

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

División de Ingeniería.  
Departamento de Ciencias del Suelo



**Cartografía del potencial productivo del Hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.) para la producción de etanol de segunda generación en el estado de Veracruz**

**Por.**

**Yonatan de Jesús Martínez Ramos**

**TESIS. PRESENTADA**

**COMO:**

**Como requisito parcial para obtener el título de:**

**ING. AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre 2011**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

**Cartografía del potencial productivo del Hule (*Hevea Brasiliensis*  
Muell Arg.) para la producción de etanol de segunda generación en  
el estado de Veracruz**

**POR:**

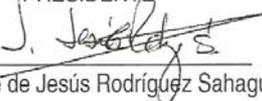
**YONATAN DE JESUS MARTINEZ RAMOS**

**TESIS**

Que se somete a consideración del H. jurado examinador como  
requisito para obtener el título:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

PRESIDENTE



Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún

SINODAL



Dr. Lorenzo Alejandro López Barbosa

SINODAL



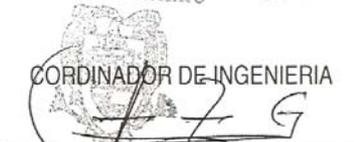
MIH. Oscar Lemus Ramírez

ASESOR EXTERNO



Ing. Roberto de Jesús López Escudero

COORDINADOR DE INGENIERIA



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre 2011

## *AGRADECIMIENTOS*

*A mi "alma mater" gracias por todos los aprendizajes que hasta la fecha he tenido, me diste la oportunidad de formarme como profesional, comprendí la importancia de lo que significa ser un amigo, compañero, hermano e hijo. Los momentos vividos aquí durante el tiempo que duro este trayecto los llevare con mígo siempre y no terminare de expresar el profundo orgullo que me da el pertenecer a esta gloriosa universidad.*

*A la comisión nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) por darme la oportunidad y realizar este trabajo, brindándome apoyo para el cumplimiento de su misión, y con el sueño de ver lograr mis sueños.*

*Al instituto nacional de investigaciones agrícolas pecuarias y forestales (INIFAP) por su apoyo y trabajar en sus instalaciones y por darme la oportunidad de ser mi estancia profesional.*

*Al Dr. Jesús Uresti Gil por la confianza depositada al encomendarme la realización de este proyecto del cual me siento orgulloso de haber formado parte y más aun bajo su asesoría, "gracias" por su paciencia, disposición y apoyo para culminación del proyecto.*

*Al Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún por haber aceptado formar parte de este proyecto, su colaboración y asesoría me ayudó mucho.*

*Al Dr. Lorenzo Alejandro López Barbosa por su apoyo, disposición, y sugerencia para la culminación de este proyecto.*

*Al ING. Oscar Lemus por su apoyo como asesor y por ser una persona muy amable y muy accesible, mis más grande agradecimientos y formar parte de este proyecto*

*Al Ing. Roberto por su apoyo valioso, paciencia y disposición por el apoyo incondicionalmente el cual le agradezco mucho y por ser un gran asesor y un gran amigo dentro del proyecto.*

*Al Ing. Daniel por su colaboración, apoyo y capacitación dentro del proyecto agradeciéndole por su confianza y ser un amigo.*

*A todos mis maestros del departamento de ciencias del suelo por su paciencia, apoyo y haber compartido sus conocimientos para mi formación profesional.*

*A mis amigos (cuates y camaradas): Josué, Madain, Víctor Hernández, Víctor basabe. Pedro, Migue, Edgar, Rogelio, Elmer, Deisy, Chelís, Nuria, Nanci, Valentín, Ricardo, Inés, Almita, Neli, Raymundo, Herminia, Reynol, Luis agradezco el haber compartido esta etapa con ustedes, cada triunfo, cada momento de salidas a prácticas, congreso, fiestas y bailes no se me olvidaran, les deseo*

*suerte en esta etapa que comienza y tengan presente que en mí  
tienen a un gran amigo.*

*A mis amigos del Cecyt No. 21 (Javier, mariano, Daniel, Carlos, Luis,  
gracias por sus buenos deseos y el apoyo recibido por parte de  
ustedes.*

## DEDICATORIAS

*“el corazón del entendido adquiere sabiduría; y el oído de los sabios  
busca la ciencia” (proverbio 18:15)*

*Primeramente a DIOS por prestarme vida cada día, por darme la  
fortaleza y sabiduría necesaria para enfrentar cada uno de los  
obstáculos y aprender de ellos, por darme la oportunidad de  
terminar esta etapa tan importante para mí y mi familia.*

*A mis padres Sr. Camilo Martínez Díaz, quiero expresar todo el  
respeto que tengo para tí, gracias por enseñarme que cada cosa que  
uno se propone debe luchar hasta alcanzarlo, por enseñarme a  
trabajar por lo que uno desea, y por toda la confianza depositada en  
mí, no te decepcione hoy este trabajo es dedicado para tí.*

*A mi madre Sra. Leticia Ramos Hernández por ser la mama más  
linda, por apoyarme en todo momento y por cada uno de sus consejos  
durante el tiempo que estuve fuera de casa, mis más profundo cariño  
y respeto, hoy este logro es para tí.*

*A mis hermanos (Nehemías, Emma, Tobías, Camilo, Dagoberto, Leti, Naye, José Enrique) gracias por todo su apoyo durante esta etapa, por sus buenos deseos y por estar ahí siempre cuando más necesite, este logro es también de ustedes "gracias carnales".*

*A mis sobrinos: Adrián, Jorge, Lina, Wilber, Pao, Axel, Camila, por cada momento de alegría compartida con ustedes, y por hacer de ellos momentos únicos, espero que tengan presente que cuentan conmigo y ahí estaré cuando me necesiten, este trabajo se los dedico y espero que luchan por alcanzar sus metas.*

*A Mónica por ser una gran mujer, que estuvo en las buenas y en las malas durante este proyecto mil agradecimientos te amo, gracias flaquita.*

*A mi cuñado Tomas Alvarado Hernández gracias por el apoyo y consejos recibidos por parte de tí, te deseo todo lo mejor en esta vida y este trabajo es tuyo también.*

*A mis cuñadas Viviana y Mari, deseándole lo mejor en esta vida para ustedes y su familia, que Dios los bendiga.*

*A mi tío Fermín "cholí" gracias por su apoyo y de irme a dejar cada que viajaba gracias, este trabajo es parte de usted también.*

*A mis abuelos (Adolfo, Argentina, Ursulo.) gracias por sus bendiciones, consejos y apoyo dios los bendiga siempre.*

*A mi gran amigo el director de la primaria unión y progreso, Raymundo por sus consejos y apoyo dios lo bendiga siempre.*

*Con cariño*

YONATAN

	PAG.
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE CUADROS .....</b>	<b>XI</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRAC .....</b>	<b>XIV</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCCION .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	4
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.1.2 <i>objetivos particulares</i> .....	4
1.1.3 <i>Hipótesis</i> .....	5
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>6</b>
REVISION DE LITERATURA .....	6
2.1 <i>Fuerzas promotoras de los biocombustibles líquidos</i> .....	6
2.1.1 <i>El petróleo y la seguridad energética</i> .....	6
2.1.2 <i>La emisión de gas de efecto invernadero y el cambio climático</i> .....	7
2.1.3 <i>El desarrollo rural</i> .....	7
2.1.4 <i>La seguridad alimentaria</i> .....	8
2.2 IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN SEGURIDAD ENERGÉTICA, CAMBIO CLIMÁTICO, DESARROLLO RURAL Y SEGURIDAD ALIMENTARIA .....	9
2.2.1 <i>Impacto de los biocombustibles y la seguridad energética</i> .....	9
2.2.2 <i>Impacto de los biocombustibles y el cambio climático</i> .....	10
2.2.3 <i>Impacto de los biocombustibles en el desarrollo rural</i> .....	11
2.2.4 <i>Impacto de los biocombustibles y la seguridad alimentaria</i> .....	11
2.2.5 <i>Tipos, estadística y evolución de la producción de biocombustibles</i> <i>(global, América latina, México)</i> .....	12
2.2.6 <i>Biocombustibles obtenidos a partir de biomasa</i> .....	15
2.2.7 <i>Etanol de segunda generación</i> .....	15
2.3 MARCO LEGAL PARA PRODUCIR BIOCOMBUSTIBLES .....	16
2.3.1 <i>Políticas e instituciones sobre biocombustibles</i> .....	16
2.3.2 <i>Leyes y reglamentos para producir biocombustibles</i> .....	17
2.3.3 <i>Programas de apoyos y financiamiento para producir biocombustibles</i> .....	17

2.4 HULE ( <i>HEVEA BRASILIENSIS</i> MUELL ARG) PARA PRODUCIR CELULOSA PARA BIOCOMBUSTIBLE .....	18
2.4.1 Tipo, cantidad y calidad de la celulosa .....	18
2.4.2 Uso actual de residuos forestales.....	20
2.4.3 Superficie de hule ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg) cultivada en el estado de Veracruz .....	20
2.4.4 Utilización de la madera del hule ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg) .....	21
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>22</b>
TECNOLOGIA DE PRODUCCION.....	22
3.1 Paquete tecnológico .....	22
3.1.1 Limpieza del terreno .....	22
3.1.2 Plantación .....	22
3.1.3 Fertilización.....	23
3.1.4 Control de maleza plagas y enfermedades.....	24
3.1.5 Podas.....	25
3.1.6 Cosecha del hule .....	25
3.3 PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DEL HULE ( <i>HEVEA BRASILIENSIS</i> MUELL ARG) UTILIZADOS EN EL MODELO DE SIMULACIÓN .....	26
3.3.1 Fenología del hule ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg) .....	26
3.3.2 Área foliar .....	27
3.3.3 Temperatura base.....	27
3.3.4 Eficiencia en uso de la radiación solar .....	28
3.3.5 Partición de biomasa .....	28
3.3.6 Profundidad de raíces del hule .....	30
3.3.7 zonificación agroecológica.....	30
3.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	31
3.4.1 ArcMap .....	31
3.4.2 ArcView.....	31
3.4.3 El modelo SWAT.....	32
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>33</b>
MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
4.1 Área de trabajo .....	33
4.1.1 Localización y superficie total del estado de Veracruz.....	33
4.1.2 Delimitación de cuenca.....	38
4.1.3 Análisis de las unidades de respuesta hidrológica .....	39
4.2 INFORMACIÓN UTILIZADA PARA CORRER EL SWAT .....	40
4.2.1 Suelo.....	40
4.2.2 Parámetros fisiológicos del hule ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg) .....	41
4.2.3 estaciones y datos climáticos .....	41

4.2.4 Manejo del hule ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg).....	43
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>44</b>
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i> .....	44
5.1 <i>CARTOGRAFÍA DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN</i> .....	44
5.1.2 <i>Cartografía del potencial de rendimiento de biomasa y etanol del hule</i> ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg) .....	44
5.1.3 <i>Cartografía y caracterización de aéreas potenciales y marginales</i> .....	48
5.1.4 <i>Identificación de polos de desarrollo</i> .....	48
5.1.5 <i>Proyección del tamaño potencial de las biorefinerías</i> .....	48
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>49</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	49
<b>LITERATURA CONSULTADA</b> .....	51
<b>ANEXOS</b> .....	55

## ÍNDICE DE CUADROS

PAG.

