

## Implicaciones socioeconómicas y ambientales generadas por la implementación de tres cultivos bioenergéticos en México.

### TESIS

Que para obtener el Grado de

### MAESTRO EN DESARROLLO REGIONAL SUSTENTABLE

Presenta

**FERNANDO SALAS MARTÍNEZ**

Dirección:

**Dra. Ofelia Andrea Valdés Rodríguez**

Codirección:

**Dr. Juan Matías Méndez Pérez**

*DEDICATORIA*

Para los tres regalos que la vida me pudo dar: papá, mamá y hermano.

# Agradecimientos

A mi familia por siempre brindarme su apoyo en la realización de éste logro.

A la Dra. Ofelia Andrea Valdés Rodríguez y al Dr. Juan Matías Méndez Pérez por su ayuda y dirección para poder elaborar éste trabajo.

A Aldo Márquez Grajales por su apoyo y compañerismo en el proceso de esta maestría.

A cada una de las personas que creyeron en mí.

A la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológico y Climático (REDESClim), por el apoyo para realizar esta investigación.

Este trabajo fue realizado con apoyo de la beca número 447376 perteneciente al CONACyT

# Índice

<b>Lista de figuras</b>	<b>v</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de acrónimos</b>	<b>x</b>
<b>Resumen</b>	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b>	<b>xv</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	3
1.2. Justificación . . . . .	6
1.2.1. Caña de azúcar . . . . .	7
1.2.1.1. Generalidades . . . . .	7
1.2.1.2. Situación mundial y nacional . . . . .	10
1.2.1.3. Generación de biocombustible (bioetanol) . . . . .	12
1.2.2. Jatropha . . . . .	15
1.2.2.1. Generalidades . . . . .	15
1.2.2.2. Situación mundial y nacional . . . . .	17
1.2.2.3. Generación de biocombustible (biodiésel) . . . . .	19
1.2.3. Moringa . . . . .	21
1.2.3.1. Generalidades . . . . .	21
1.2.3.2. Situación mundial y nacional . . . . .	23
1.2.3.3. Generación de biocombustible (biodiésel) . . . . .	24

---

1.3.	Comparación de rendimiento óptimo de los tres cultivos . . . . .	25
1.4.	Cambios de uso de suelo y vegetación . . . . .	26
1.5.	Hipótesis . . . . .	26
1.6.	Objetivo General . . . . .	27
1.6.1.	Objetivos específicos . . . . .	27
1.7.	Descripción de la tesis . . . . .	28
<b>2.</b>	<b>Experiencias socioeconómicas de los productores de tres cultivos con potencial bioenergético en México</b>	<b>29</b>
2.1.	Introducción . . . . .	29
2.2.	Hipótesis . . . . .	32
2.3.	Objetivo . . . . .	32
2.4.	Materiales y métodos . . . . .	32
2.5.	Resultados y discusión . . . . .	34
2.5.1.	Análisis del aspecto social . . . . .	34
2.5.2.	Análisis del aspecto económico . . . . .	36
2.5.3.	Problemática en procesos de producción y comercialización . .	37
2.6.	Conclusiones . . . . .	41
<b>3.</b>	<b>Cambios en la variabilidad climática generada por la implementa- ción de tres cultivos bioenergéticos en la región central del estado de Veracruz, México</b>	<b>43</b>
3.1.	Introducción . . . . .	43
3.2.	Hipótesis . . . . .	47
3.3.	Objetivo . . . . .	47
3.4.	Metodología . . . . .	47
3.4.1.	Área de estudio . . . . .	47
3.4.2.	Modelo RegCM . . . . .	48
3.4.3.	Clasificación de los cultivos bioenergéticos . . . . .	51
3.4.4.	Validación del modelo . . . . .	54
3.5.	Resultados y discusión . . . . .	55
3.5.1.	Validación del modelo . . . . .	55

