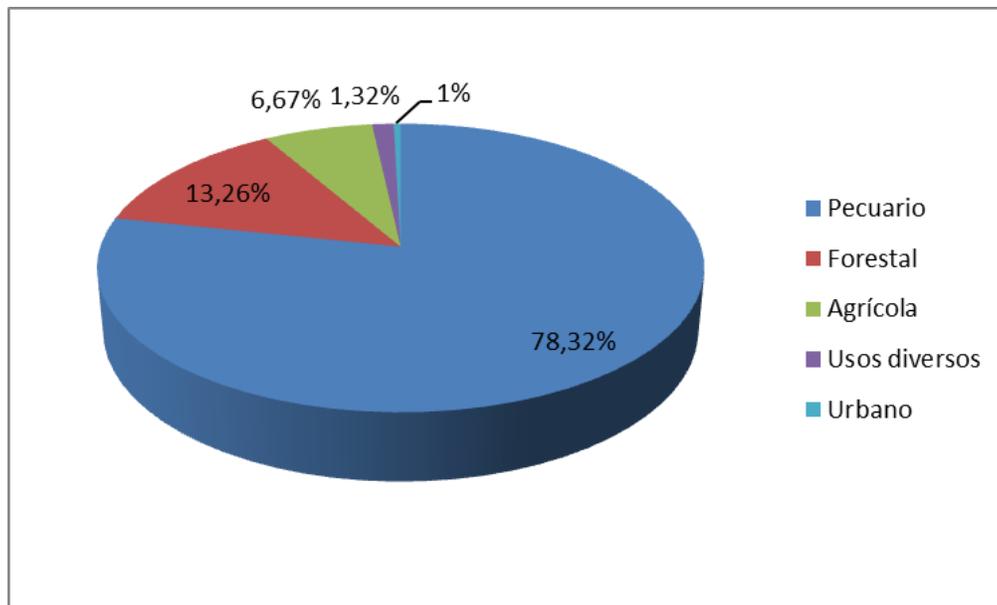
En el municipio predomina el clima Tropical Lluvioso (Awg) con una temperatura media anual de 24.5°C, una temperatura máxima de 38°C y una mínima de 10°C. No obstante, en la Sierra de Nanchititla el clima es lluvioso de transición entre el clima cálido y el templado, con una temperatura media anual de 18°C. En ambos casos la temperatura del mes más caluroso se presenta antes del solsticio de verano (21 de junio)

La temporada de lluvias en Luvianos abarca cinco meses, normalmente de mayo a octubre, registrándose las tormentas más intensas entre julio y septiembre. La precipitación promedio anual oscila entre 1,500 y 2,200 mm. Los vientos dominantes en el municipio se presentan de sur a oeste (INEGI, 2015 y Plan municipal de desarrollo urbano de Luvianos, 2003).

## Tejupilco

La mayor parte del territorio de Tejupilco está cubierta por vegetación secundaria y pastizales, además de contar con una considerable extensión de bosques, las áreas de uso agrícola tienen una extensión de 3,349 hectáreas. Se cultivan principalmente cereales (maíz, trigo, sorgo, arroz, etc.), legumbres, raíces feculentas, hortalizas, leguminosas, Café, caña de azúcar, algodón, tabaco, agaves alcoholeros, (maguey), agaves de fibras (ixtles), girasol, Cártamo y otras oleaginosas, árboles frutales, flores, viveros y campos experimentales.

La siguiente gráfica muestra que el principal uso de suelo en Tejupilco es el Pecuario con un 78.32% seguido del uso forestal y agrícola, este municipio al igual que Luvianos, por tener poco porcentaje de uso de suelo destinado a zonas urbanas, se pueden considerar un municipio en condiciones rurales.



**Figura 22:** Gráfica de distribución del uso del suelo de Tejupilco.

El municipio forma parte de la Región Hidrológica del Río Balsas, de la Cuenca Hidrológica del Río Cutzamala y de la Subcuenca Temascaltepec. Al norte destaca el Río Grande de Temascaltepec, y a la vez es límite municipal; por la parte sur con el municipio de Amatepec, este río recibe como afluente las aguas del Río Tejupilco y desemboca en el río Cutzamala, el cual es afluente del Balsas.

El río Tejupilco nace en las colinas de los cerros Cacalotepec y la Cumbre, en cuyo lugar se le adjudica el nombre de río de San Simón, el cual toma dirección al sur, atraviesa el área urbana cruzando el Valle de Tejupilco, donde converge con los ríos de Jalpan y Rincón del Carmen; posteriormente, atraviesa El Cañón de Santa Rosa, lugar de formación de la cascada llamada El Salto, finalmente cambia de curso en dirección oeste para desembocar en el río San Felipe. Estos ríos, representan la fuente de abastecimiento principal para la

actividad agrícola en el municipio de Tejupilco. La extracción del recurso acuífero se lleva a cabo principalmente mediante bombeo, como uso complementario al de la agricultura, estos ríos son utilizados como abrevaderos (Plan municipal de desarrollo urbano de Tejupilco, 2007).

El clima predominante en las zonas norte y oriente del municipio son, semicálido subhúmedo, donde se cuenta con una temperatura promedio al año que va de 18°C a 26°C, En las zonas sur y poniente se advierte el predominio del clima cálido subhúmedo y una temperatura media anual de 22°C. En general, el municipio alcanza una temperatura máxima de 26°C y una mínima de 18°C.

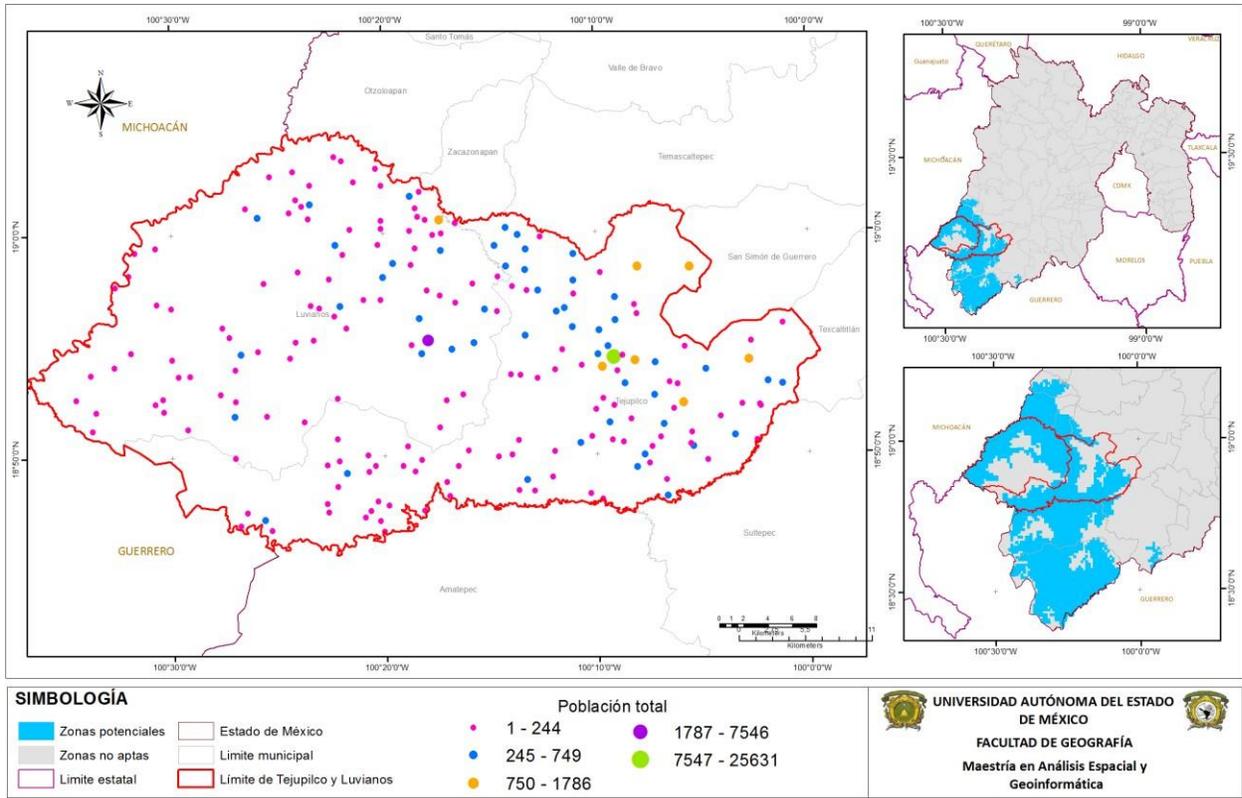
En cuanto a la precipitación promedio, en el área norte y oriente del municipio se establece de 800 a 1,200 mm mientras que en la parte sur y poniente, la precipitación promedio oscila entre 1,000 y 2, 200 mm, siendo los meses de junio a octubre los de mayor precipitación (INEGI, 2015).