cuadro 1. Biocombustibles convencionales de los cuales son obtenidos de biomasa, liquido o gaseoso .....	15
Cuadro 2. Clasificación del hule ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg) .....	19
Cuadro 3. Composición química de la madera (%) .....	19
Cuadro 4. Superficie cultivada de hule por estado y a nivel nacional en hectáreas .....	20
Cuadro 5. Volumen de tronco total en metros cúbicos según las edades .....	21
Cuadro 6. Eficiencia en el crecimiento del hule en función de la temperatura .....	28
Cuadro 7. Clasificación por superficie del clima en el estado de Veracruz .....	35
Cuadro 8. Metodología y fuentes utilizadas para calcular los datos de suelo faltante .....	40
Cuadro 9. Características del perfil típico del suelo cambisol eútrico .....	41
Cuadro 10. Parámetros fisiológicos del hule ( <i>Hevea Brasiliensis</i> Muell Arg) .....	41
Cuadro 11. Datos de la estación 30012 .....	43
Cuadro 12. Principales factores climáticos y edáficos en la producción y rendimientos del hule .....	46

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>PAG.</b>
<b>FIGURA 1.</b> Distribución por región de la producción total de etanol (77.03 billones de litros por año) en el año 2009.....	<b>13</b>
<b>FIGURA 2.</b> Evolución de la producción mundial y por regiones de biocombustibles líquidos durante el periodo de 2005-2009.....	<b>14</b>
<b>FIGURA 3.</b> Evolución de la producción anual de BCL en México.....	<b>14</b>
<b>FIGURA 4.</b> Localización del estado de Veracruz.....	<b>34</b>
<b>FIGURA 5.</b> Climas del estado de Veracruz.....	<b>35</b>
<b>FIGURA 6.</b> Topografía y pendiente del terreno en el estado de veracruz.....	<b>36</b>
<b>FIGURA 7.</b> Mapa de suelo en el estado de Veracruz.....	<b>37</b>
<b>FIGURA 8.</b> Mapa del uso de suelo del estado de Veracruz.....	<b>38</b>
<b>FIGURA 9.</b> Ubicación de las 95 estaciones climáticas usadas por el SWAT.....	<b>42</b>
<b>FIGURA 10.</b> Rendimiento de biomasa y etanol a través del hule ( <i>Hevea Brasilensis</i> Muell Arga) en el estado de Veracruz.....	<b>45</b>

## RESUMEN

En el presente trabajo se exponen el potencial de producción de biomasa y etanol a través del hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) en el estado de Veracruz, como respuesta a la necesidad de producir combustibles sustitutos a los hidrocarburos. Se encontró que los factores edafoclimaticos del estado influyeron en la obtención de rendimiento potencial por medio del modelo de simulación ARC SWAT. Mediante el modelo se encontraron rangos de 20 - 200 (t ha<sup>-1</sup>) de materia seca en todo el estado. Igualmente se identificaron las regiones del estado donde la producción de biomasa es alto o marginal y. se concluyó que la relación edafoclimatica y los parámetros del cultivo están ligados en su adaptación y desarrollo en el estado en donde en general se observó que el área del estado de Veracruz presenta altos potenciales para la producción de etanol con base a la biomasa calculada.

Palabras clave: seguridad energética, zonificación, medioambiente, sistema de información geográfica ARC SWAT

## ABSTRACT

This paper describes the potential of biomass and ethanol production through rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) in the state of Veracruz, in response to the need to produce alternative fuels to hydrocarbons. It was found that the state soil and climate factors influencing the potential yield obtained by the simulation model ARCSWAT. With the model ranges were 20 - 200 (t ha<sup>-1</sup>) of dry matter throughout the state. Also identified regions of the state where biomass production is high or marginal. We concluded that the relationship edaphoclimatic and culture parameters are linked in their adaptation and development in the state where it is generally observed that the area of the state of Veracruz has a high potential for ethanol production based on biomass calculated.

Keywords: energy security, zoning, environmental, geographic information system ARC SWAT.



# CAPITULO I

## INTRDUCCION

En la actualidad el tema de los bioenergéticos ha tomado relevancia a nivel mundial debido al interés de producir combustibles a partir de biomasa, comúnmente llamados biocombustibles. Dentro de estos los biocarburantes líquidos. (El etanol y el biodiesel) han tenido un mayor interés, ya que producción de estos combustibles se sustentan en fuerzas promotoras para mitigar los efectos del calentamiento global y otras preocupaciones globales.

Se afirma que el uso de biocombustibles en sustitución de los combustibles fósiles reducirá de una manera considerable las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, debido a que de acuerdo al ciclo de este elemento, la cantidad emitida por medio de la combustión podría ser proporcional a la absorbida por los cultivos en el proceso de fotosíntesis.

para así enfrentar la crisis energética, y promover la seguridad energética diversificando la *matriz energética mundial*, promoviendo el desarrollo rural, y contribuyendo a la mejora de las condiciones de los campesinos en la producción del insumo en zonas donde existen alto potencial aportándole una fuente de ingreso y empleo para el sustento de su familia.

Los biocombustibles de primera generación son producidos de cultivos alimenticios como granos, caña de azúcar y aceites vegetales, pero en la actualidad estos han recibido fuertes críticas por su nivel de sustentabilidad al momento de ser aprovechados.

Para afrontar el reto y la problemática mencionado el párrafo anterior se han establecidos alternativas como los biocombustibles de segunda generación, que son en la actualidad la mejor alternativa para cubrir la problemática y aprovechar los recursos marginales. Los biocombustibles de segunda generación se produce a través de la fermentación y utilización de la celulosa, hemicelulosa y azúcares.

Existe una preocupación de que las tierras cultivables que actualmente se destina a la producción de alimentos se utilicen para la siembra de cultivos con vocación de materias primas para producir biocombustibles ocasionando un aumento en el precio de los alimentos e incrementando los problemas en el tema de seguridad alimentaria, para ello la utilización del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) es un recurso natural que no afecta la seguridad alimentaria lo cual se aprovecha la biomasa como una alternativa para generar bioenergía.

Gracias a la tecnología se han creado programas como sistemas de información geográfica y el incremento en la capacidad de las computadoras nos

permite realizar análisis complejos y explícito del tema a retomar. De la misma manera se han creado modelos que permiten simular el crecimiento del cultivo, predecir rendimientos, las características del medio ambiente donde se desarrolla y la interacción que surge, la combinación de estas tecnologías permite zonificar indicando la productividad de cada zona, el uso de esta herramienta nos da la capacidad de realizar investigaciones de una mayor escala, reduciendo el tiempo y el costo de la investigación.

Con base en lo anterior el objetivo del presente trabajo fue cartografiar en el estado de Veracruz el potencial productivo del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) y el rendimiento teórico de etanol de segunda generación mediante el uso de sistemas de información geográfica y modelos de simulación de producción, con el fin de ayudar a los tomadores de decisiones en la planificación del desarrollo rural y el establecimiento de refinerías de etanol.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Generar información a través de la cartografía del potencial productivo del Hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) en todo el estado de Veracruz para producir etanol de segunda generación base a las interacciones entre parámetros fisiológicos, manejo del cultivo y condiciones edafoclimaticas del estado de Veracruz.

### 1.1.2 Objetivos particulares

Identificar el potencial productivo del Hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) para generar energía a través de la biomasa.

Determinar las áreas de mayor potencial en el estado de Veracruz para el establecimiento del cultivo del Hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg).

Analizar la relación existente entre las condiciones edafoclimaticas, parámetros fisiológicos y manejo del cultivo del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) en función a los rendimientos obtenidos de biomasa y etanol.

### 1.1.3 Hipótesis

#### General

- La distribución geográfica del potencial productivo de biomasa y etanol del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) es función de las interacciones entre los parámetros fisiológicos, manejo del cultivo y condiciones edafoclimaticas del estado de Veracruz.

#### Especificas

- La distribución geográfica del potencial productivo de biomasa del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) es función de las condiciones edafoclimaticas del estado de Veracruz.
- La distribución geográfica del potencial productivo de etanol de segunda generación a través del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) es función de las condiciones edafoclimaticas del estado de Veracruz.
- Las condiciones edafoclimaticas, parámetros fisiológicos y manejo del cultivo del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) determinan la zonificación geográfica del potencial productivo de biomasa y etanol.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Fuerzas promotoras de los biocombustibles líquidos

El Plan nacional de Desarrollo aplica estrategias en todo los ámbitos, como la diversificación de las fuentes primarias de energía y el fomento del aprovechamiento sustentable de energía renovable como la bioenergía, que se obtiene de la biomasa, es decir, energía que se produce a partir de materiales orgánicos, acuicultivos, alga cultivos, productos, subproductos y residuos forestales, residuos orgánicos municipales (SENER, 2007-2012).

##### 2.1.1 El petróleo y la seguridad energética

De acuerdo a Rodríguez, et al. (2006) en la década de los setenta la producción mundial de petróleo iba a comenzar a declinar. Se predijo a nivel mundial, que la producción de petróleo comenzara a declinarsse en los años 2005-2010 y que la producción total de hidrocarburos incluyendo gas natural y otros recursos comenzara a declinar hacia el año 2012.

La situación petrolera de México no presenta un futuro alentador, se tiene comprobado en el 2007 los futuros 10 años siguientes estaría pasando por un momento crítico, Podría seguirse descubriendo nuevos yacimientos petroleros, pero se demuestra que estos descubrimientos no cubren la totalidad de la producción por año, lo cual México atravesaría por una crisis energética aguda (PEMEX, 2007).

### 2.1.2 La emisión de gas de efecto invernadero y el cambio climático

Existe un vínculo entre la emisión de gases de efecto invernaderos y el cambio climático con los hidrocarburos ya que la quema de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>. Muchas reservas petroleras se localizan en países con gran extensión de bosques naturales y en mares profundos, por lo que la extracción tienen doble impacto en el cambio climático: la destrucción de organismos fotosintéticos que absorben CO<sub>2</sub> atmosférico, procesos de deforestación, que implica la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmosfera; y por otro lado, incrementa el uso de los combustibles fósiles almacenados en el subsuelo y la emisión de gases que aumentan el efecto invernadero (Haya 2000).

### 2.1.3 El desarrollo rural

El desarrollo rural es fomentar la actividad orientada a la generación de empleo, promoviendo la inversión y los esquemas de participación e integración de productores de insumos para bionergéticos, que permitan elevar el nivel de desarrollo humano, social y patrimonio de la zona rural del país, dándole prioridad a las zonas de alta y muy alta marginalidad (SAGARPA, 2009-2012).

El desarrollo de la industria de los bionergeticos podría ampliar el acceso a los sistemas de energía, crear fuentes de trabajo y aumentar el ingreso en zonas rurales de nuestro país. (SAGARPA, SENER, SE, SEMARNAT, SHCP, 2009).

Los servicios de Extensión y Asistencia Técnica En América Latina y El Caribe ha sido un instrumento enfocado, principalmente hacia la pequeña agricultura como una forma de mejorar las condiciones de vida en el entorno rural. Llevar tecnologías para aumentar la productividad, transformación y diferenciación positiva y negativa, el desarrollo rural está enfocado a las condiciones de vida de los campesinos que cuentan con un potencial de recursos de tierra y de capital escaso (IICA, 2010).

#### 2.1.4 la seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria constituye, en principio, un impulso casi instintivo de los grupos humanos para asegurar su sobrevivencia frente a la escasez. La variable tiempo asociada con las expectativas inciertas de la relación producción-disponibilidad representa un factor de primer orden, la seguridad alimentaria como componente nacional se sustenta en que los desequilibrios internos han sobrepasado sus límites tradicionales, ya no abarca sólo a los espacios rurales más empobrecidos, si no también, en grado crecientes a los urbanos (Felipe Torres 2002).

El reto para el siglo XXI será la búsqueda de la seguridad alimentaria, entendida no sólo como el balance entre disponibilidad de alimento y demanda de energía, sino que el reto deberá redefinirse a la luz de la autosuficiencia alimentaria, analizando la importancia de los granos básicos en la alimentación para no generar mayor rezago alimentario (Camberos, 2000).

La prioridad propuesta por la FAO para la seguridad alimentaria consiste en crear sistemas alimentarios con capacidad de recuperación, hablando del factor económico, producción agrícola y tecnología, evaluar las opciones para dar apoyo a los grupos vulnerables y analizarlos para dar una atención especial a los riesgos y a las opciones para su gestión (FAO 2006).