---

3.5.2. Comparación entre cultivos . . . . .	59
3.6. Conclusiones . . . . .	62
<b>4. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>64</b>
4.1. Conclusiones generales . . . . .	64
4.2. Recomendaciones . . . . .	65
<b>Bibliografía</b>	<b>67</b>
<b>Anexo A</b>	<b>82</b>
<b>Anexo B</b>	<b>87</b>

# Índice de figuras

1.1.	<i>Principales productores de caña de azúcar en el mundo, en los últimos tres ciclos de zafra. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la USDA (2018).</i>	10
1.2.	<i>Superficie sembrada (ha) en México bajo condiciones de temporal y riego entre los años 2008-2017. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SIAP (2018).</i>	13
1.3.	<i>Principales productores de bioetanol a nivel mundial entre los años 2007 y 2015. Fuente: Renewable Fuels Association (RFA, 2018).</i>	14
1.4.	<i>Producción mundial de biodiésel (billones de litros) en el periodo 2012-2017. Fuente: elaboración propia a partir de OECD-FAO Agricultural Outlook 2012-2017.</i>	21
2.1.	<i>a) Diversificación de los productos derivados de los cultivos y b) productores con apoyos de gobierno federal.</i>	42
3.1.	<i>Orografía de las áreas de interés. Dominio madre (27 km) cubriendo gran parte del territorio nacional; dominio de 9 km (línea gris) y región de estudio en rojo (áreas donde se implementarán los cultivos bioenergéticos). Distribución de los diferentes ingenios azucareros (puntos rojos) y destiladoras (puntos negros).</i>	48
3.2.	<i>Descripción del proceso de las diferentes simulaciones y sus respectivas características: condiciones iniciales y de frontera y los diferentes tipos de usos de suelo y vegetación utilizados.</i>	51

---

3.3.	<i>Las diferentes cartas de uso de suelo y vegetación utilizados para nuestro estudio, a) representa al uso de suelo de la simulación Control, b) al de caña de azúcar, c) al de Jatropha y d) Moringa. . . . .</i>	52
3.4.	<i>Regiones de comparación en las que se observan los mayores contrastes de uso de suelo y vegetación. La región 1 representa cultivos mixtos, la región 2 árbol perenne de hoja aciculada, la región 3 es bosque mixto y región 4 es agricultura de riego. . . . .</i>	53
3.5.	<i>Región de estudio con las estaciones climatológicas seleccionadas. . .</i>	55
3.6.	<i>Comparación de la información de las estaciones seleccionadas y los resultados de la simulación de Control con respecto a la variable de temperatura ambiente para a) Región 1, b) Región 2, c) Región 3 y d) Región 4. . . . .</i>	57
3.7.	<i>Comparación de la información de las estaciones seleccionadas y los resultados de la simulación Control respecto a la variable de precipitación. a) Región 1, b) Región 2, c) Región 3 y d) Región 4. . . . .</i>	58
3.8.	<i>Comparación de temperatura obtenida de las diferentes simulaciones con el modelo RegCM para cada cultivo en las cuatro regiones seleccionadas. a) Región 1, b) Región 2, c) Región 3 y d) Región 4. . . . .</i>	60
3.9.	<i>Comparación de la precipitación obtenida en las simulaciones con el modelo RegCM para cada cultivo en las cuatro regiones seleccionadas. a) Región 1, b) Región 2, c) Región 3 y d) Región 4. . . . .</i>	62