#### 4.2.2.2. Caracterización social económica y demográfica

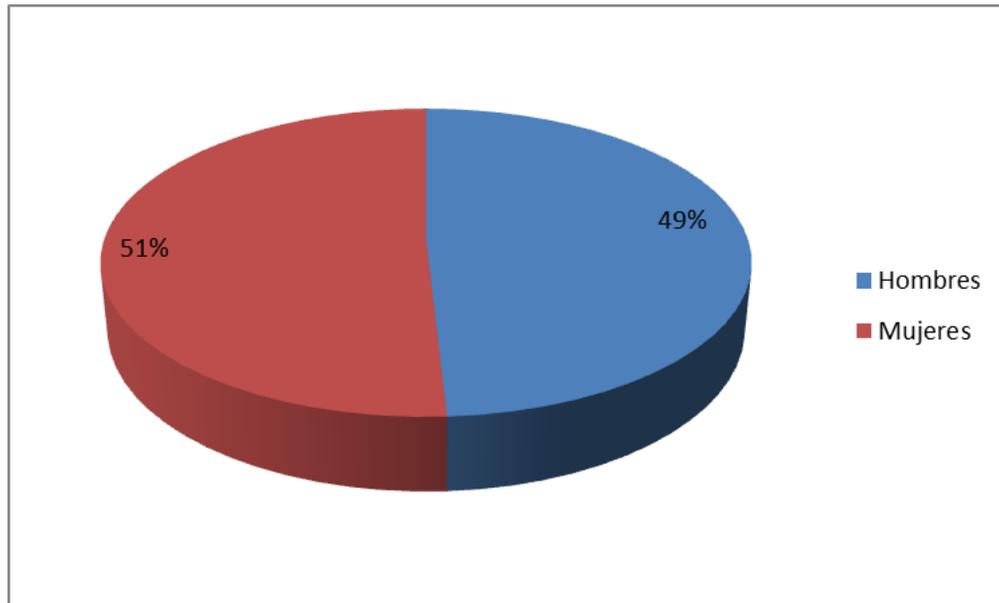
##### **Luvianos**

De acuerdo con el censo realizado por el INEGI en 2015, El Municipio de Luvianos tiene una superficie de 701.62 kilómetros cuadrados, representa el 3.1% del territorio estatal, cuenta con una población de 27,850 habitantes, con una densidad de 39.6 habitantes por kilómetro cuadrado, distribuidas en 168 localidades, de las cuales la localidad que cuenta con más habitantes es Villa de Luvianos con un total de 7546, habitando el 27% de la población total municipal, y es la única localidad a nivel municipio considerada como zona urbana (**Figura 23**).

De esta población 13,680 son hombres y 14,170 son mujeres, ese decir, existen 96 hombres por cada 100 mujeres (**Figura 24**); la mitad de la población tiene 23 años o menos. (INEGI, 2016).



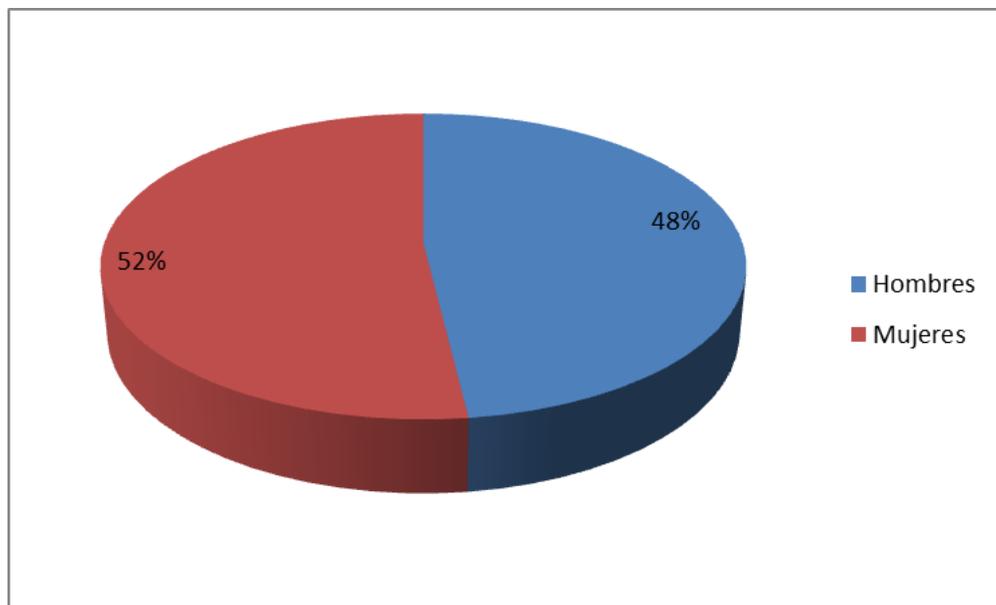
**Figura 23:** Población total de los municipios de Luvianos y Tejupilco



**Figura 24:** Porcentaje de hombres y mujeres de la población de Luvianos

## Tejupilco

El Municipio de Tejupilco tiene una superficie de 642.05 kilómetros cuadrados, representa el 3.0% del territorio estatal, cuenta con una población total aproximada de 77,799 habitantes, con una densidad de 116.4 habitantes por kilómetro cuadrado; representa el 0.5% de la población estatal, distribuidas en 165 localidades, de las cuales las que presentan mayor población son, la cabecera municipal Tejupilco con 25631 y Bejucos con 2638, siendo las únicas localidades consideradas como zonas urbanas (**Figura 25**).



**Figura 25:** Porcentaje de hombres y mujeres de la población de Tejupilco

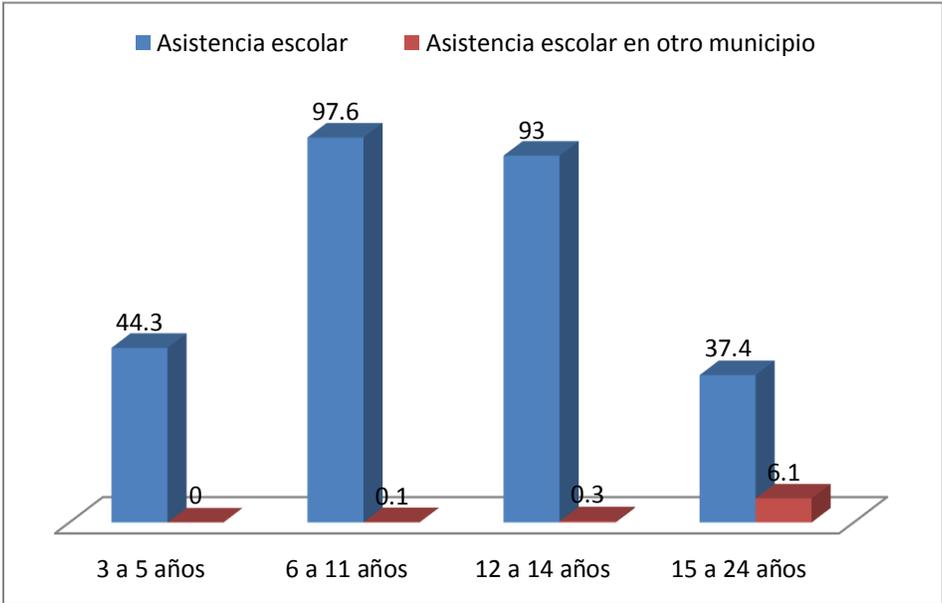
De esta población 37,410 son hombres y 40,389 son mujeres, es decir, existen 92 hombres por cada 100 mujeres; la mitad de la población tiene 23 años o menos (INEGI, 2016).

### 4.2.2.3. Nivel de escolaridad

La importancia de conocer el nivel educativo de un municipio o localidad radica en que facilita la posibilidad de comunicación y mejora la respuesta de la población en un caso de emergencia.

En lo que se refiere a las características educativas en la población de Luvianos el nivel de escolaridad que registra el municipio en la población mayor a los 15 años es: 22.4% sin escolaridad, 58.7% de la población cuentan con el nivel básico, 12.1% media superior, el 6.6% cuenta con una licenciatura y 0.2% es no especificado

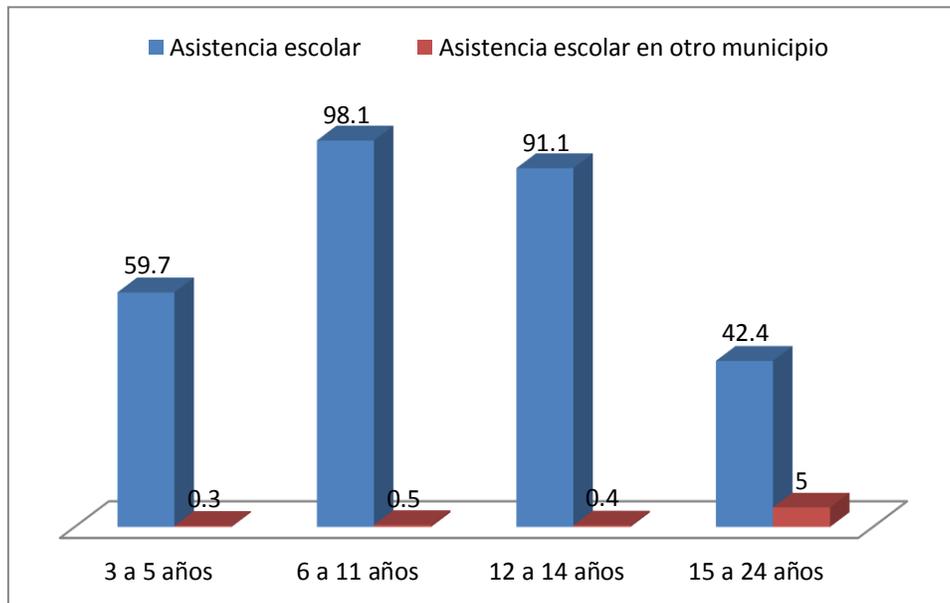
Lo que demuestra que existe una carencia en la educación básica, y más significativo es la carencia que se tiene a la accesibilidad a la educación media superior y superior. La tasa de alfabetización por grupos de edad es de 97.4 para grupos de entre 15 y 25 años y de 72.9% de 25 años y más. En cuanto asistencia escolar se refiere los grupos se encuentran divididos de la siguiente manera:



**Figura 26:** tasa de alfabetización por grupos de edad para el municipio de Luvianos,

Para el caso de Tejupilco el 13.8% de la población total no cuenta con ningún grado de escolaridad, el 57.7% cuenta con educación básica, el 13.9% de la población tiene educación media superior, el 14.2% con educación superior y el 0.4% no especificado.