Por lo tanto, existe un desafío que consiste en promover la producción de las bioenergías sin perjudicar la oferta de alimentos, mediante la inserción de los biocombustibles en la matriz energética de los países de ALC (América Latina y el Caribe), específicamente el etanol y el biodiesel, lo que permitiría pasar de una agricultura dependiente del petróleo a una más sustentable (IICA 2010; 2009b).

## 2.2 IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN SEGURIDAD ENERGÉTICA, CAMBIO CLIMÁTICO, DESARROLLO RURAL Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

### 2.2.1. Impacto de los biocombustibles y la seguridad energética

El papel de la bioenergía en la seguridad energética, es fundamental, ya que se concibe a la bioenergía, como parte de la solución que permite avanzar hacia ella y favorece la mitigación del cambio climático, misma que debería ir acompañada de otras medidas de energías alternativas, como la reducción del consumo de energías dependientes del carbono y el impulso de energías alternas como eólica, solar e hídrica y el aumento de la eficiencia. El sector bioenergéticos necesita un marco normativo favorable y un horizonte temporal realista para conseguir una mayor eficiencia económica (FAO, 2008).

La seguridad energética global está amenazada por la concentración del suministro de energía en pocos países productores de petróleo. Los biocombustibles pueden contribuir para la desconcentración del suministro de energía con efectos positivos sobre los precios, la disponibilidad y la reducción del acceso desigual a la energía global, los biocombustibles pueden jugar un relevante rol en la diversificación de la matriz energética y contribuir para aumentar la seguridad energética (Paul Roberts 2008).

#### 2.2.2. Impacto de los biocombustibles y el cambio climático

Los cultivos y residuos agrícolas pueden ser utilizados como una fuente para biocombustible. Esto debe ser sostenible para la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) (Cannell, 2003; Schneider et al. 2003).

La bioenergía es una de las fuentes de energía renovables que pueden reemplazar en parte el uso de los países y a la apropiación de tecnologías de energías emergente, reduciendo las emisiones de gas invernadero (Cuervo, et al. 2009).

El etanol extraído a través de productos orgánicos, al ser un oxigenante de las gasolinas, mejora su octanaje lo que ayuda a descontaminar nuestras ciudades y a reducir los gases del efecto invernadero, porque son mas considerables que los hidrocarburos, ayudando en la salud humana por la

concentración de plomo lo cual causa cáncer y afecta la capacidades mentales especialmente en los niños (IICA, 2007).

### 2.2.3. Impacto de los biocombustibles en el desarrollo rural

Fomentar la producción de insumos para bionergeticos y su comercialización, aumentando la competitividad y mayor rentabilidad del campo mexicano, prioritariamente en zonas de alta y muy alta marginalidad, por medio del desarrollo científico y tecnológico, bajo criterios de sustentabilidad, el uso de paquetes integrales de tecnificación y promover asociaciones empresariales, que den como resultado empleo rural estable y bien remunerado y coadyuven a la transformación del entorno rural y agrícola de México (SAGARPA, 2009-2012).

Cada vez es más frecuente que los programas de producción de biocombustibles formen parte integral de las estrategias de desarrollo rural, de mitigación de la pobreza y del fortalecimiento de la seguridad alimentaria. Estos programas se visualizan, entonces, como una actividad que puede aportar de manera significativa al logro de los objetivos y metas de los programas sociales y económicos de los territorios. (IICA, 2010).

### 2.2.4. Impacto de los biocombustibles y la seguridad alimentaria

La FAO (2008), en la conferencia Seguridad Alimentaria, Cambio Climático Y Bioenergía que se llevo a cavo en Roma, para tratar y solicitar las perspectivas de las mismas, en el ámbito de seguridad alimentaria, hubo controversia sobre

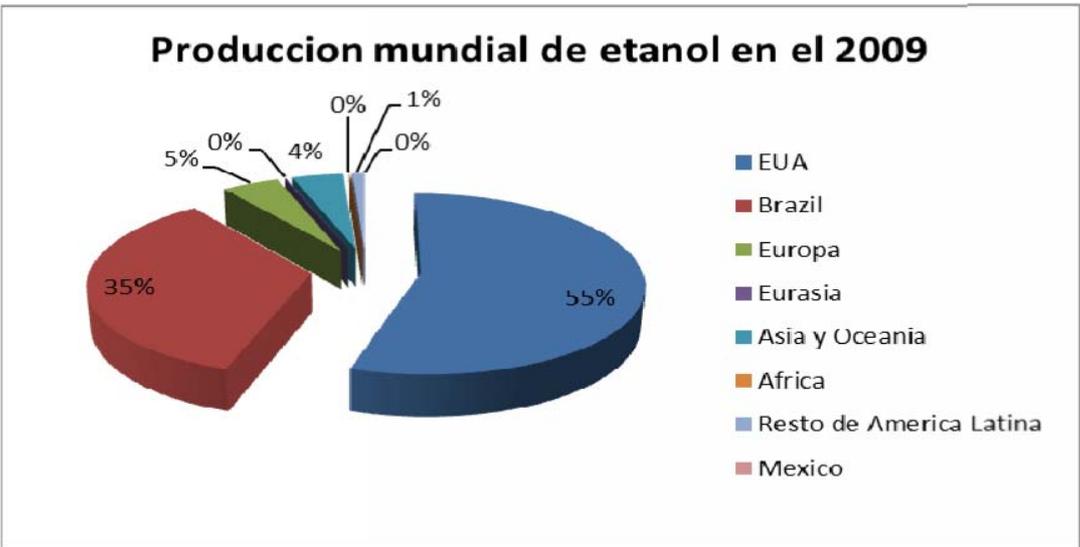
tierras potencialmente agrícolas para producir biocombustibles afectando negativamente la seguridad alimentaria, la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), crear marcos regulatorios sostenibles y desarrollo de políticas a favor de los pobres y pequeños productores por ser más vulnerables a la seguridad alimentaria. La FAO puede facilitar espacios para el dialogo sobre la reforma de políticas entre gobiernos, instituciones regionales, pequeños agricultores y productores para precisar estrategias de adaptación que reduzcan los riesgos de conflictos y garantizar la seguridad alimentaria.

Según la FAO (2011), el desarrollo de la bioenergía también puede proporcionar oportunidades para aumentar la seguridad alimentaria. Puede generar empleo y aumentar los ingresos de las comunidades agrícolas y estimula el desarrollo rural.

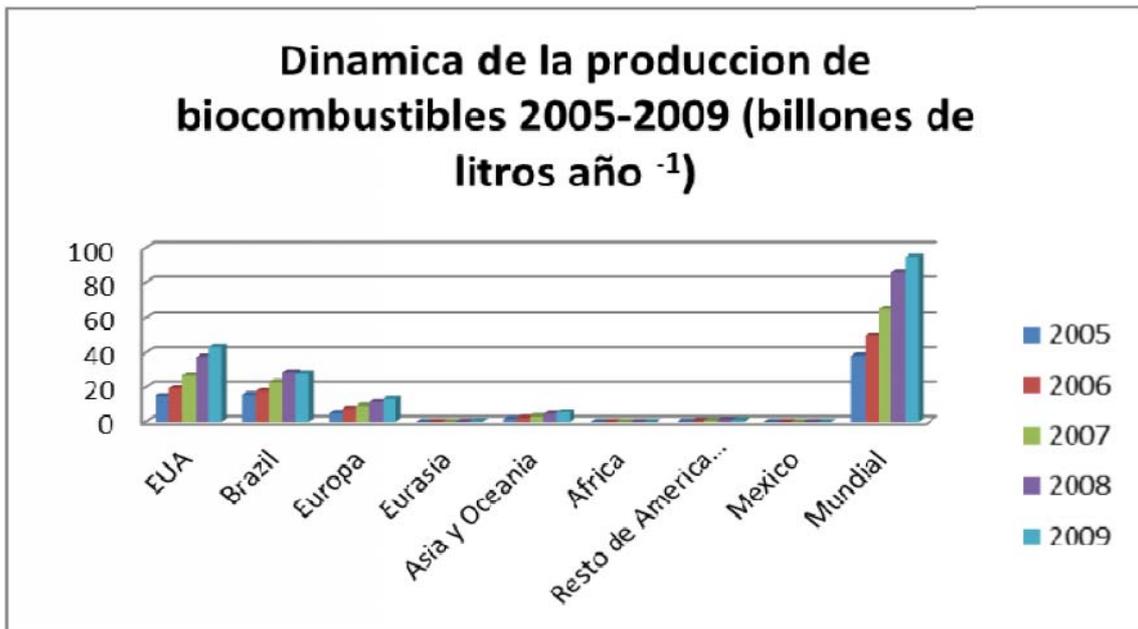
#### 2.2.5. Tipos, estadísticas y evolución de la producción de biocombustibles (global, América latina, México)

La experiencia de Brasil en materia de biocombustibles es sin duda un paradigma relevante para la región de América latina y el Caribe (CEPAL, 2008), En las Figuras 1,2 y 3 se muestra estadísticamente la producción total por región de los biocombustibles líquidos de etanol en los últimos cinco años (2005-2009) se observa que Estados Unidos De Norteamérica es el país con mayor producción, seguido por Brasil, la Unión Europea, Asia y Oceanía. En el resto del mundo México incluyéndose también donde la producción es insignificante. En la

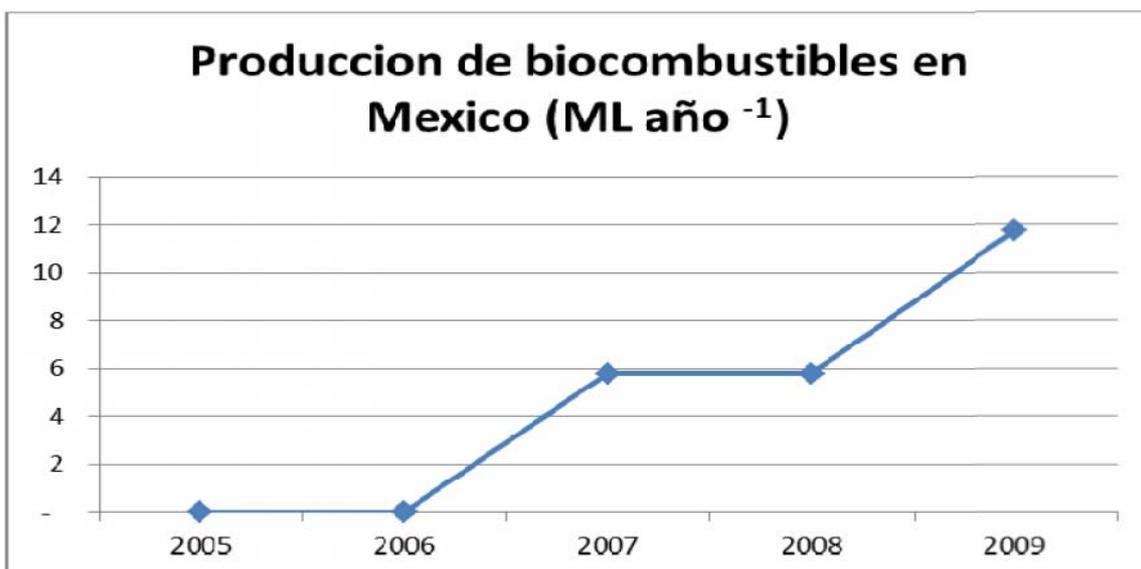
Figura 2, muestra que el incremento anual por lo tanto se deduce que durante el periodo la producción mundial y por región se incremento en forma lineal. En México aunque la producción va en aumento, tanto en volumen total producido como la tasa anual de producción que va de tres millones de litros (sin considerar el año 2005) comparando con los demás países es muy baja, como se muestra en la Figura 1.