# Índice de tablas

1.1. <i>Afectaciones sociales, económicas y ambientales generadas por la producción de cultivos bioenergéticos</i> . . . . .	4
1.2. <i>Clasificación botánica de la caña de azúcar. Fuente: CONADESUCA (a) (2015)</i> . . . . .	8
1.3. <i>Producción agrícola nacional de caña de azúcar para el año 2017. Fuente: SIAP (2018)</i> . . . . .	12
1.4. <i>Clasificación botánica de la Jatropha. Fuente: González et al., (2011)</i>	16
1.5. <i>Distribución mundial de las plantaciones de Jatropha. Fuente: GEXSI (2008) y Wahl et al., (2012).</i> . . . . .	18
1.6. <i>Producción nacional de Jatropha entre los años 2012-2017 Fuente: SIAP (2018).</i> . . . . .	19
1.7. <i>Clasificación botánica de la Moringa. Fuente: Cronquist (1981)</i> . . . .	22
1.8. <i>Producción mundial de Moringa en el periodo del 2012 a 2017. Fuente: Statista (2018).</i> . . . . .	23
1.9. <i>Producción de Moringa en México en el periodo 2014-2017. Fuente: SIAP (2018).</i> . . . . .	24
2.1. <i>Resumen de impactos sociales y económicos reportados en México sobre caña de azúcar y Jatropha.</i> . . . . .	31
2.2. <i>Aspectos sociales de los productores mexicanos que siembran caña de azúcar, Moringa y Jatropha.</i> . . . . .	35
2.3. <i>Aspectos económicos de tres cultivos con potencial biocombustible en México.</i> . . . . .	38

---

2.4.	<i>Problemática asociada a la producción y venta de tres cultivos bio-energéticos mexicanos reportada por los productores. . . . .</i>	41
3.1.	<i>Aplicaciones de la modelación numérica en cambios de uso de suelo y vegetación. . . . .</i>	45
3.2.	<i>Parametrizaciones utilizadas en las diferentes simulaciones de acuerdo por lo sugerido por Diro et al., (2012). . . . .</i>	49
3.3.	<i>Usos de suelo y vegetación del modelo RegCM4 . . . . .</i>	50
3.4.	<i>Resultados de la prueba estadística t-student y Error Cuadrático Medio (ECM) para las estaciones seleccionadas en cada región. . . . .</i>	54

# Lista de acrónimos

**BATS** Esquema de Transferencia Biosfera-Atmósfera

**CAM** Modelo Atmosférico Comunitario

**CDHCU** Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión

**CFE** Comisión Federal de Electricidad

**CLICOM** Base de Datos Climatológica Nacional

**CONADESUCA** Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar

**CONAGUA** Comisión Nacional del Agua

**DS** Desarrollo Sostenible

**ECM** Error Cuadrático Medio

**ENA** Encuesta Nacional Agrícola

**ERA-Interim** Reanálisis del ECMWF

---

**FAO** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**FMI** Fondo Monetario Internacional

**GEXSI** Intercambio Global de Inversión Social

**ICTP** Centro Internacional de Física Teórica

**INEGI** Instituto Nacional de Estadística y Geografía (antes Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática)

**INIFAP** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**IPCC** Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

**MSNMM** Metros sobre el nivel medio del mar

**OECD** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

**OXIFUEL** OXI (Oxigenante) y FUEL (Combustible). Empresa generadora de biocombustible (etanol) derivado de la caña de azúcar

**PIB** Producto Interno Bruto

**PRONAC** Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar

**RegCM** Modelo de Clima Regional

**RF** Modelo de Forzamiento Radiativo

---

**SAGARPA** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

**SEMARNAT** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**SENER** Secretaría de Energía

**SIAP** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

**SMN** Servicio Meteorológico Nacional

**USDA** Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

**WRF** Model Weather Research and Forecasting

# Resumen

Con el paso del tiempo la humanidad ha utilizado los recursos naturales como fuente para satisfacer sus necesidades energéticas, esto sin importar los problemas asociados para lograr este fin. Actualmente, y a través del Desarrollo Sustentable, se exploran nuevas fuentes alternativas de energía renovable. Tales energías pueden ser los cultivos bioenergéticos, cuya producción es destinada para generar energía aprovechable. Por tal motivo es importante evaluar las implicaciones sociales, económicas y ambientales que estos cultivos podrían generar al momento de su implementación, así como las diferentes opciones para el país.

Para ello se realizaron los análisis del aspecto socioeconómico y ambiental (temperatura y precipitación), utilizando los cultivos de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar), *Jatropha curcas L.* (Jatropha) y *Moringa oleífera Lam.* (Moringa). Ya que tanto caña de azúcar como Jatropha se han promovido como alternativas energéticas para México. Mientras que con Moringa se cuenta con estudios acerca de su potencial productivo de biodiésel.