Lo que demuestra que existe una carencia muy marcada en educación básica, pero de mucho más importancia, la carencia de educación tanto media superior como superior. La tasa de alfabetización por grupos de edad es de 98.2 para grupos de entre 15 y 24 años y de 80.0% de 25 años y más. En cuanto asistencia escolar se refiere los grupos se encuentran divididos de la siguiente manera:



**Figura 27:** tasa de alfabetización por grupos de edad para el municipio de Tejupilco.

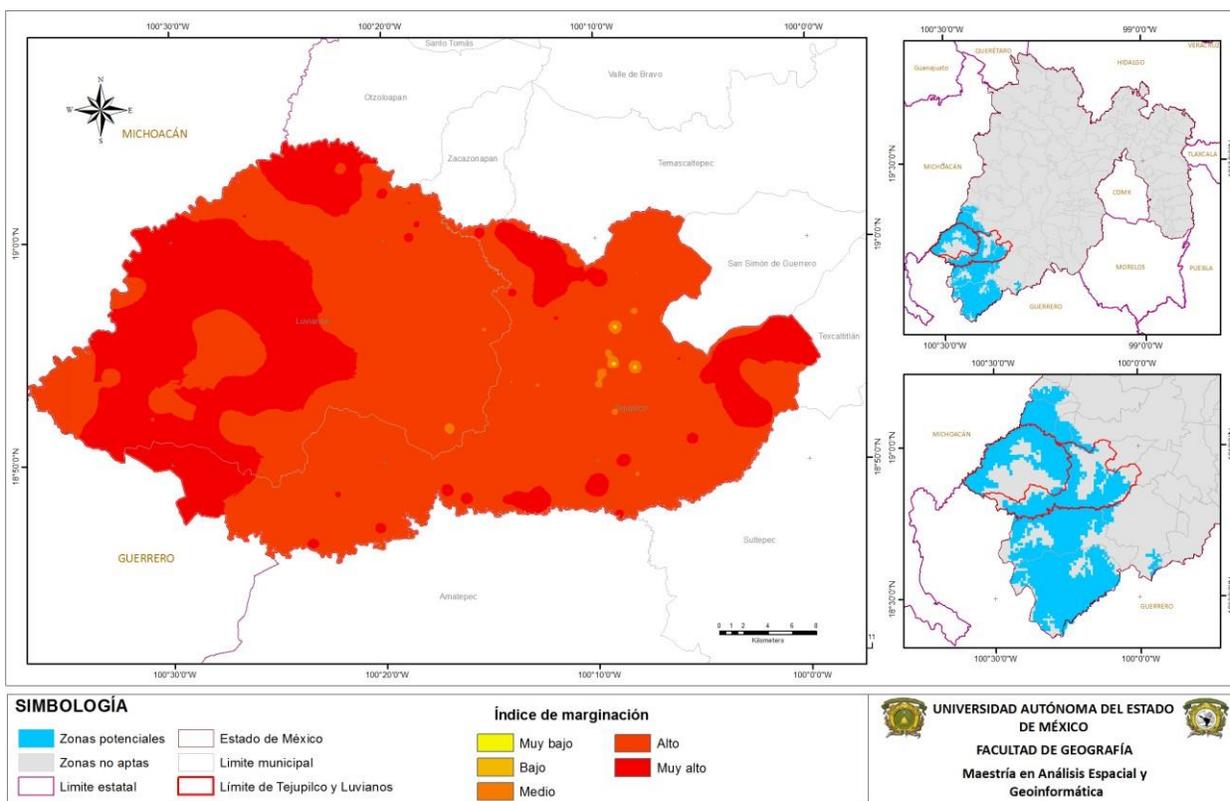
#### 4.2.2.4. Marginación

La marginación es definida como la dificultad de una comunidad de propagar el progreso técnico, así como la exclusión del proceso de desarrollo y sus beneficios (GEM, 2012). CONAPO define y mide la marginación mediante cuatro dimensiones:



Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la Comisión Nacional de la Población (CONAPO)

Mediante el cálculo elaborado por información proporcionada por el INEGI (2010), Tanto el municipio de Luvianos como Tejupilco presentan un grado de marginación medio y alto (**Figura 28**), esto es debido al rezago socioeconómico existente en el municipio, la desigualdad del ingreso, y la subocupación las personas que va en incremento, y que son factores esenciales que determinan el modo y la calidad de vida así como acceso a la educación y por consiguiente, un mejor empleo



**Figura 28:** Índice de marginación para los municipios de Luvianos y Tejupilco.

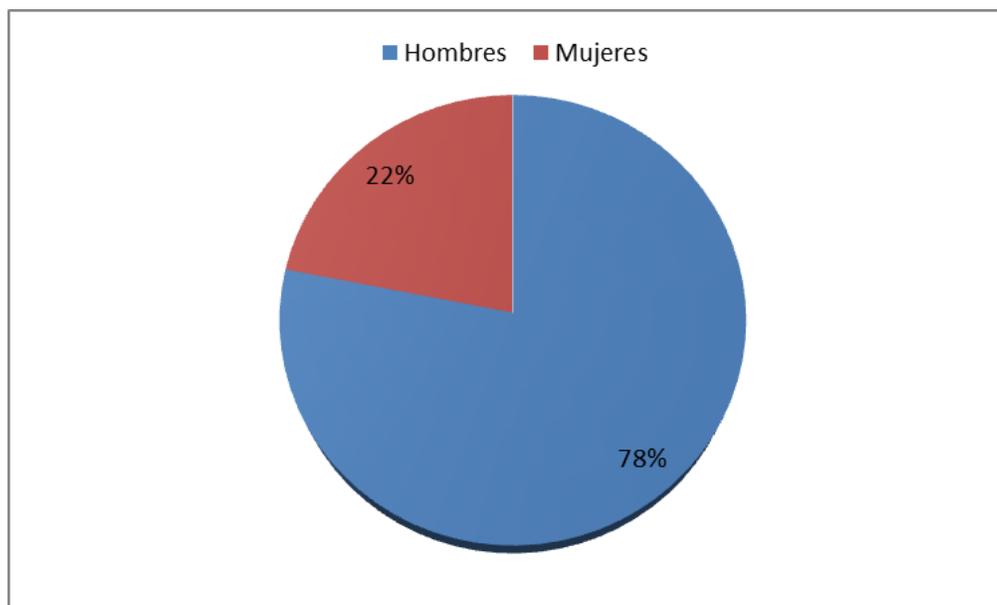
Las zonas con menor marginación para el caso de Luvianos, únicamente se encuentran en las zonas urbanas que en este caso es la cabecera municipal de Luvianos; Para el caso de Tejupilco se pueden notar más zonas con muy bajo índice de marginación, igualmente ubicadas en las zonas consideradas como urbanas y que en ambos municipios, esto se debe a que cuentan con la mayoría de servicios básicos.

#### 4.2.2.5. Población económicamente activa

Hace referencia al “grupo de personas de 12 años o más que suministran mano de obra disponible sea o no remunerada para la producción de bienes y servicios. La constituyen

todas las personas que tienen algún empleo y aquéllas que están buscándolo (desocupación abierta)" (INEGI, 2017 Y Banco de México.)

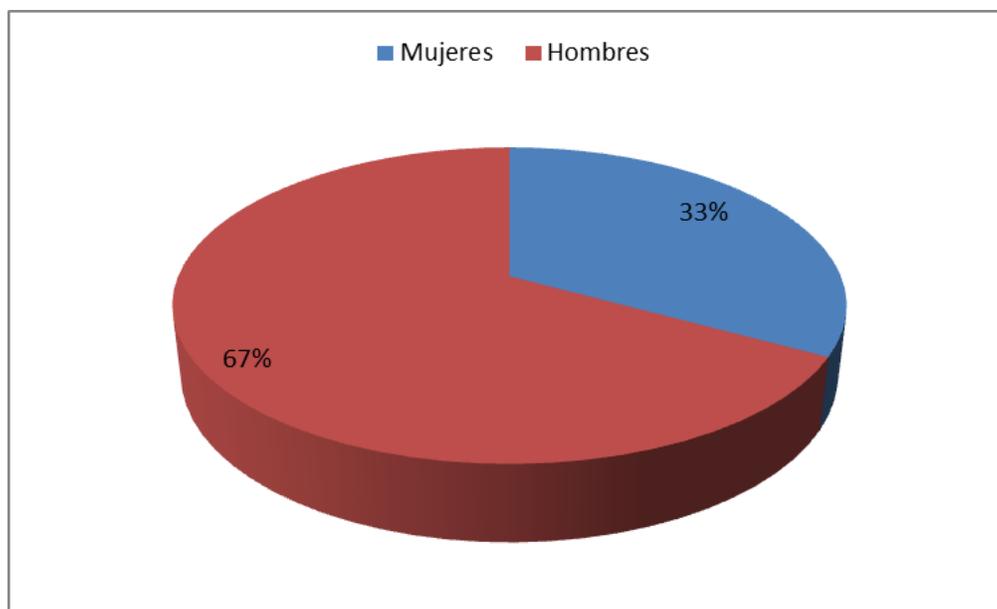
El municipio de Luvianos registró en el año 2015 una población de 27, 850 habitantes de los cuales se considera económicamente activa (PEA) a habitantes mayores de doce años con 8079.4 habitantes, correspondiente al 29%, de los cuales 1796 son mujeres y 6310 hombres (**Figura 29**)