**FIGURA 1.** Distribución por región de la producción Total de etanol (77.03 billones de litros por año) en el año 2009. Fuente: (USA-DOE, 2010).



**Figura 2.** Evolución de la producción mundial y por regiones de biocombustibles líquidos durante el período de 2005-2009. Fuente: (USA-DOE, 2010).



**Figura 3.** Evolución de la producción anual de BCL en México. Fuente: (USA-DOE, 2010).

## 2.2.6 Biocombustibles obtenidos a partir de biomasa

En el Cuadro 1, se muestra los nombres de biocombustibles obtenidos de biomasa líquido o gaseoso, los procesos de producción extraído de semillas, cultivos con azúcares y almidón, y a través de biogás.

Cuadro 1. Biocombustibles convencionales de los cuales son obtenidos de Biomasa, líquido o gaseoso.

<b>Nombre del biocombustible</b>	Nombre en la directiva EU	Procesos de producción
Aceite vegetal no modificado (SVO)	Aceite vegetal puro	Prensado en frío, extracción y refinado
<b>Biodiesel a partir de semilla</b>	Biodiesel	Transesterificación del SVO
Biodiesel a partir de residuos (aceite o grasas)	Biodiesel	Refinado y transesterificación
<b>Bioetanol de cultivos con azúcares</b>	Bioetanol	Fermentación y destilado
Bioetanol de cultivos con almidón	Bioetanol	Hidrólisis, fermentación y destilado
<b>ETBE (etil ter-butíl éter) SNG (GN sintético) de biogás</b>	Bio-ETBE Biogás	Fermentación y síntesis Digestión, eliminación de CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
Hidrógeno a partir de biogás	Biohidrógeno	Digestión, WGS y eliminación del CO <sub>2</sub>

Fuente: directiva 2003/30/CE del parlamento europeo y el consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte (diario oficial L 123 de 17.5.20031).

## 2.2.7 Etanol de segunda generación

Son combustibles producidos a partir de materias primas cultivos que no son fuentes alimenticias, para lo cual se utilizan tecnologías que todavía están en etapas de investigación y desarrollo y con costos de producción aun muy

elevados. Los combustibles de segunda generación serán a futuro una alternativa efectiva para reemplazar a los combustibles fósiles sin utilizar cultivos para el alimenticio humano (IICA, 2007).

La biomasa es la opción de energía renovable más importante en la actualidad y se espera que mantenga esa posición durante la primera mitad de este siglo. Los residuos forestales y residuos pueden convertirse útil para la bioenergía (T. Demirbas, 2009).

El etanol celulósico es un tipo de combustible producido a partir de la celulosa contenida en la biomasa de la celulosa contenida en la biomasa de plantas tales como pastos, arbusto y arboles. La conversión de la celulosa en etanol implica dos pasos fundamentales: 1) cortar las largas cadenas de las moléculas de celulosa de celulosa dejando así libres a la glucosa y otros azúcares y 2) fermentar esos azúcares para su conversión en etanol. (WRM, 2008).

## 2.3 MARCO LEGAL PARA PRODUCIR BIOCOMBUSTIBLES

### 2.3.1 Políticas e instituciones sobre biocombustibles

Las estrategias para producir biocombustibles principalmente se basa en el desarrollo de líneas de acción a corto y a mediano plazo, por parte del sector público y a la coordinación que se están desarrollando, en el ámbito político desarrolla los lineamientos para la producción, procesamiento, distribución y utilización de la bioenergía, cuidando la estructura agrícola, soberanía alimentaria y desarrollo rural sustentable. Por parte de las industrias tener capacidad en el

ámbito del conocimiento sobre biocombustibles como son información, integración tecnológica, cadena de producción, recursos y también restricciones en algunos casos para no alterar los lineamientos de desarrollo para los biocombustibles (SAGARPA, SENER, SE, SEMARNAT, SHCP, 2009).

### 2.3.2. Leyes y reglamentos para producir biocombustibles

La Ley Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos se crea con la finalidad de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable, sin poner en riesgo la seguridad alimentaria del país en conjunto con la ley de desarrollo rural sustentable, Revisar la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos, establecidas para la producción y comercialización de insumo, y a la producción, el almacenamiento, el transporte la distribución, la comercialización y el uso eficiente de bioenergéticos. (DIARIO OFICIAL, 2008).

### 2.3.3. Programas de apoyos y financiamiento para producir biocombustibles

Los programas de apoyos están involucrados los tres niveles de gobierno, federal, estatal y municipal que consideren necesarios para el cumplimiento de esta ley. La secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, (SAGARPA), y la secretaria de energía (SENER), apoyan la investigación científica y tecnológica para la producción y uso de los bioenergético, así como la capacitación en estas materias en lo que participa en el marco del plan de desarrollo y de los programas sectoriales así como la producción, el

transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente (DIARIO OFICIAL, 2008).

## 2.4 HULE (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) PARA PRODUCIR CELULOSA PARA BIOCOMBUSTIBLE

El árbol del hule, es la especie más importante en la producción de hule a nivel comercial, por su nivel productivo, por que participa con el 99% en la producción mundial y por las características de su hule, materia prima necesaria para la fabricación de llantas, destino del 70% de la producción (Picón et al., 1997).

### 2.4.1 Tipo, cantidad y calidad de la celulosa

El hule es una planta originaria de las selvas tropicales de la región del amazonas (Brasil, Venezuela, Ecuador, Colombia, Perú y Bolivia), introducido a su vez a otras regiones tropicales del mundo entre ellas: Indonesia, Malasia, Liberia, India, Sri Lanka, Sarawak y Tailandia (Aceves, et al, 2008).

Hasta 1998, en México se cultivaban alrededor de 13,000 hectáreas con *hevea brasiliensis*, cuya producción solo alcanza a cubrir el 10% de la demanda nacional (CMH, 2002c).

El árbol del hule *hevea brasiliensis* es una madera dura por lo cual se clasifica en material lignocelulósico, (celulosa y lignina) como se muestra el cuadro

2, La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía (Cuervo, et al. 2009).

Cuadro 2. Clasificación del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg).

Material lignocelulósico	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Madera dura	40-45	24-40	18-25

(Cuervo et al. 2009)

La madera está constituida principalmente por materias orgánicas como carbono (50%), hidrogeno (6%), oxigeno (44%) y nitrógeno (0.1%) y otros elementos lo cual forman la pared celular donde se encuentran las principales macromoléculas como celulosa, hemicelulosa y lignina (Browning, B. L. 1997).

En el cuadro 3, se muestra la composición química de la madera de las especies latifoliadas.

Cuadro 3. Composición química de la madera (%)

Componentes	latifoliadas
Holocelulosa	71.0-89.1
Celulosa	31.1-64.4
Poliosas	18.0-41.2
Pentosas	12.6-32.3
Lignina	14.0-34.6
Cenizas	0.1-5.4

Tsoumis, George 1982

#### 2.4.2 Uso actual de residuos forestales

Actualmente los residuos son la quema controlada o el amontonamiento del material, en raras ocasiones se trituran o astillan abandonándose para favorecer la rápida incorporación al suelo, el abandono del material tiene un impacto ambiental negativo porque debido a esto hay un elevado volumen de biomasa sobrante tiene una lenta descomposición, permaneciendo en un largo tiempo en el lugar, otras de las cosas en época calurosas tienden a sufrir un secado el cual están más propensos a riesgos de incendios (B Velásquez 2006).

#### 2.4.3 Superficie de Hule (*Hevea Basiliensis* Muell Arg.) cultiva en el estado de Veracruz

En el cuadro 4, se muestran la superficie Sembradas en el estado de Veracruz y los demás estados mencionados. La superficie cultivada de hule en México, en los últimos cinco años (2003-2007) ha disminuido un 30% debido principalmente a que el estado de Oaxaca ha disminuido su superficie sembrada en un 62%. En el año 2007 a nivel nacional se sembraron 17,218.40 hectárea, de ellas en el estado de Veracruz se concentra el 50% (SIAP-SAGARPA, 2008).

Cuadro 4. Superficie cultivada de hule por estado y a nivel nacional en hectáreas.

ESTADOS	AÑO				
	2003	2004	2005	2006	2007
CHIAPAS	5,352.75	5,947.39	2,985.66	3,278.81	3,279.08
OAXACA	6,767.00	7,013.00	7,167.00	3,862.00	2,605.00
TABASCO	2,649.00	2,858.00	2,642.70	2,642.07	2,642.07
VERACRUZ	7,286.00	6,941.00	7,976.00	7,781.00	8,692.25
TOTAL	22,054.75	22,759.39	20,771.36	17,563.88	17,218.40

Fuente: SIAP-SAGARPA (2008)

#### 2.4.4 Utilización de la madera del Hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.)

Durante los últimos años el hule ha sido reconocido una especie de valor maderable y especialmente en Asia la madera es muy importante para la industria del aserrío y mueblera (Eraso et al, 2006).

En el estado de Veracruz el aprovechamiento de la madera del hule es recomendable, mediante la producción conjunta de cultivo para látex y madera se pueden mejorar la rentabilidad de las plantaciones de hule (Domínguez, 2006).

En el cuadro 5, el consejo veracruzano del hule menciona el volumen de tronco obtenido en metros cúbicos de rollo en diferentes edades donde el aprovechamiento empieza desde los 7 años hasta los 43 años.

Cuadro 5. Volumen de tronco total en metros cúbicos según las edades.

EDAD	VOLUMEN DE TRONCO TOTAL, MILES DE M <sup>3</sup> r
Menos de 7	28
8-16	159
17-25	74
26-34	100
35-43	128
44 o mas	128
Total	617

Fuente: COVERHULE, 1994.

Donde: m<sup>3</sup>r = a metros cúbicos por rollo.

## CAPITULO III

### TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN

#### 3.1 Paquete tecnológico

##### 3.1.1 Limpieza del terreno

Para el árbol del hule lo recomendable es la utilización de maquinaria agrícola con un paso de arado al iniciar las lluvias lo cual también se es necesario la rastra para establecer la plantación. (Picón et, al 1997).

La única labor que se recomienda para el establecimiento del hule como cualquier otro cultivo es la eliminación de maleza o vegetación por el método más accesible para el productor. (CMH, 2002c).

Previo a la siembra, el terreno debe ser barbechado a una profundidad de 0.50 metros con maquinaria agrícola si sus dimensiones son grandes o en forma manual con (coa) si el área es pequeña. (Palencia, 2000).

##### 3.1.2. Plantación

La plantación debe de hacerse preferentemente durante la estación más lluviosa del año. La cantidad de plantas de hule por hectárea depende de la distancia de siembra. Lo cual se sugiere que en densidades menores a 556 árboles por hectárea se utilice materiales de siembra avanzada lo cual la actividad se hará con mayor precisión. (Picón et, al 1997).

El establecimiento para la plantación del árbol del hule se hace una vez obtenido el material vegetal se procede a realizar el ahoyado y sembrado del caucho en surcos dobles, lo que significa una distancia entre calle de 3 metros y entre plantas de 2.8 m en triangulación, con una densidad de 510 árboles por hectárea hablando de doble surco (Cristancho, x. 2008).

### 3.1.3 Fertilización

Relacionado con el establecimiento de un plan de fertilización en el cual mínimo cada 2 años se realiza el análisis foliar y de suelos, con el fin de detectar las deficiencia que puede presentar el cultivo y sus necesidades y controlar la fertilización (Urpa caquetá, 1985).

El caucho como otro tipo de cultivo dependerá del tipo del suelo, su densidad y de la edad de la plantación, el producto comercial sugerido es la mezcla tripe diecisiete (17-17-17) la cual debe dividirse en dos aplicaciones, una en el mes de julio y otra en el mes de diciembre. (Picón et, al. 1997).