Para evaluar el aspecto socioeconómico se realizó una encuesta a productores de dichos cultivos de diversos estados del país, los cuales se identificaron mediante un buscador web, en el caso de los cultivos de Jatropha y Moringa; y los productores de caña de azúcar se identificaron a través del representante de los productores de Caña de azúcar de la zona de abasto del Ingenio la Gloria S. A., del estado de Veracruz. Para el aspecto ambiental, se utilizó de la modelación numérica como herramienta de evaluación en la sustitución de los tres cultivos en la Región central del estado de

---

Veracruz, mediante simulaciones con el modelo RegCM4, que consisten en fijar las condiciones atmosféricas actuales de la región de interés para posteriormente solo modificar las condiciones de usos de suelo y vegetación por los tres cultivos a analizar.

Los resultados encontrados demuestran que en el aspecto socioeconómico los productores de caña de azúcar presentaron un conformismo y dependencia absoluta con respecto los ingenios compradores de su producción; además cuentan con una seguridad social que ningún otro cultivo otorga. Mientras que los productores de *Jatropha* fueron los mayormente apoyados con programas y proyectos del gobierno federal, pero no cuentan con mercados para vender su producto. Por otro lado, los más satisfechos económicamente resultaron ser los productores de Moringa, los cuales tiene una fuerte incursión en los mercados de alimentos y salud, pero no en la bioenergía.

En el aspecto medio ambiental, se encontró que el cultivo de caña de azúcar fue el que mayormente genera variabilidad en temperatura y precipitación al momento de su sustitución, mientras que *Jatropha* es el que menos implicaciones climáticas obtuvo.

Se concluye que la mejor opción socioeconómica es el cultivo de Moringa, mientras que el cultivo de *Jatropha* resulto ser la opción con menos implicaciones ambiental.

# Abstract

Over time, humanity has used natural resources as a source to meet their energy needs, regardless of the problems associated to achieve this end. Currently, and through Sustainable Development, new alternative sources of renewable energy are being explored. Such energies can be bioenergy crops, whose production is destined to generate usable energy. For this reason it is important to evaluate the social, economic and environmental implications that these crops could generate at the time of their implementation, as well as the different options for the country.

To this end, the socioeconomic and environmental aspects (temperature and precipitation) were analyzed, using the cultures of *Saccharum officinarum* (sugar cane), *Jatropha curcas L.* (Jatropha) and *Moringa oleífera Lam.* (Moringa). Since both sugarcane and Jatropha have been promoted as energy alternatives for Mexico. While on Moringa there are studies about its productive potential of biodiesel.

To evaluate the socioeconomic aspect, a survey was conducted to producers of these crops from different states of the country, which were identified through a web browser, in the case of Jatropha and Moringa crops; and the sugarcane producers were identified through the representative of the sugarcane producers of the supply zone of Ingenio la Gloria S.A., of the state of Veracruz. For the environmental aspect, numerical modeling was used as an evaluation tool in the substitution of the three crops in the central region of the state of Veracruz, through simulations with the RegCM4 model, which consist of setting the current atmospheric conditions of the region of interest to later only modify the conditions of land and vegetation uses for



---

the three crops to be analyzed.

The results show that in the socioeconomic aspect the producers of sugarcane presented a conformism and absolute dependence with respect to the sugar mills of their production; they also have a social security that no other crop grants. While the producers of Jatropha were mostly supported with programs and projects of the federal government, but do not have markets to sell their product. On the other hand, the most economically satisfied were the producers of Moringa, which has a strong foray into the food and health markets, but not into bioenergy.

In the environmental aspect, it was found that the sugarcane crop was the one that generates the most variability in temperature and precipitation at the time of its substitution, while Jatropha is the one with the least climatic implications.

It is concluded that the best socioeconomic option is the cultivation of Moringa, while the culture of Jatropha turned out to be the option with less environmental implications.