**Figura 29:** Población de 12 años y más económicamente activa de Luvianos.

La PEA se divide por sector de la siguiente forma: El sector primario consta del 43.42%; el sector secundario del 14.36%; el sector terciario del 34.25% y finalmente el 7.96% se encuentran en los no especificados. Como se puede observar, el municipio basa su actividad económica en el sector primario

Para el caso de Tejupilco de los 77,799 habitantes, solo 29,252 se consideran económicamente activas, correspondiente al 37.6% del total de la población, de los cuales 9653,3 son mujeres y 19599,1 hombres (**Figura 30**)

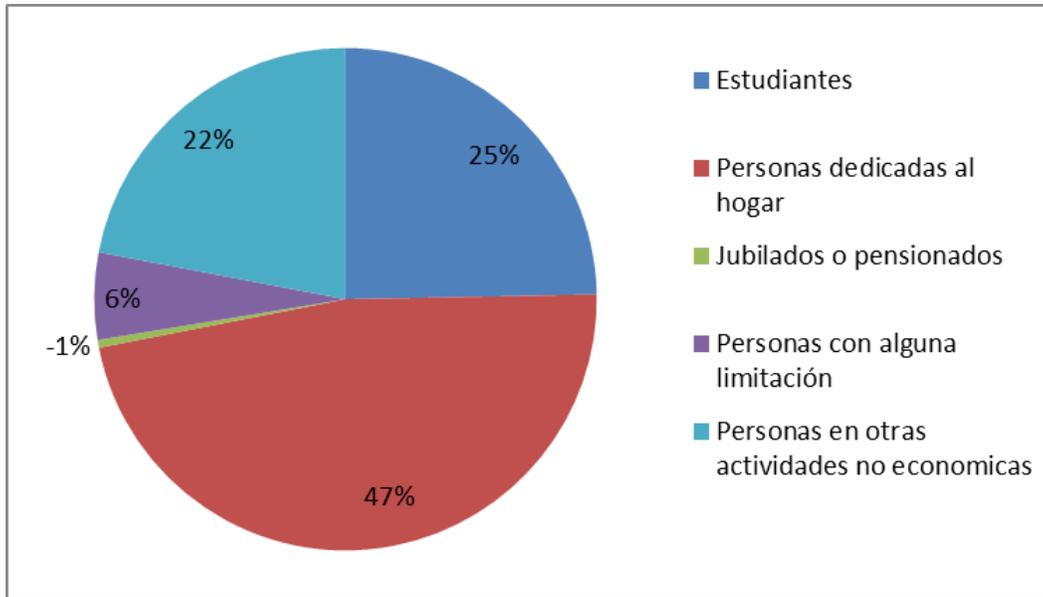


**Figura 30:** Población de 12 años y más económicamente activa de Tejupilco

La PEA se divide por sector de la siguiente forma: El sector primario consta del 18.83%; el sector secundario del 20.44%; el sector terciario del 55.95% y finalmente el 2.88% se encuentran en los no especificados. Como se puede observar, el municipio basa su actividad económica en el sector terciario (Secretaría de desarrollo urbano y metropolitano. (2015)

#### 4.2.2.6. Población económicamente inactiva

La población económicamente Inactiva (PEI) es aquella de 12 años y más que realizó actividades no económicas, es decir, no trabajan ni buscan trabajo, para el año 2015 se registró que en el municipio de Luvianos 19808 habitantes (71.1% de la población total) no desarrollaron ninguna actividad económica, siendo que 9336 habitantes se dedica al hogar, 4886 son estudiantes, 4352 son personas que tienen actividades no económicas, 1108 presentan alguna discapacidad y 99 son jubilados (**Figura 31**).



**Figura 31:** Población de 12 años y más económicamente no activa en el municipio de Luvianos

El municipio de Luvianos tiene una vocación eminentemente agrícola y ganadera, sin embargo, la situación en este sector es cada vez más difícil, la falta de subsidios a tiempo, las fuertes sequías o lluvias en exceso, la existencia de intermediarios, entre otros, son factores que hacen que la situación del campo se vea seriamente afectada (Plan municipal de desarrollo urbano de Luvianos, 2003).

Según el VII Censo Agrícola y Ganadero del Estado, para 1991 la región registró un total de 10,114 unidades económicas del sector primario, de las cuales 9,265 (91.60%) registraron actividad ya sea agropecuaria o forestal y 21 mil 735 personas empleadas

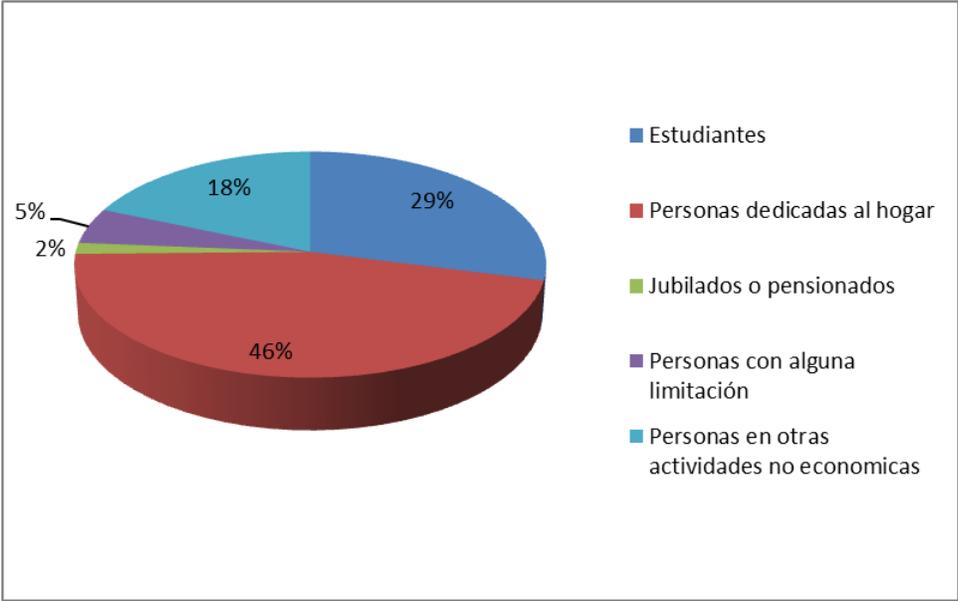
La población que recibe algún ingreso por su trabajo se distribuye de la siguiente forma:

Sin ingresos	1 VSM	1 a 2 VSM	2 a 5 VSM	5 a 10 VSM	+10 VSM
32.10%	13.71%	18.46%	18.13%	3.66%	2.75%

Es muy importante resaltar que el 32.10% de la población en el municipio no percibe ningún sueldo por su trabajo. Este porcentaje es tan alto debido a que la mayoría de la población trabaja sus propias tierras o cuidando su ganado, por lo que no perciben un salario como tal, sino más bien esperan al final de la temporada para ver sus ganancias (INEGI, 2015)

Para el caso de Tejupilco 48313,2 habitantes (62.1% del total de la población) no desarrollan ninguna actividad económica, siendo que 14010.8 son estudiantes, 220,079.1, son personas dedicadas al hogar, 773 jubilados o pensionados, 2464 presentan alguna

limitación y 8986.3 son personas que desarrollan actividades no económicas o no remuneradas (**Figura 32**)



**Figura 32:** Población de 12 años y más económicamente no activa en el municipio de Tejupilco

En la actividad primaria Tejupilco representa un 18.83% del personal ocupado a nivel estatal; en el sector secundario el porcentaje es de 20.44%; la actividad terciaria representa tan solo 55.95% y el 2.88% no está especificado.

La población que recibe algún ingreso por su trabajo se distribuye de la siguiente forma:

Sin ingresos	1 VSM	1 a 2 VSM	2 a 5 VSM	5 a 10 VSM	+10 VSM
19.58%	13.50%	26.70%	30.26%	7.40%	2.31%

Cabe mencionar que debido a la demanda de más empleos para lograr incrementar el nivel de vida, se ve la necesidad de generar más empleos que satisfagan las demandas en los sectores secundario y terciario, con esto se podría evitar que los habitantes tengan que dejar su lugar de origen y salir en busca de mejores oportunidades por la falta de empleos, ya que hay una cantidad significativa de la población que no percibe ingresos, por lo tanto, el nivel de vida de la población municipal se considera bajo. Con base en esto, sobre niveles de ingreso, escolaridad y algunos otros como dotación de servicios básicos en las viviendas, la Comisión Estatal de Población (COESPO) considera que el índice de marginalidad de Tejupilco es muy alto.