Es muy importante los resultados del análisis del suelo y diagnostico foliar, para la fertilización y tener en cuenta que el árbol del hule son más exigente de nitrógeno y fosforo ya que tienen gran influencia en el desarrollo de las raíces (Eraso et, al. 2006).

#### 3.1.4 Control de maleza plagas y enfermedades

Preferente mente se debe mantener las plantaciones limpias por la competencia de nutrientes como, luz, agua, y espacio. (Erasto et, al. 2006).

Para el control de maleza en plantaciones hule (*Hevea bresiliensis* Muell Arg) lo cual es muy importante para el cultivo ya que le reduce nutrientes, en plantaciones adultas se reduce a dos limpieas manuales en los meses de mayo y octubre. (Picón et, al. 1997).

El control de plagas es muy importante en la producción agrícola lo cual se debe tener una medida adecuada, en el árbol del Hule *Hevea brasiliensis*, existen una gran gama de plagas como barrenadores, de foliadores, hongos y virus etc. Pa eso se ha utilizado productos químicos como para tión metílico, o meato, mala tión e insecticidas biológicos etc. (Picón et, al. 1997).

Las enfermedades del hule son numerosos, sin embargo la enfermedad mas mencionada es la mancha sudamericana lo cual constituye el principal problemas limitantes para la producción, debido a la severidad de sus daños, la phythopthora en uno más lo que provoca la caída de las hojas maduras, el secamiento de tallos verdes e incluso la pudrición de raíces, el control es la aplicación de compuestos de cobre caftafol. (Picón et, al 1997).

La mancha sudamericano de la hoja, para reducir sus riesgos por infestación se debe seleccionar el terreno, sembrar los clones recomendados para región, mantener el cultivo libre de maleza y adoptar un adecuado plan de fertilización. (Eraso et, al. 2006).

Otras enfermedades conocidas son, costra negra lo cual se controla con oxiclورو de cobre 1 a 3 kg/ha y. La mancha de ojo de pájaro (*helminthosporium hevea*) se controla con la aplicación de mancosep la dosis será de acuerdo al técnico (Eraso et, al. 2006).

### 3.1.5 Podas

Consiste en la eliminación de todos los brotes procedentes de pie franco usando como patrón, principalmente durante los primeros 60 días, para facilitar el crecimiento del brote clonal. Esto se efectúa cada 15 días durante los meses de agosto a diciembre del año 1, lo cual se requiere 3 jornales/ha./año. El propósito es que la planta tenga un fuste recto, sin ramificaciones y con un desarrollo uniforme hasta que alcance de 1,8 a 2 m., se deja que el árbol forme su copa normal. En los años 2, 3 y 4 se requiere proceder con podas de formación, efectuando recorridos cada mes durante todo 1 año (Ortiz, 2011).

### 3.1.6 Cosecha del hule

En promedio se requiere de 6 a 7 años para que los arboles de una plantación alcance el desarrollo productivo, sin embargo una plantación bien

cultivada puede iniciar a producir a los 5 años. Los arboles del hule se comienza a explotar cuando el 60% de ellos tengan 45 cm. O más de circunferencia a 1 m de altura del injerto (Ortiz, 2011). .

### 3.3 PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DEL HULE (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.) UTILIZADOS EN MODELO DE SIMULACIÓN

#### 3.3.1. Fenología del hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.)

El hule *Hevea (brasiliensis* Muell Arg) Pertenece en su gran mayoría a las angiospermas dicotiledóneas, sin embargo, se encuentran en algunas familias de monocotiledoneas (Aráceas, Liliáceas, Musáceas) (E. Rojo et al, 2011).

En México El árbol del hule, representa una de las mejores opciones para el sureste de México, las zonas tropicales se considera aptas para el establecimiento y manejo de plantaciones potenciales, por su posición geográfica, porque recibe gran cantidad de energía solar, también por las condiciones del suelo. (E. Rojo et, al. 2011.).

Los arboles del hule en los dos primeros años el desarrollo es normal como una planta establecida, a partir de 3-4 años sucede el proceso fenológico de hibernación que es el cambio anual de las hojas el árbol queda total o parcial sin ella en un periodo corto. Normalmente dos semanas posteriores a la caída de las hojas aparece el rebrote terminal y una semana después se da el desarrollo de hojas nuevas. La hibernación es inducida por una estación seca (por lo menos un mes la precipitación es menor a la evaporación). Cuando la renovación foliar no se

completan antes de la llegada de las temporadas de lluvias, las plagas y enfermedades de las hojas son responsable de los daños al follaje joven el cambio de hojas es muy importante por el ataque de *microcyclus ulei* porque en hojas jóvenes son más susceptibles de ser infectadas cuando tienen entre 10 a 15 días de haber brotado. (Webster y Paardekooper, 1989).

### 3.3.2 Área foliar

El Hevea se manifiesta el área foliar el ciclo vegetativo anual y está muy claro, en el hevea adulto, en los países tropicales cuya temporada seca es muy marcadas, lo que es en general el caso por encima de 4<sup>0</sup> de latitud con una estación seca centrada, en el periodo que sigue el solsticio de invierno. Las hojas se hacen manifiestas en diciembre y la defoliación, llamada invernación de los arboles, empieza a finales de enero y la refoliación inicia a finales de febrero. Resulta que el proceso defoliación y refoliación se produce de manera uniforme (E. Rojo et, al. 2011).

### 3.3.3 Temperatura base

El árbol de hule es una planta tropical de crecimiento rápido, que prospera en una gran diversidad de ambiente, se considera apta para el cultivo a las regiones que registran una temperatura promedio a 20<sup>0</sup> c y la temperatura base es de 18<sup>0</sup>c donde las células de dividen normalmente manteniendo el crecimiento y desarrollo como se muestra el cuadro 6 (Camargo, 1958).

Cuadro 6. Eficiencia en el crecimiento del hule en función de la temperatura

Temperatura del aire.	Influencia en el crecimiento.
<0	ocurren daños severos por el frio
<5	ocurre daños por frio
10	puede darse la mitosis pero por debajo de esta punto la fotosíntesis se descontinúa
18	las células se dividen normalmente manteniendo el crecimiento y desarrollo
18-24	optimo para el flujo de látex
27-30	optimas para la fotosíntesis
35	se da el cierre de estomas
40	Tasa de respiración alta y fotosíntesis baja

Fuente: Huang Zheng (1985) y Roa et al, (1992) citado por Thomas y Menz (1995)

### 3.3.4 Eficiencia en uso de la radiación solar

La luz solar es muy importante para las plantas ya que gracias a la luz solar captada por la clorofila esta puede realizar fotosíntesis y a través de la misma adquirir dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y eliminar oxígeno ( $O_2$ ). De acuerdo Escobar (2005) el experimento aplicado en hule en Florencia en el periodo de julio de 1998 al 2003 en donde menciona que el campo tiene una radiación solar de 1,707 h/año lo cual el desarrollo fueron excelente en el árbol del hule y las respuestas fueron positivas.

El manual técnico del cultivo de caucho (*hevea brasiliensis*), publicado por (Eraso rosero y Toro delgado, 2006), menciona que el caucho exige bastante iluminación, que va de 1500 a 1800 horas de sol al año.

### 3.3.5 Partición de biomasa

El manejo de plantaciones forestales comerciales requiere modelo matemático para estimar el peso y que puedan aplicarse a inventarios de biomasa.

(Acosta et al. 2002). Las ecuaciones de biomasa permite estimar con bastante exactitud los volúmenes y peso de las especies forestales en función de un número reducido de parámetros obtenidos de arboles en pies (López y Keyes, 1987; castellanos et al, 1996).

Sin embargo, no hay ecuaciones de biomasa para el árbol del hule (*H. brasiliensis*), a pesar de su importancia industrial en México (CMH, 2000). Dado que el componente aéreo de las plantaciones de hule es uno de los principales almacenes de biomasa.

Según el artículo biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea Brasiliensis* Muell. Arg) publicado por (E. Rojo, et al. 2005) en el estado de Oaxaca, se hizo una investigación con arboles con edades de 1 y 42 años el clon fue IAN-710 con diámetro de 10 a 40 cm. Se separaron diferentes componentes del árbol incluyendo fuste, rama gruesa. Para sacar la biomasa total de cada árbol se siguió la metodología establecida por kuusela y nyssonen (1981) y Philip (1994), el peso seco de los arboles vario de 89.7 kg en arboles de 10cm de diámetro a 807 kg en arboles de 40 cm DN. Rahaman y sivakgumaran (2001) registraron una biomasa total de 602.7 kg en arboles de hule con 37 cm DN, lo cual es inferior a lo encontrado en el presente trabajo, donde arboles de 35 cm DN la biomasa fue 644.1kg.

### 3.3.6 Profundidad de raíces del hule

La raíz del hule es pivotante y radial esto dependerá del carácter genético de cada individuo, el método de cómo están sembradas y el tipo de suelo lo cual es un papel muy importante para el sistema radicular (Schultes, 1977).

En un árbol adulto de hule, las raíces laterales principales son generalmente inferiores a 35-40 cm del cuello. Incluso se puede encontrar más de los 60cm, pero menos desarrolladas. Posteriormente, su longitud puede alcanzar 10 m y más y sus zonas de desarrollo se confunden. (P.R.I.M, 1958).

### 3.3.7 Zonificación agroecológica

La capacidad de los recursos naturales en el mundo para la población es una cuestión fundamental para la comunidad. La población continua creciendo, y los recursos naturales esenciales, tales como tierra y aguas, están disminuyendo en cantidad y calidad, los principales factores son la competitividad, las demandas de las industrias y las grandes ciudades, la degradación y la contaminación. El manejo sostenible de los recursos de tierra requiere de políticas correctas y una planificación basada en el conocimiento de estos recursos (FAO, 1997).

Según la FAO (1997) la zonificación agroecológica se define en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. La zonificación puede usarse como base de una metodología para evaluar los recursos de la tierra, Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades

para mejorar la situación existente, combinando un inventario, expresado como tipo de utilización de tierra y sus requisitos ecológicos específico (FAO, 1997).

La zonificación agroecológica se puede considerar como un conjunto de aplicaciones básicas y aplicaciones avanzadas, porque conduce una evaluación de la aptitud y productividad de potencial de tierras (FAO, 1997).

### 3.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas integradoras de información con la finalidad de encontrar y facilitar soluciones a los problemas a los que nos enfrentemos, los sistemas de información geográfica permiten dar respuesta como. Ubicación, las condiciones de cómo se encuentra, tendencias de cambio (SIG EDO. CAMPECHE, 2011).

#### 3.4.1. ArcMap

El ArcMap presenta la parte central de ArcView es la aplicación utilizada para todas las tareas basadas en mapas incluyendo cartografía, análisis y edición. Estas aplicaciones permiten trabajar con mapas. ArcMap permite visualizar datos, crear mapas para presentaciones de calidad (FAO 2003).

#### 3.4.2. ArcView

ArcView es un programa, desarrollado por el Environmental Systems Research Institute (ESRI) de Redlands, california, que utiliza para hacer análisis

de sistemas de información geográfica (GIS). Todas las actividades están organizadas en Proyecto, lo cual puede constituir en Views, Tables, Charts, Layouts, y Scripts (FAO/UNESCO 1996).

### 3.4.3 El modelo SWAT

El SWAT es un modelo matemático de simulación basado en procesos, espacial y temporalmente explícito gracias a una versión con interfaz en SIG, que trabaja a nivel de cuenca. Capaz de simular procesos ecológicos, hidrológicos, químicos y usando información disponible de clima, suelo, uso de suelo y topografía permitiendo predecir el impacto de prácticas de manejo sobre los recursos naturales. Los mayores componentes del modelo son a)Clima, b)Hidrología, c) Erosión, d)Temperatura del suelo, e)Crecimiento de cultivos, f) Nutrientes, g)Plaguicida, h) Manejo, i) Bacterias y patógenos (Arnold, et al., 1998; Narasimhan, et al., 2005; Garg, et al., 2001; Neitsch, et al., 2005; Gassman, et al., 2007).