Analizando la situación en la que se presentan ambos municipios se puede decir que se encuentran en estado de pobreza; definiendo pobreza es el conjunto de carencias que

sufre una persona o población que afectan su bienestar y desarrollo, es este sentido se puede decir que esto es debido a la pobreza multidimensional extrema asociada a las zonas rurales a falta de servicios básicos y al ingreso

De acuerdo a los estudios realizados recientemente por el censo de Población y vivienda 2010, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos 2012 y el CONEVAL 2012 que mencionan que la región de Tejupilco que comprende los municipios de Amatepec, Luvianos, Tejupilco y Tlatlaya, presentan un alto índice de pobreza extrema de 35.2% que se encuentra muy por encima del promedio estatal, lo cual significa que 43,175 habitantes no cuentan con los recursos materiales para satisfacer las necesidades básicas que le permitan sobrevivir en condiciones de bienestar y con dignidad

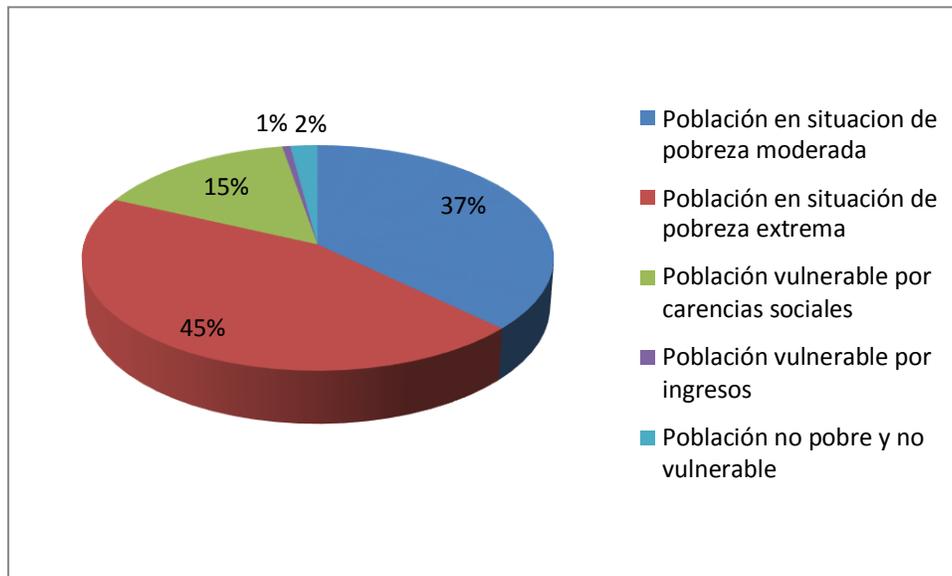
Es por esto la importancia de generar nuevas alternativas que puedan generar ingresos en la población, sin la necesidad de buscarlos fuera de su municipio.

#### 4.2.2.7. Pobreza y desigualdad social.

La pobreza se define como el conjunto de carencias que sufre una persona, familia o comunidad en dimensiones que afectan su bienestar y desarrollo. La pobreza en el Estado de México se manifiesta principalmente de dos maneras:

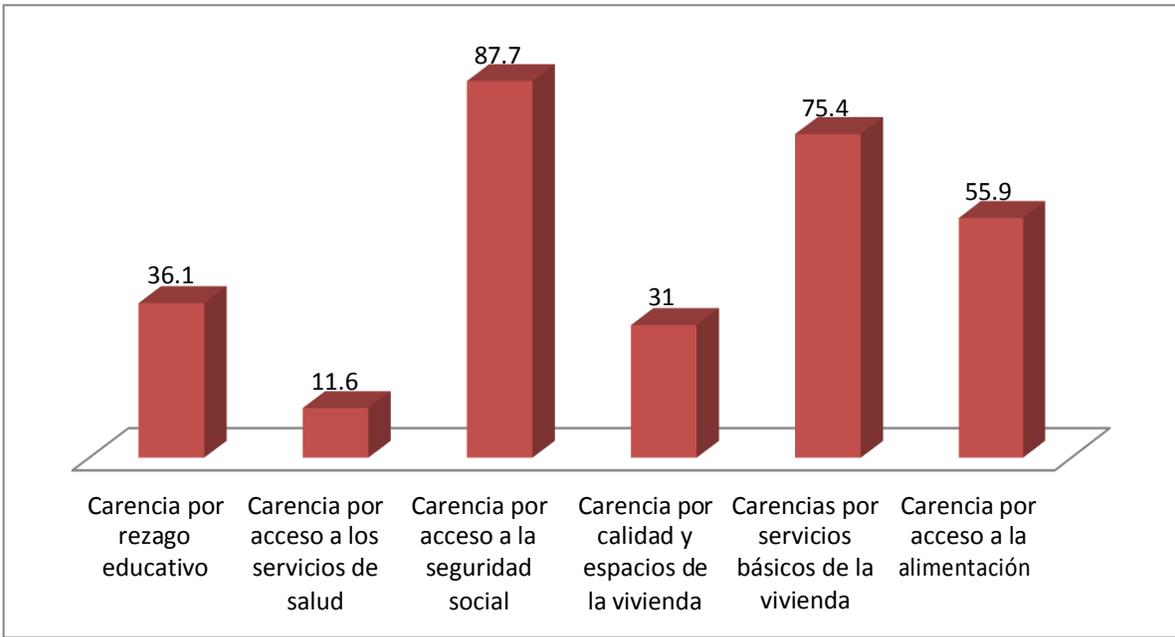
- a) la pobreza multidimensional extrema, la cual se puede asociar geográficamente a las zonas rurales.
- b) la pobreza multidimensional moderada, la cual se presenta de forma mayoritaria en las dos grandes zonas metropolitanas de la entidad.

De acuerdo los datos del CONEVAL (2010) el municipio de Luvianos presenta un alto índice de pobreza muy por encima del promedio estatal, con 15557 individuos (82% de la población total), de las cuales 8482 personas se encontraban en pobreza extrema y 7074 en pobreza moderada lo cual significa que estos habitantes no cuentan con los recursos materiales para satisfacer las necesidades básicas que le permitan sobrevivir en condiciones de bienestar y con dignidad. (**Figura 33**)



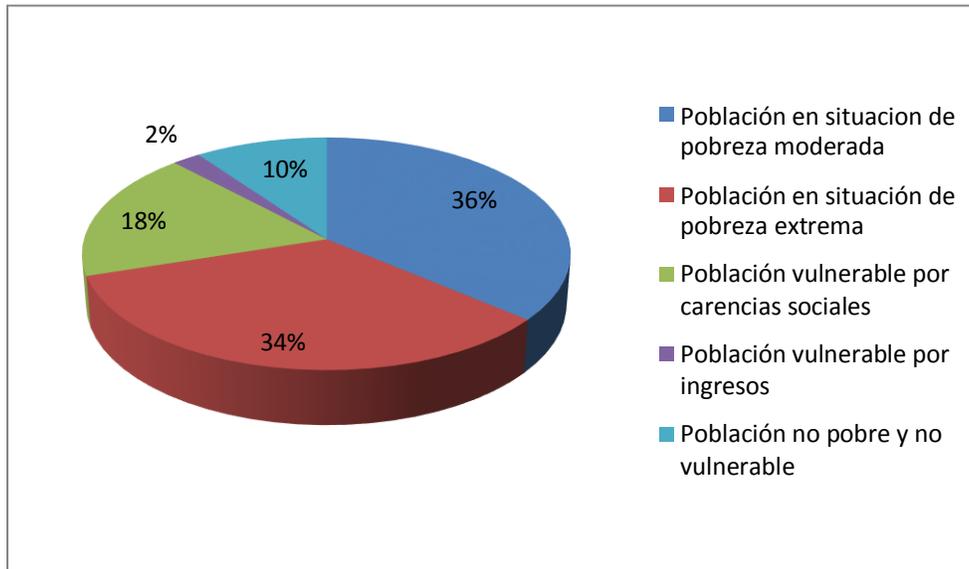
**Figura 33:** Indicadores de pobreza y vulnerabilidad de Luvianos

En cuanto a las condiciones de rezago las cifras fueron las siguientes: 1) rezago educativo se identificó que 6848 personas presentan esta carencia social; 2) carencia por acceso a los servicios de salud, 2,204 personas, fueron afectadas por la carencia de este servicio; 3) carencia a la seguridad social, es una de las cifras más alarmantes ya que 16658 habitantes se encontraron bajo esta condición; 4) Carencia por calidad y espacios de la vivienda, 5884 personas reportaron vivir en malas condiciones de vivienda o con espacio insuficiente; 5) Carencia por servicios básicos, los habitantes que reportaron habitar en viviendas sin disponibilidad de servicios básicos fueron 14382 personas; 5) Carencia por acceso a la alimentación, esta condición fue reportada por 10608 habitantes, esto significa que no cuentan con los suficientes recursos para tener una alimentación básica necesaria (**Figura 34**)



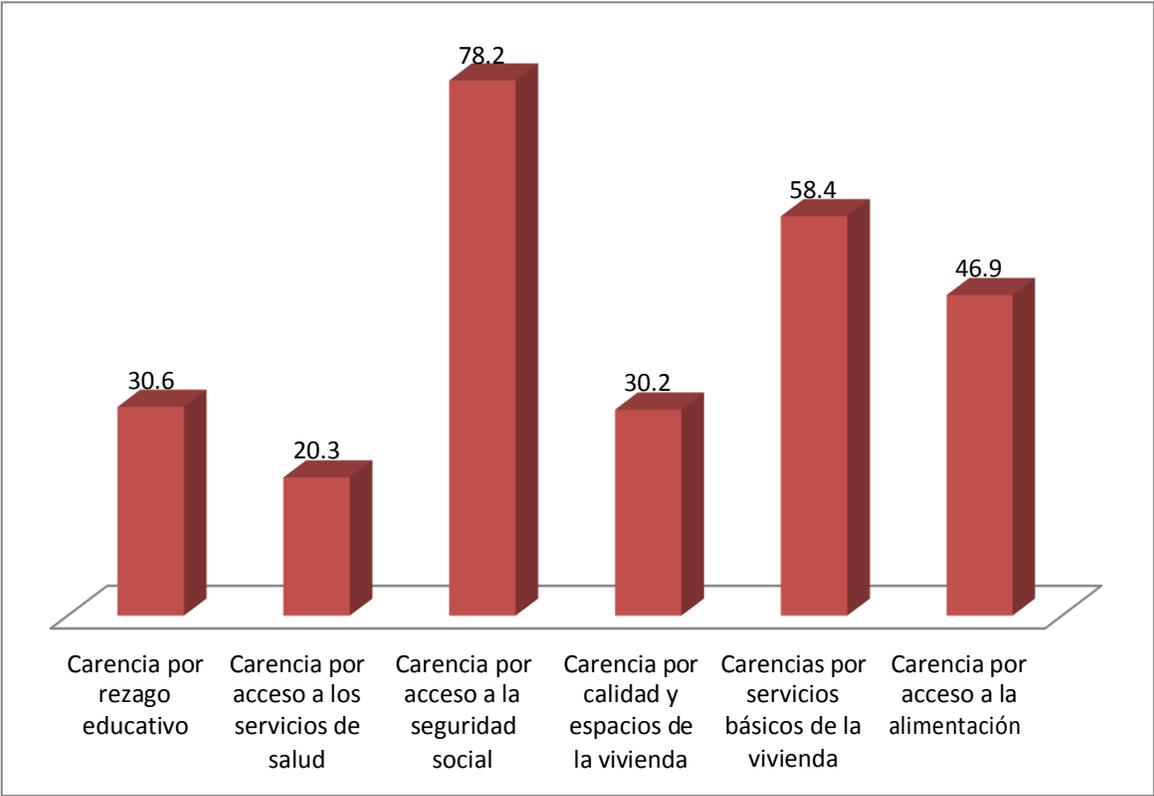
**Figura 34:** Indicadores de carencia social de Luvianos

Para el caso de Tejupilco, el municipio presenta un alto índice de pobreza muy por encima del promedio estatal, con 51157 individuos (70% de la población total), de las cuales 21296 personas se encontraban en pobreza extrema y 19861 en pobreza moderada lo cual significa que estos habitantes no cuentan con los recursos materiales para satisfacer las necesidades básicas que le permitan sobrevivir en condiciones de bienestar y con dignidad. **(Figura 35)**



**Figura 35:** Indicadores de pobreza y vulnerabilidad de Tejupilco

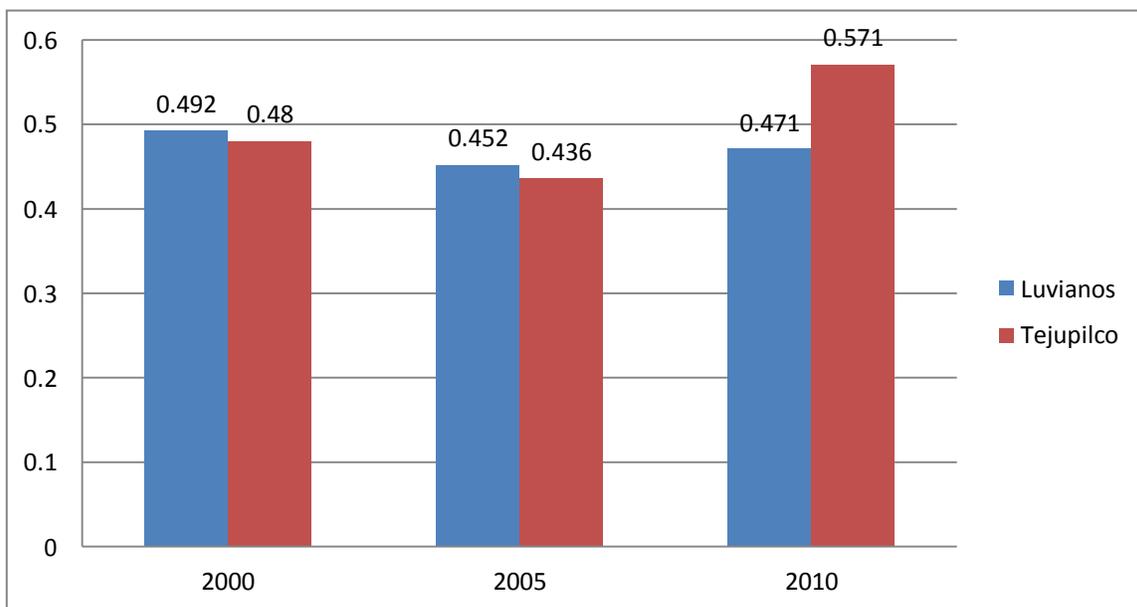
En cuanto a las condiciones de rezago las cifras fueron las siguientes: 1) rezago educativo se identificó que 17980 personas presentan esta carencia social; 2) carencia por acceso a los servicios de salud, 11938 personas fueron afectadas por la carencia de este servicio; 3) carencia a la seguridad social, es una de las cifras más alarmantes ya que 45943 habitantes se encontraron bajo esta condición; 4) Carencia por calidad y espacios de la vivienda, 17723 personas reportaron vivir en malas condiciones de vivienda o con espacio insuficiente; 5) Carencia por servicios básicos, los habitantes que reportaron habitar en viviendas sin disponibilidad de servicios básicos fueron 34322 personas; 5) Carencia por acceso a la alimentación, esta condición fue reportada por 27569 habitantes, esto significa que no cuentan con los suficientes recursos para tener una alimentación básica necesaria (Figura 36)



**Figura 36:** Indicadores de carencia social de Tejupilco

La desigualdad consiste en la carencia de acceso y distribución de los recursos y oportunidades en la sociedad y, por ende, entre los individuos, hogares o regiones geográficas. La desigualdad se puede medir mediante el consumo, el gasto, el ingreso y el acceso a servicios básicos, entre otras variables. Una medición útil de la desigualdad del ingreso se puede obtener por medio del Coeficiente de Gini y de las razones de ingreso entre distintos segmentos de la distribución poblacional.

Este Coeficiente se presenta en una escala de 0 a 1, en la que el primer valor 89 representa una perfecta igualdad entre toda la población y el segundo valor constituye una perfecta desigualdad.



**Figura 37:** Coeficiente de Gini para los municipios de Luvianos y Tejupilco

Para el caso de Luvianos se observa que la desigualdad disminuyó en comparación a los registros del 2000, pero aumento en comparación al 2005 y para el caso de Tejupilco el coeficiente Gini aumentó en este periodo.

## CONCLUSIONES

- A nivel mundial, el uso de los biocombustibles está ampliamente relacionado con las políticas públicas ambientales y la educación ambiental, encaminadas a la reducción de emisiones contaminantes, sin embargo aunque en México existe una legislación nacional entorno a los biocombustibles, estas políticas públicas no están siendo utilizadas ni aprobadas ya que no existe una reglamentación oficial para el uso de estos, debido a la gran dependencia del flujo económico que aportan los productos de origen fósil.
- En el estado de México existen zonas climáticamente potenciales para cultivar *Jatropha curcas*, que abarcan una superficie de 211,571.04 ha, siendo Tejupilco y Luvianos los municipios con mayor superficie agrícola
- La *Jatropha curcas* L. debido a sus pocos requerimientos edafoclimáticos y su amplia adaptabilidad, puede incorporarse como policultivo, por lo que puede ser sembrada con otros cultivos, disminuyendo el impacto socio ambiental generado por el cambio de uso de la tierra.
- La distribución potencial realizada por MaxEnt tuvo un buen desempeño, por lo que se pudo diferenciar entre hábitat idóneo y no idóneo dentro del Estado de México y generó resultados apegados a la distribución conocida de la especie, por lo que se puede decir que los modelos son herramientas que además de ayudarte a predecir zonas en las que la especie podría distribuirse, pueden utilizar para otros fines tales como conservación.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere fomentar la siembra de *Jatropha curcas* L. en áreas donde los cultivos básicos, solo sean de autoconsumo tales como maíz y frijol o fomentar el policultivo, y así evitar perturbar la autosuficiencia alimentaria en producciones a grandes escalas, la inclusión de la especie con otro cultivos durante los primeros años, asegurara la obtención de materia prima para la extracción del aceite para la generación del biocombustible sin descuidar la seguridad alimentaria local.

Debe analizarse y evaluar las tierras que tienen sistemas de cultivos compuestos o asociados para productores de autoconsumo, para que maximicen las posibilidades de ingreso como multipropósito, además de proteger las zonas contra la erosión hídrica, sobre todo en laderas, ya que la siembra de *Jatropha curcas* L. ayuda a evitar la erosión, además incrementa la infiltración *in situ*, ayuda a generar materia orgánica y aumentaría la demanda de mano de obra, generando empleos en las comunidades.

Resulta relevante hacer estudio de campo, para conocer la disposición que tendrían los productores para incorporar una nueva especie a sus cultivos y de qué forma se comprometerían a generar materia prima para la generación de biodiesel, y de ser así, se necesitaría ampliar el conocimiento a los productores acerca de la *Jatropha*, mediante capacitación, asesorías y transferencia de tecnología, lo cual ayudaría a la rápida aceptación y a expresar actitudes favorables en los productores y consecuentemente, la generación de nuevos ingresos.

Se necesita hacer una evaluación de las zonas que están establecidas como pastizales, las zonas más degradadas, considerarlas para ser utilizadas como zonas agrícolas específicamente para la producción de *Jatropha*, apegándose y aplicando la normatividad vigente para el uso y establecimiento de cultivos para biocombustible.