# CAPITULO IV

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Área de trabajo

Durante la estancia de octubre del 2010 inicio el trabajo en el proyecto cartografía del potencial productivo de biomasa del huelle hevea brasiliensis para producir etanol de segunda generación en el estado de Veracruz. En el campo experimental cotaxtla del instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (INIFAP), que se localiza en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, entre los 18° 50' de latitud norte y 96° 10' de longitud oeste, y una altitud de 15 m sobre el nivel del mar. El clima prevaleciente de la localidad es cálido subhúmedo Aw (w) (g), que corresponde a los subtipos menos húmedos de los cálidos subhúmedos. La temperatura media anual es de 25,4 °c, con una máxima de 42,5°c y una mínima de 7,0 °c y una precipitación pluvial anual de 1400 mm.

#### 4.1.1 Localización y superficie total del estado de Veracruz

El área de estudio abarca la superficie total del estado de Veracruz con 7.18 millones de hectáreas, ubicándose en las coordenadas con dirección al Norte 22° 28', al Sur 17° 09' de latitud Norte; al Este 93° 36' y al Oeste 98° 39' de longitud Oeste; representando el 3.7% de la superficie total de México. La entidad colinda al Norte con Tamaulipas y el Golfo de México; al Este con el golfo de México, Tabasco y Chiapas; al Sur con Chiapas y Oaxaca; al Oeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí (Monografía del edo. Veracruz, 2009).

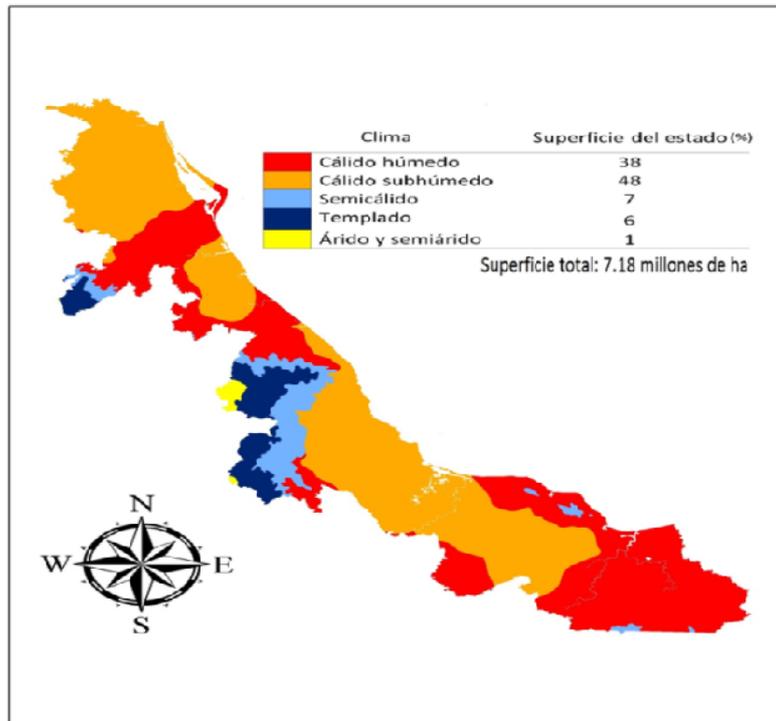


**Figura 4. Localización del estado de Veracruz**

Los datos se obtuvieron a partir de mapas temáticos digitales escala 1:250,000 adquirido del Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (INEGI) cuya información sirvió para determinar la distribución climática, edáfica, tipo y uso de suelos (Figuras 5, 6, 7 y 8).

Clima.

El estado presenta en 5 tipos de suelo (cuadro 7) identificando que más del 80% del territorio presenta clima cálido, predominando el cálido subhúmedo (figura 5).



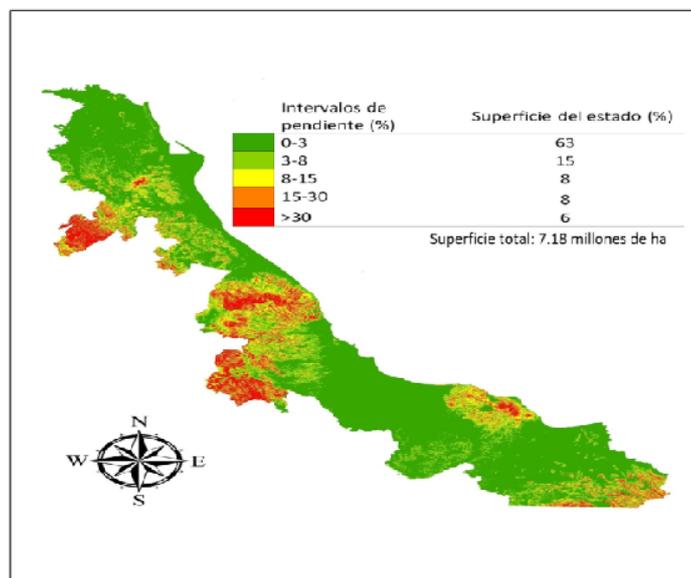
**Figura 5.** Climas del estado de Veracruz

Cuadro 7. Clasificación por superficie del clima en el estado de Veracruz

Tipo	Subtipo	Superficie (%)
Cálido húmedo	Cálido húmedo con lluvias todo el año	4.31
	Cálido húmedo con abundante lluvias en verano	27.76
Cálido subhúmedo	Cálido subhúmedo con lluvias en verano	52.3
Semicálido	Semicálido húmedo con lluvias todo el año	5.83
	Semicálido húmedo con abundante lluvias en verano	2.34
	Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	0.42
Templado	Templado húmedo con lluvias todo el año	2.34
	Templado húmedo con abundantes lluvias en verano	2.13
	Templado subhúmedo con lluvias en verano	1.49
Árido y semiárido	Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	0.14
	Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	0.41
	Semiseco templado	0.51
	Frio	0.02

## Topografía

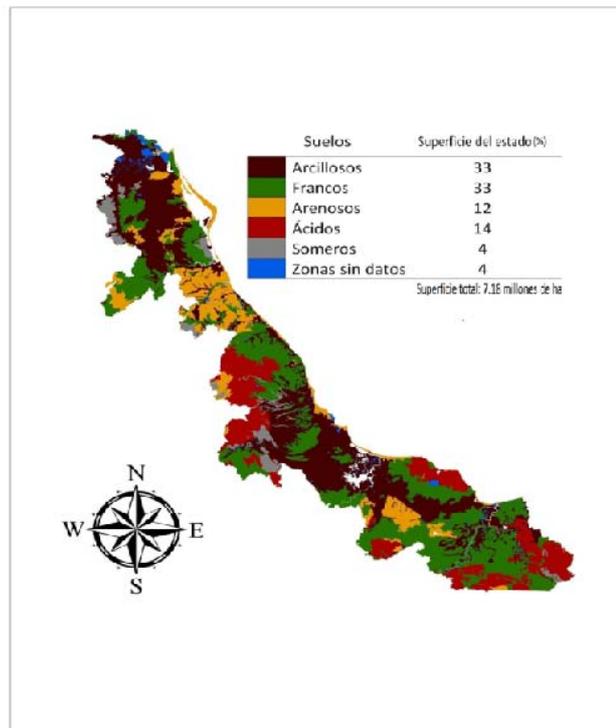
El estado de Veracruz presenta altitudes que van desde el nivel del mar hasta el pico de Orizaba a 5,610 msnm. La figura 6, muestra la topográfica del estado de Veracruz, así como la superficie ocupada por este.



**Figura 6.** Topografía y pendiente del terreno en el estado de Veracruz.

## Suelos.

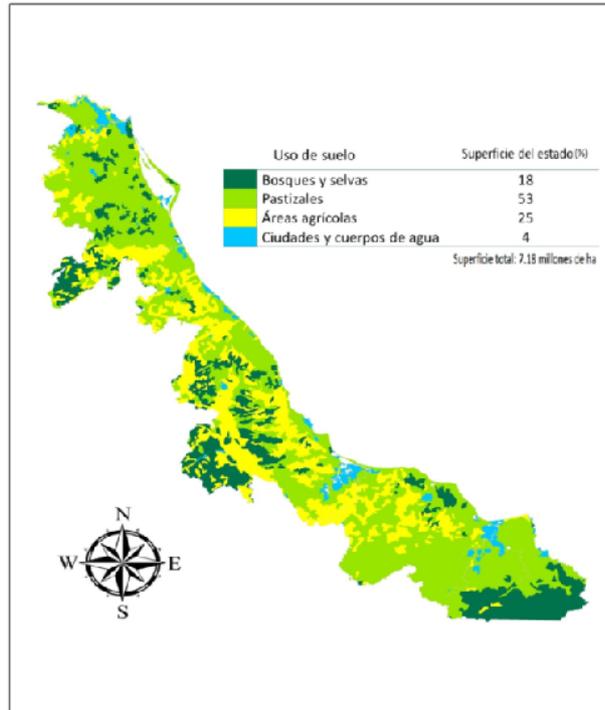
Los tipos de suelo presentes en el estado de Veracruz se pueden observar en la figura 7, en donde se presenta cada tipo de suelo con la respectiva superficie ocupada, observándose que los suelos arcillosos y francos ocupan en total el 66% de la superficie del estado.



**Figura 7.** Mapa de suelo del estado de Veracruz

Uso de suelos.

El uso del suelo para el estado de Veracruz está clasificado en bosques y selvas, pastizales, áreas agrícolas y ciudades y cuerpos de agua. En la figura 8, se observa que la mayor parte de la superficie está ocupada por pastizales distribuidos en el estado ocupando el 53% del área, el 25% es actualmente área agrícola principalmente en el centro del estado y algunas regiones del norte y sur; los bosques y selvas se encuentran distribuidos en varias regiones ocupando así el 18% del área. El 4% restante es ocupado por las ciudades y cuerpos de agua.



**Figura 8.** Mapa del uso de suelo del estado de Veracruz

#### 4.1.2 Delimitación de cuenca

La delimitación de la cuenca, se realizó a partir del modelo de elevación digital (DEM) con tamaño de pixel de 90 x 90 metros, el cual se adquirió del INEGI. Para trabajar con el modelo y considerara el total de la superficie del estado de Veracruz, posteriormente a la delimitación, se trabajó con un área mayor a la comprendida dentro de los límites del estado. Como resultado, el SWAT delimito 382 sub cuencas de las cuales 224 formaban el total de la superficie de Veracruz se realizaron las siguientes operaciones:

- Sobre posición de la capa de ríos a la capa de la cuenca.
- La dirección y acumulación del escurrimiento superficial se realizó con base en el DEM.
- La red de drenaje fue creada por SWAT utilizando el comando de área mínima de mapeo.
- Al momento de delimitar la cuenca todos los puntos de salidas del flujo de agua fueron consideradas.
- Los parámetros de las sub cuencas se calcularon sin considerar el máximo recorrido del agua.
- Como resultado, el SWAT delimitó 224 sub cuencas.

#### 4.1.3 Análisis de las unidades de respuesta hidrológica

Las unidades de respuestas hidrológicas las definió SWAT a partir de la sobre posición de los mapas de rango de pendiente, sub unidades de suelo y uso del suelo. Los rangos de pendientes del terreno considerados fueron: 0-3, 3-8, 8-15, 15,30 y >30%. Para la delimitación de las áreas con cada tipo de pendiente SWAT utilizó el DEM de 90 x 90 metros. Las cartas edafológicas que se utilizó fueron de una escala de 1:250,000 adquirida del instituto nacional de estadísticas geográficas e informática, según la FAO-UNESCO el estado de Veracruz reporta un total de 46 sub unidades de suelo. Para identificar el potencial de producción de hule (*Hevea Basiliensis* Muell Arg). En todo el estado de Veracruz, en función del clima, suelo y manejo de cultivo, se asumió un uso agrícola del suelo uniforme en todo el estado, por lo que para terminar con la delimitación de las URH, se

configuro una capa agrícola del suelo uniforme para el estado de Veracruz. El resultado de este proceso fue la delimitación de 4053 URH.

## 4.2 INFORMACIÓN UTILIZADA PARA CORRER EL SWAT

### 4.2.1 Suelo

El perfil de suelo típico de cada una de las 46 sub unidades de suelo presentes en el estado se caracterizo a partir de los datos analíticos de 829 perfiles de suelo presentados por INEGI en las cartas edafológicas que cubren a los 7 estados (Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas y Oaxaca) de la zona tropical sureste de México. Los datos de suelo no presentados por INEGI y requeridos por SWAT fueron estimados de diferentes formas y a partir de diferentes fuentes como se describe en el cuadro 9, abajo. A manera de ejemplo, en el cuadro 8, se presenta los datos más relevantes del perfil típico del suelo.

Cuadro 8. Metodología y fuentes utilizadas para calcular los datos de suelo faltante.

Parámetro	Método usado para su obtención
Profundidad	Reportado en cartas edafológicas <sup>1</sup>
Textura	Reportado en cartas edafológicas <sup>1</sup>
Materia orgánica	Reportado en cartas edafológicas <sup>1</sup>
Conductividad eléctrica	Reportado en cartas edafológicas <sup>1</sup>
Conductividad hidráulica saturada	A partir de textura del suelo <sup>2</sup>
Densidad aparente	A partir de textura del suelo <sup>2</sup>
Capacidad de agua disponible	A partir de textura del suelo <sup>2</sup>
Carbono orgánico	Carbono orgánico=0.95*(Materia orgánica) <sup>3</sup>
USLE_K	$K_{uste} = \frac{0.00021 * M^{1.14} * (12 - MO) + 3.25 * (C_{soilstr} - 2) + 2.5(C_{perm} - 3)}{100}$
Albedo	Estimado a partir de materia orgánica <sup>4</sup>

1. INEGI, 2. Saxton et al., (1986), 3. Neitsch et al., (2005), 4. Ecuación de Harris (software Curve Expert 2.0.)

Cuadro 9. Características del perfil típico del suelo cambisol eútrico.

Horizonte	Espesor (mm)	Textura (%)	C.O. (%)	C.E. (l)	Albedo	K (mmhr <sup>-1</sup> )	AWC	Da (g cm <sup>-3</sup> )	USLE-K
A	152	15-37-48	2.35		0.08	14.3	0.13	1.47	
B1	190	17-37-46	0.9		0.16	12.2	0.13	1.45	
B2	732	19-30-51	0.37		0.20	11.5	0.12	1.45	

El orden de los valores de textura es arcilla-limo-arena, C.O.: Carbón orgánico, C.E.: Conductividad eléctrica, K: Conductividad hidráulica saturada, AWC: Humedad disponible, Da: Densidad aparente, USLE-K: Factor "K" de la ecuación universal de pérdida de suelo.

#### 4.2.2 Parámetros fisiológicos del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.)

Dentro de los parámetros fisiológicos requeridos por SWAT para simular el rendimiento, aquello a los que el modelo es más sensible fue recabado de diversas fuentes en el cuadro 10, muestra los parámetros del hule.

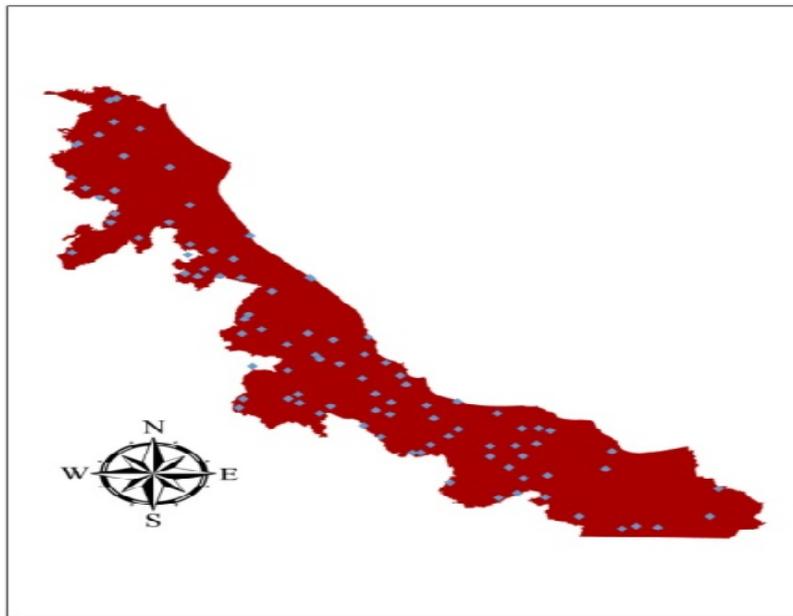
Cuadro 10. Parámetros fisiológicos del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.).

Parámetro fisiológico	Unidad	Valor
Temperatura base	°C	18
Temperatura optima	°C	20
Altura máxima del dosel <sup>7</sup>	M	35-50
Profundidad máxima de las raíces <sup>5</sup>	M	10

#### 4.2.3 Estaciones y datos climáticos

Los datos climáticos diarios utilizados se tomaron de 95 estaciones climáticas distribuidas en todo el estado de Veracruz. En la figura 9, se muestra su distribución geográfica. Cada estación cuenta con un mínimo de registros de 20 años, durante el periodo de 1960 al 2000, de temperatura máxima y mínima diaria, precipitación pluvial diaria y evaporación. Con esta información y mediante el generador climático del modelo EPIC (Rojas 1999) para cada estación se simuló el clima diario para el periodo 1960-2010 y se obtuvieron los datos y se obtuvieron los datos estadísticos requeridos por SWAT. En el cuadro 11, se presentan a

manera de ejemplo los datos estadísticos para la estación 30012. El periodo de simulación de rendimiento de biomasa del hule hevea brasiliensis muell arg. Comprendió de 2001 a 2010 y para tal fin se utilizo la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial diaria obtenida como se describió arriba. La radiación solar diaria fue estimada por el SWAT.



**Figura 9.** Ubicación de las 95 estaciones climáticas usadas por el SWAT

Cuadro 11. Datos de la estación 30012

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tmax	18	19.3	22.7	24.8	25.7	23.6	22.4	22.6	21.9	20.4	20.3	18.8
Tmin	12.1	13	15.9	17.9	19.1	18	16.9	17	16.9	15.3	14.5	13.1
DETmax	5.5	6.1	6	5.4	4.1	3.2	2.5	2.4	2.8	3.9	4.8	5.1
DETmin	3.6	4	4.1	3.7	2.8	2	1.4	1.3	1.7	2.7	3.2	3.4
PPM	63.6	53.5	44.9	64	105.5	281.6	201.9	229.2	391.7	226.2	137	67.3
DEPPM	10.65	7.09	9.14	13.35	17.43	22.46	14.97	17.14	30.94	22.68	18.38	9.39
CAPPM	4.173	2.767	6.399	4.329	2.026	2.921	2.488	3.619	3.233	2.728	3.425	3.658
PDHDS	0.224	0.226	0.146	0.165	0.16	0.358	0.372	0.395	0.387	0.31	0.229	0.204
PDHDH	0.456	0.455	0.445	0.457	0.437	0.662	0.641	0.64	0.736	0.62	0.585	0.509
PDPM	9	8.3	6.5	7	6.9	15.4	15.8	16.2	17.8	13.9	10.7	9.1
PMMH	12.2	11.5	13.3	19.9	31.4	39.4	26.4	28.6	41.1	31.6	25	14.2
RS	10.00	11.00	14.00	15.00	16.00	15.00	15.00	15.00	13.00	12.00	11.00	10.00

Tmax: Temperatura máxima; Tmin: Temperatura mínima; DETmax: Desviación estándar de la temperatura máxima; DETmin: Desviación estándar de la temperatura mínima; PPM: Precipitación promedio mensual; DEPPM: Desviación estándar de la precipitación promedio mensual; CAPPM: Coeficiente de asimetría de la precipitación promedio mensual; PDHDS: probabilidad de un día húmedo después de un día seco; PDHDH: probabilidad de un día húmedo después de un día húmedo; PDM: Promedio de días con precipitación al mes; PMMH: Precipitación máxima en media hora; RS: Radiación solar

#### 4.2.4 Manejo del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.)

La planta del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg). Se le da un manejo dentro de los 6 años para la extracción de látex según (picón 1997) bajo condiciones de temporal y una fertilización de 17-17-17. En Veracruz el aprovechamiento de la madera del hule es recomendable en la producción madera-látex a si puede mejorar la rentabilidad. En los siguientes menciona el manejo de cada actividad en el **Anexo 1**.

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

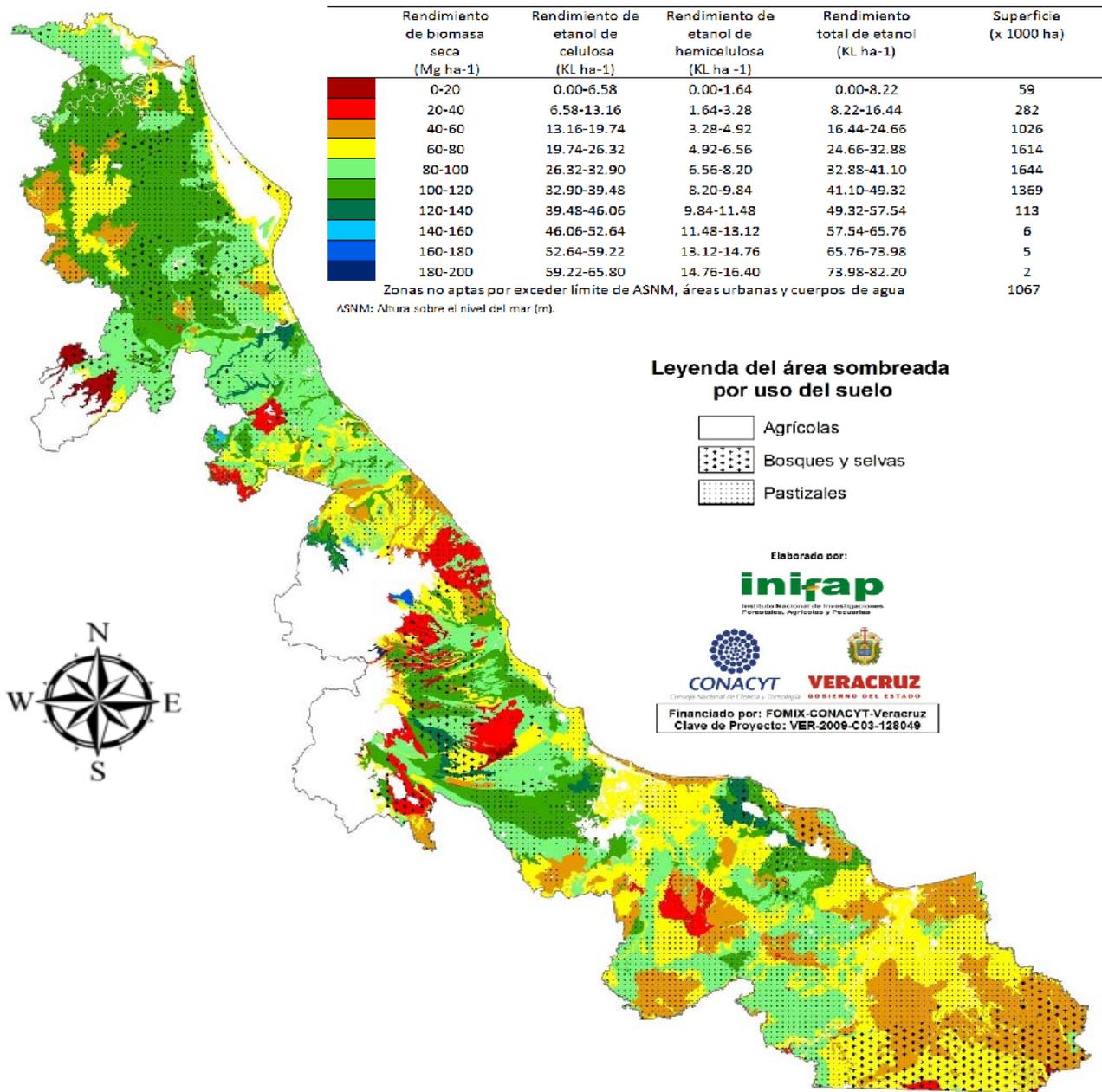
#### 5.1 CARTOGRAFÍA DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN

##### 5.1.2 Cartografía del potencial de rendimiento de biomasa y etanol del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg.)