## BIBLIOGRAFIA

- Achten W., Verchot L., Franken Y., Mathijs E., Singh V., Aerts R. y Muys, B. (2008). Jatropha Bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*. 32:1063-1084.
- Aguillón J. (2008). Panorama de la bioenergía y criterios de sustentabilidad para biocombustibles. Disponible en: [www.icq.uia.mx/webicq/pdf/javier.pdf](http://www.icq.uia.mx/webicq/pdf/javier.pdf)
- Alfonso J. (2008). Manual para el cultivo del piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras. La Lima, Cortés, Honduras, Proyecto Gota Verde. 34 p.
- Anderson R., Lew D. y Peterson, A. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162: 211-232.
- Arellanes R. (2008). Programa de expansión y producción bioenergética con base a *Jatropha* en el estado de Chiapas, México (en línea). Memorias Primer Seminario Internacional *Jatropha* Chile 2008. Disponible en: [http://www.cne.cl/archivos\\_bajar/jatropha/RAFAEL\\_ARELLANES.pdf](http://www.cne.cl/archivos_bajar/jatropha/RAFAEL_ARELLANES.pdf)
- Behera S., Srivastava P., Tripathi R. y Singh N. (2010). Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass- A case study. 34:30-41.
- Benito de P. (2009). Ecoinformatica Aplicada a conservación: simulación de efectos del cambio global en la distribución de la flora de Andalucía. Tesis Doctoral. Univ. De la Granada. España.
- Cervantes M. (2002). Género *Bernardia* (Euphorbiaceae) en México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 189 p.
- Chang D., Van G., Lee I., Jonson I., Hammond E. y Marley S. (1996). Fuel properties and emissions of soybean oil esters as diesel fuel. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 73: 1549-1555.
- Cifuentes-Jara M. (2009). *Jatropha curcas* como biocombustible: estado actual del cultivo en Mesoamérica. *Recursos Naturales y Ambiente, Turrialba, Costa Rica* 2:56-57.
- COESPO. (2010) Diagnóstico Sociodemográfico del Municipio de Tejupilco. 19p. Disponible en: <file:///C:/Users/ErikaF/Downloads/Diagn%C3%B3stico%20del%20Municipio%20de%20Tejupilco.pdf>
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (2007). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Disponible en: [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/05\\_atmosfera/5\\_2\\_4.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_2_4.html)

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917). Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. 5 de febrero de 1917. Última Reforma DOF 29 de enero de 2016.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía (2013). Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. 5 de febrero de 1917. 2 Edición Vespertina. 20 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://reformas.gob.mx/reforma-energetica/reformas-y-leyes>
- Cuervo-Robayo A. P., Téllez-Valdés O., Gómez M., Venegas-Barrera C., Manjarrez J. y Martínez-Meyer E. (2013). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*. Doi: 10.1002/joc.3848, Disponible en: <http://idrisi.uaemex.mx/ligas/geogadatos?id=8>
- De la Vega, J. (2007). *Jatropha curcas*. Boletín Agroenergía. México, pp 21 Disponible en: [www.3wmexico.com/images/JatrophaResumen.pdf](http://www.3wmexico.com/images/JatrophaResumen.pdf)
- Diagrama BAM, Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO). Disponible en: <http://nicho.conabio.gob.mx>.
- Echarri F., Tambussi C. y Hospitaleche C. (2009). Predicting the distribution of the crested tinamou, *Eudromia* spp. (Aves, Tinamiformes). *J Ornithol* 150:75–84
- Elith J. y Grah, C. H. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
- Elith J., Graham C., Anderson R., Dudi'k M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R., Huettmann F., Leathwick J., Lehmann, A., Lohmann L., Loiselle B., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J., Peterson, A., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira R., Schapire R., Soberón J., Williams S., Wisz M. y Zimmermann N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129–151
- Espinosa D., Aguilar C. y Escalante T. (2001). Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. En Llorente J, Morrone J (Eds.). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias. México. pp. 31–37.
- Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos (2009). México. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Estrategiabiogereticos.pdf>
- Estrategia Mesoamericana de Sustentabilidad Ambiental (2008). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición. Tlalpan, México. 82p.
- Euler H. y Gorriz D. (2004). Case Study "Jatropha curcas". Frankfurt, Alemania, GFU/GTZ. 63 p.

- Ferrier S. (2002). Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here? *Systematic Biology*. 51(2):331-63. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/10635150252899806>
- Franklin J. (2010). *Mapping Species Distributions*. Nueva York, Cambridge University Press. 320 p.
- Galparsoro I., Borja A., Bald J., Liria P. y Chust, G. (2009). Predicting suitable habitat for the European lobster (*Homarus gammarus*), on the Basque continental shelf (Bay of Biscay), using Ecological-Niche Factor Analysis. *Ecological Modelling*, 220: 556-567.
- Gaona C. (2009). Identificación de áreas aptas para el cultivo del Piñón (*Jatropha curcas* L.) en Colombia, como alternativa de obtención de biocombustible. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 87p.
- GEXSI (The Global Exchange for Social Investment) (2008). Global market study on *Jatropha*. Reporte Final, London, Reino Unido. 187 p.
- Ghilardi A., Guerrero R. y Probst O. (2008). Disponibilidad del potencial de biomasa para producir energía en México; escenarios de penetración al 2040. Memoria electrónica de la V reunión nacional de la red mexicana de Bioenergía, centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Autónoma de México. 29 y 30 de septiembre, Morelia, Michoacán.
- Gobierno de Honduras (2007). Ley para la producción y consumo de biocombustibles. Decreto No. 144-2007. Tegucigalpa, Honduras. 6 p.
- Gobierno del Estado de México. (2013). Estadística básica municipal, Luvianos. 11p. Disponible en: <http://iiigecem.edomex.gob.mx/recursos/Estadistica/PRODUCTOS/AGENDAESTADIS TICABASICAMUNICIPAL/ARCHIVOS/Luvianos.pdf>
- Gour V. (2006) Production practices including postharvest management of *Jatropha curcas*. In: Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence-focus on *Jatropha*. New Delhi, India. 9(10):223-251.
- Guisan A. y Thuiller W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*. 8(9):993-1009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>
- Guisan A. y Zimmermann N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147–186.
- Hampe A. (2004). Bioclimate envelope models: What they detect and what they hide. *Global Ecology and Biogeography*, 13:469–471.

- Haveren V., Scot E. y Sanders J. (2008). Bulk chemicals from biomass. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2(1):41-57.
- Heller J. (1996). Physic nut (*Jatropha curcas* L.). Promoting the conservation and use of underutilization and neglected crops. Plant Genetics Resources Institute (IPGRI). Rome, Italy.
- Henning K. (2009). The *Jatropha* system. An integrated approach of rural development. <http://www.jatropha.de/>
- Hernandez P., Graham C., Master L. y Albert D. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29:773–785.
- Hernandez P., Graham, C., Master, L. y Albert, D. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29: 773-785.
- Hutchison G. (1957). A treatise on limnology, V.1, geography, physics and chemistry. John Wiley and Sons, New York.
- INEGI. (2015) Panorama sociodemográfico de Estado de México 2015. Encuesta intercensal 2015. 140p. Disponible en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/inter\\_censal/panorama/702825082246.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/panorama/702825082246.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Programa sociodemográfico de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 96 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Anuario estadístico y geográfico de México 2016. Gobierno del estado de México. 958 p.
- Inurreta A., García P., Uresti G., Martínez D. y Ortiz L. (2013). Potencial para producir *jatropha curcas* L. Como materia prima para biodiesel en el estado de Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93929595005>
- Jamil S., Abhilash P., Singh N. y Sharma P. (2009). *Jatropha curcas*: a potential crop for phytoremediation of coal fly ash. *J Hazard Mater* 172:269–275.
- Karmee S., Mahesh P., Ravi P. y Chadha A. (2004). Kinetics study of the base catalyzed transesterification of monoglycerides from pongamia oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 81: 425-430.

- Kumar S. y Stohlgren, T. (2009) Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia *Journal of Ecology and Natural Environment*. 1(4):094–098.
- Lester S., Ruttenberg B., Gaines S. y Kinlan B. (2007). The relationship between dispersal ability and geographic range size. *Ecology Letters*, 10:745–758.
- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (2008). Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. 1 de febrero de 2008.
- Ley de Transición Energética (2015). Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. 24 de diciembre 2015.
- Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (2008). Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. 28 de noviembre de 2008.
- Liu C., Berry P., Dawson, T. y Pearson, R. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 38(6) 385-393.
- Iloldi-Rangel y Escalante T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. Focus article. 6 p.
- Maciel-Mata, C., Manríquez-Morán N, Octavio-Aguilar P. y Sánchez-Rojas G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*, 25(2):03-19. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15174/au.2015.690>.
- Maes W., Trabucco A., Achten W. y Muys B. (2009). Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy*. 33:1481-1485.
- Marenco J. (2007). Biocombustibles: una visión de futuro para el agro. *MAG Actual* 4(27):15.
- Marmion M., Parviainen M., Luoto M., Heikkinen R. y Thuilier, W. (2009). Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15: 59-69.
- Martínez H. (2007). El piñon (*Jatropha curcas* L.) una planta nativa de México con potencial alimentario y agroindustrial. *Hypatia* 12. Morelos, México.
- Martinez H. (2008) El piñón mexicano una alternativa bioenergética para México. *Revista Digital Universitaria*. 8(12):1-10
- Mas J., Filho B., Pontius R., Gutiérrez M. y Rodrigues, H. (2013). A Suite of Tools for ROC Analysis of Spatial Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(3): 869-887.

- Mateo R., Felicísimo A. y Muñoz J. (2011). Effects of the number of presences on the reliability and stability of MARS species distribution models: The importance of regional niche variation and ecological heterogeneity. *Journal of Vegetation Science*, 21: 908–922.
- Merow C., Smith M. y Silander, J. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10):1058–1069.
- Mittermeier R. y Goettsch C. (1997). *Mega diversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo*. CEMEX, México.
- Mooney T. (2010) Predicting *Hydromantes shastae* occurrences in Shasta County, California. Tesis de Maestría en Ciencias. University of Southern California. 45 p.
- Mooney T. (2010). Predicting *Hydromantes shastae* occurrences in Shasta County, California. Tesis de Maestría en Ciencias. University of Southern California. 45 p.
- Morales P. (2011). *Guía para construir cuestionarios y escalas de actitudes*. Madrid Universidad Pontificia.
- Morueta-Holme N., Flojgaard C. y Svenning J. (2010). Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammals species. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010360>
- Mota-Vargas C. y Rojas-Soto O. (2012). The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood Partridge. *Journal for Nature Conservation*. 20:10-17.
- Mujumdar A. y Misar A. (2004). Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* roots in mice and rats. *J Ethnopharmacol* 90:11–15
- Narkis M. (2012). Modelos de distribución de especies: software Maxent y sus aplicaciones en conservación. School of Environment, The University of Auckland, Auckland, New Zealand. *Revista Conservación Ambiental*. 2(1) 3 p.
- Ndong R., Montrejaud-Vignolesk M., Saint G., Gabrielle B., Pirot R., Domergue M., y Sablayrolles C. (2009). "Life Cycle Assessment of Biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: A Field Study." *GCB Bioenergy*. 1:197–210.
- Pabón L. y Hernández-Rodríguez P. (2012). Chemical importance of *Jatropha curcas* and its biological, pharmacological and industrial applications. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(2):194-209. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S102847962012000200008&lng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102847962012000200008&lng=en).

- Pearce J. y Lindenmayer D. (1998). Bioclimatic analysis to enhance reintroduction biology of the endangered helmeted honeyeater (*Lichenostomus melanops cassidix*). in Southeastern Australia. *Restoration Ecology*, 6(3):238-43. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1526-100X.1998.00636.x>
- Pearson R. y Dawson T (2003). Preceding the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361–371.
- Pearson R., Raxworthy C. Nakamura M. y Peterson A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34: 102–117.
- Pérez M. (2008). Hacia una cadena de valor de biodiesel en El Salvador. Tegucigalpa, Honduras, Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. 67 p.
- Pérez M. y Ramírez M (2008). Estudio de mercado del biodiésel en El Salvador, Honduras y Nicaragua. Tegucigalpa, Honduras, SNV (Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo)./ WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). 84 p
- Pérez-García, B. y Liria, J. (2013). Modelos de nicho ecológico fundamental para especies del género *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 600-611.
- Peterson A., Papeş M. y Soberón J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213(1):63-72.
- Peterson A., Soberón J., Pearson R., Anderson R., Martínez-Meyer E., Nakamura M. y Araujo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press, Princeton. 328 p.
- Phillips S. y Dudík M. (2007). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. AT&T, Inc. Journal compilation. 15 p,
- Phillips S., Anderson R. y Schapire R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4):231–259.
- Phillips, S. J. (2009). A Brief Tutorial on Maxent. Disponible en: <https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>.
- Plan Integral para el Desarrollo de las Energías Renovables en México 2013-2018 (2013). Ciudad de México. Recuperado de: [http://awsassets.panda.org/downloads/130222\\_plan\\_integral\\_para\\_desarrollo\\_de\\_energias\\_renovables.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/130222_plan_integral_para_desarrollo_de_energias_renovables.pdf)

- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (2013). Gobierno de la República Mexicana. México. Disponible en: [http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/MarcoJuridico/PND\\_2013-2018.pdf](http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/MarcoJuridico/PND_2013-2018.pdf)
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (2013). Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables. Gobierno de la República Mexicana. México. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249/PEAER-2014.pdf>
- Pompelli M., Barata-Luis R., Vitorino H., Gonçalves E., Rolim E., Santos M., Almeida-Cortez, J., Ferreira V., Lemos E. y Endres L. (2010). Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. 34:1207-1215
- Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018 (2014). Secretaría de Energía. Primera Edición. Abril de 2014. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/224/PRONASEpendt.pdf>
- Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (1998). Naciones Unidas. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Quinn G. y Keough M. (2002) Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press. The Edinburgh Building, Cambridge .
- Reubens B., Achten W., Maes W., Danjon F., Aerts R., Poesen J. y Muys. B. (2011). More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. *Journal of Arid Environments*. 75:201-205.
- Revista Mexicana de Biodiversidad. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88(2). 5 p.
- Richard G. (2010). Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Center for Biodiversity and Conservation. Network of Conservation Educators and Practitioners, Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History. 3:54-89.
- Robertson G., Dale V., Doering O., Hamburg S., Melillo J., Wander M., Parton W., Adler P., Barney J., Cruse R., Duke C., Fearnside P., Follett R., Gibbs H., Goldemberg J., Mladenoff D., Ojima D., Palmer M., Sharpley A., Wallace L., Weathers K., Wiens J. y Wilhelm W. (2008). Sustainable biofuels redux. *Science*. 322: 49-50.
- Rodríguez-Acosta M., Vega-Flores K, De Gante-Cabrera V. y J. Jiménez-Ramírez. (2009). Distribución del género *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) en el estado de Puebla, México. *Polibotánica* 28:37-48.

- Rug M. y Ruppel A. (2000). Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes. *Tropical Medicina International Health* 5:423-430.
- SAGARPA (2006). Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura Informe Nacional 2006/Compilado y editado por Juan C. Molina Moreno y Leobigildo Córdova Téllez. Chapingo, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.
- Secretaría de desarrollo urbano y metropolitano. (2003). Plan municipal de desarrollo urbano de Luvianos. Gobierno del estado de México. 249 páginas.
- Secretaría de desarrollo urbano y metropolitano. (2007). Plan estatal de desarrollo urbano. Gobierno del estado de México. Plano clave D-10, Usos de suelo.
- Secretaría de desarrollo urbano y metropolitano. (2007). Plan municipal de desarrollo urbano de Tejupilco. Gobierno del estado de México. 203 páginas.
- Secretaría de desarrollo urbano y metropolitano. (2008). Plan estatal de desarrollo urbano. Gobierno del estado de México. 158 p.
- Secretaria de Energía (2014). Estrategia Nacional de Energía 2014-2028. Ciudad de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf>
- Secretaria de Energía (2014). Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Ciudad de México. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/215/ENTEASE\\_2014.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/215/ENTEASE_2014.pdf)
- SENASICA (2012) Información técnica de semilla de *Jatropha curcas*, Mexicana para exportación, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: [www.senasica.gob.mx](http://www.senasica.gob.mx)
- SIAP. (2012). *Jatropha*. Producción Anual. Cierre de la Producción Agrícola por Estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)
- Soberón J. y Townsend P. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 10 p.
- Sotolongo P., Beaton D., Diaz G., Montes de Oca L., del Valle A. y Garcia P. (2007). Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo. *Tecnología Química*. Vol 27. N° 2

- Tellería J., Santos T., Refoyo P y Muñoz J. (2012). Use of ring recoveries to predict habitat suitability in small passerines. *Distribution and Diversity*, 18(11): 1130–1138.
- Tilman D, Hill J y Lehman C. (2006). Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass *Science*. 314: 1598-1600.
- Toledo J., Deleon M., Hollunder K., Macedo P., Tomaz M. y Teixeira A. (2009). Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e da mamona (*Ricinus communis* L.) no estado do Espírito Santo, ACSA Agropecuaria Científica no Semi-Árido, 2(05):41-51
- Toral O., Iglesias J., Montes de Oca S., Sotolongo J., García S., y Torsti M. (2008). *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes* 31:191–207
- Torres C. (2007). *Jatropha curcas*: desarrollo fisiológico y técnico. En: Boletín CUBAENERGÍA. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía. La Habana, Cuba. 7 p. Disponible en: <http://www.cubaenergia.cu/>
- Townsend P. (2006). Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatic*. 14 p.
- Trabucco A., Achten W, Bowe C., Aerts R., Van Orshoven J., Norgroves L. y Muys, B. (2010). Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. *GCB Bioenergy* 2:139- 151
- Valle D., Blanco M., Wolf J. y Kaelin C. (1999). Evaluación 1999 del proyecto Tempate; Síntesis. Managua, Nicaragua/ Zurich, Suiza, KEK CDC Consultants. 38 p.
- Van der Ver L. (2008). Biofuels in Nicaragua. Embajada de Holanda, Managua, Nicaragua. 46 p.
- Villegas L., Fernández L., Maldonado H, Torres R., Zabaleta A., Vaisberg A. y Hammond G. (1997). Evaluation of the wound-healing activity of selected traditional medicinal plants from Peru. *J Ethnopharmacol*. 55(3):193-200.
- Vinuesa P. 2016, Correlación: teoría y práctica. Centro de ciencias genómicas, UNAM. Disponible en: <http://www.ccg.unam.mx/vinuesa/>
- Wearne L, Ko D. y Hannan–Jones M. (2013). Potential Distribution and Risk Assessment of an Invasive Plant Species: A Case Study of *Hymenachne amplexicaulis* in Australia. *Human and Ecological Risk Assessment*, 19(1):53–79
- Zamarripa D. (2008). Áreas de Potencial productivo de piñon *Jatropha curcas* L. como especie de interés Bioenergéticos en México. Boletín electrónico del comité Nacional Sistema producto Oleaginosas, 16: 4-6.

Zunino M. y Palestrini C. (1991). El concepto de especie y la biogeografía. Universidad de Murcia, España. *Anales de Biología*, 17, Biología animal 6:85-88.

Zurell D., Jeltsch F., Dormann C. y Schröder B. (2009). Static species distribution models in dynamically changing systems: How good can predictions really be? *Ecography*, 32: 733–744.