El rendimiento del hule hevea estuvo fuertemente influenciado por parámetros esadficos y climaticos, mostrando una variación de rendimiento de 20 – 200 t ha, en la figura 10, se observa el rendimiento potencial y marginal del hule en el estado de Veracruz.

De las 7.187 millones de hectáreas del estado de Veracruz solo 6.120 millones de hectáreas son aptas según la modelación descartadas 1,067 millones de hectáreas por estar ocupada por áreas urbanas, cuerpos de agua o exceder msnm (elevaciones >1 200 msnm afectando el rendimiento del cultivo).

Observando los rendimientos obtenidos del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) (Figura 10) para la conversión de biomasa a etanol de segunda generación respectivamente se manejo un coeficiente de conversión de  $411\text{L/t}^{-1}$  por lo tanto en  $20\text{t ha}^{-1}$  suma una cantidad de  $8220\text{ L ha}^{-1}$  de etanol de segunda generación.



**Figura 10.** Rendimiento de biomasa y etanol a través del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arga) en el estado de Veracruz.

## Análisis de factores

Utilizando los mapas de profundidad, textura, MO, temperatura, radiación y precipitación (**Anexo 2 a 7**) para buscar correlaciones entre los rendimientos del cultivo observados en el mapa de rendimientos

Cuadro 12. Principales factores climáticos y edáficos en la producción y rendimiento del hule

Radiación	Temperatura	Precipitación	Profundidad	Textura	M.O.	Rendimiento (mg. Ha-1) de biomasa
Alta	Media	buena	profundos	Franco	Alta	180-200
Media	Baja	Media	Somero	Franco arcilloso	Baja	20-40
Media	Media	Media	Delgado	Franco arcilloso	Alta	40-60
Baja	Alta	Media	Somero	Franco arcillo arenoso	Baja	60-80
Baja	Baja	Buena	Profundo	Arena franca	Baja	0-20
Media	Media	Media	Profundo	Arena Franca	Baja	160-180
Media	Media	Deficiente	Muy profundo	Arcilloso	Baja	80-100
Media	Media	Media	Muy profundo	Arcilloso	Baja	160-180

Se observaron óptimos rendimientos en aéreas con temperatura, precipitación y radiación media, en suelos muy profundos y con textura arcillosa, mientras que los rendimientos más bajos se presentaron en zonas de temperatura bajas y baja precipitación y suelos delgados.

La profundidad del suelo mostró una mayor sensibilidad en el rendimiento ya que a medida que la profundidad aumentaba los rendimientos se elevan considerablemente, observándose un efecto contrario en suelos delgados y

someros; por otro lado la materia orgánica no mostro influencia ya que su presencia estuvo sujeta a la profundidad y la temperatura.

De acuerdo a la correlación de los 6 parámetros a evaluar se observo que para obtener un alto rendimiento era necesario cumplir con las características positivas antes ya mencionadas.

#### Análisis con el uso de suelo

Con el fin de conocer la superficie total disponible para uso del cultivo de hule como insumo para bioetanol y no afectar a la seguridad alimentaria del estado de Veracruz se identifico y clasifico el uso actual del suelo en: a) áreas agrícolas, b) bosques y selvas, c) pastizales, d) cuerpos de agua y áreas urbanas y e) área descartada (Anexo 8).

Observándose que cerca del 80% de la superficie es ocupada en conjunto por bosques y selvas, pastizales, cuerpos de agua y áreas urbanas; y el 20% restante es usada para la agricultura, ocupando una superficie de 1, 444,000 has.

Haciendo uso de las áreas destinadas a la agricultura sin pretender desplazar o cambiar el uso de suelo actual el rendimiento de etanol de segunda generación usando hule (*Heva Brasiliensis* Muell Arg) como insumo es considerablemente bueno.

### 5.1.3 Cartografía y caracterización de áreas potenciales y marginales

Las áreas marginales en el estado de Veracruz no cuentan con rangos de altos rendimientos debido a que las condiciones edafoclimáticas de esa zona no son propicias para el cultivo del hule.

### 5.1.4 Identificación de polos de desarrollo

En la identificación de polos de desarrollo se observa que los mayores potenciales se encuentran en el norte, centro y parte del sur lo cual es viable para establecer biorefinería para producir bioetanol a través de la celulosa del hule (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg) lo cual a reserva de esto se hace viable para contribuir con la seguridad energética.

### 5.1.5 Proyección del tamaño potencial de las biorefinerías

El tamaño potencial de las biorefinerías se hace viable por tener la materia prima en la misma área, reduciendo costos de transporte como fletes, riesgos o accidentes durante el manejo y producción y proceso del bioetanol.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en conclusión se tuvo el mapa de áreas potenciales de producción con finalidad para producir etanol a través del hule, los factores edáficos y climáticos influyeron de una manera importante para el rendimiento de materia seca en todo el estado, a su vez esto crea un escenario de alto potencial, respuesta que se dio al trabajo de gabinete, y es necesario realizar una validación física en las arias identificadas (parametrizacion) de las arias de mayor potencial para contribuir con la seguridad energética.

Se puede decir que la hipótesis planteada se acepta ya que los factores edafoclimaticos tuvieron gran influencia para los rendimientos de biomasa y etanol en el estado de Veracruz.

Se determinaron zonas las cuales son llamadas marginales ya que en esas arias los factores edafoclimaticos influyen de una manera negativa y esto hace que los rendimientos sean bajos y no viables para producir etanol.

Se concluyo que la relación edafoquimatica y los parámetros del cultivo están ligados para la adaptación y desarrollo, son muy importantes para tener un buen rendimiento y hacer factible la producción.

La M.O fue el único parámetro que no mostro sensibilidad en el rendimiento del hule atribuyéndole este hecho a que los mejores rendimientos estuvieron presentes en suelos profundos y temperaturas altas y precipitación buena y radiación media.

La demanda de los combustibles fósiles no se suple con los biocombustibles pero con esto alcanzaría de un 8 y 10 % con la demanda de los biocombustible haciendo de esto una iniciativa para el medio ambiente.

La utilización de los biocombustibles no termina con el cambio climático pero actúa como atenuante del mismo.

En las industrias de biocombustibles si ocurriese un derrame, no hay peligro de contaminación del subsuelo o daño al medio ambiente. Es biodegradable y no es toxico para la vida humana o animal

## LITERATURA CONSULTADA

- Aceves-navarro, Juárez, López. Palma, López, rivera, Hernández, rivera Hernández, rincón. R, y Morales colorado 2008. Estudio para determinar zonas de lata potencialidad del cultivo del hule (*hevea brasiliensis* Muell Arg.) en el estado de Tabasco. Tomo VIII 28p.
- Acosta M., M., J. J. Vargas H., A. Velázquez M., y J. Etchevers B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agro ciencia* 36:725-736.
- B. Velázquez Martí. Situación de los ecosistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética enero 2006.
- Browning. B.L. *Methods of Wood chemistry* 2a Edición. Londres, 1997  
C:\Documents and settings\estudiante\escritorio\carlosramirez\FAO.
- Camargo, A.P De. 1958. Regiones climáticas favoráveis a seringueira no Brasil. In: cultura de Seringueira (primer curso para engenheiros agrónomos do DFA-PDV) Secretaria de agricultura. Sao Paulo. pp. 1-2.
- Cambero C.M. 2000 la seguridad alimentaria en México en el año 2030 *ciencia ergo sum*, marzo, volumen 7, numero 1 UAEM Toluca, México pp. 49-55.
- Cannell, M.G.R. 2003 carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical potential and achievable capacities the globally, in Europe and uk biomass bioenergy 24, 97-116.
- Carlos Ramírez Pinto 2006. Utilización de residuos forestales disponibles en la página de internet <http://www.geostipilis.com/canales7\ger\utilizacion-de-residuos-forestales.htm> acceso el 20 de octubre del 2011.
- CEPAL 2008 biocombustibles líquidos para transporte en América latina y el Caribe. Disponible desde internet en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/cw203e.pdf> acceso: 14\julio\2011.
- CMH (Consejo Mexicano del Hule A.C) 2000. Manual para el cultivo del hule: *Hevea brasiliensis* en México. Consejo Mexicano del Hule A.C. México, D.F. 168 P.
- Compagnon P. 1998. El caucho natural, biología-cultivo-producción. Consejo mexicano del hule – CIRA. México, D.F. 701 pp.
- Consejo Mexicano del Hule, A.C. 2002c. Ficha técnica N.5. Mantenimiento de plantaciones en desarrollo (etapa preproductiva. Versión 5.1, /20002d, 15pp.
- Cristancho, x. guía ambiental para producción primaria de caucho natural. Trabajo de grado. Universidad distrital Francisco José de caldas. Facultad de medio ambiente, Bogotá. 2008. 141 p.
- Cuervo. L. Folch J.L. Quiroz. R.E. lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. *Bio tecnología*, año 2009, vol. 13 No.3.

- Di Luzio. M., R. Srinivasan, and J.G. Arnold. 2001 Arc View interface for SWAT 2000.
- Diario oficial de la federación 2008. Disponible desde internet en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf> acceso: 12/mayo/2011.
- Domínguez 2006 la utilización de madera del hule, (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) en el estado de Veracruz.
- Eraso. R. Hernando T. D. Carlos. 2006. Manual técnico del cultivo del caucho (hevea brasiliensis). PRONATA. Disponible en: <http://hdl.handle.net/123456789/526>.
- Escobar 2005. El cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*) en agroforestería para rehabilitar ultisoles degradados en el piedemonte de Caquetá.
- FAO 1997. Zonificación agro-ecológica guía ambiental.
- FAO 2003 proyecto regional ordenamiento territorial rural sostenible febrero-marzo de 2003.
- FAO 2006. Informe de política seguridad alimentaria (cumbre mundial sobre la alimentación, 1996) junio de 2006 numero 2.
- FAO 2008. Conferencia De Alto Nivel Sobre La Seguridad Alimentaria Mundial: Los Desafíos Del Cambio Climático Y La Bioenergía. Roma, 3-5 de junio del 2008.
- FAO 2011 bioenergía: riesgos y oportunidad des Desde internet en: <http://www.fao.org/bioenergy/foodsecurity/befs/es/> Acceso: 13/julio/2011.
- FAO/UNESCO. Balance hídrico de África. Introducción a ArcView en África occidental, preparado por David R. Maidment y sean M. Reed. Disponible en: <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidmen/gishydro/africa/ex1afs.htm> acceso: 19/julio/2011.
- Felipe Torres Torres 2002. Aspectos regionales de la seguridad alimentaria en México revista de información y análisis, núm. 22, 2002.
- Gustavo E. Rojo M. Rosa M. Ruiz. Jesús J..M. 2011. El cultivo del hule en México libro técnico.
- Gustavo E. Rojo-Martínez, Jesús Jasso-mata, J. Vargas-Hernández, David J. Palmas-López y Alejandro Velazquéz-Marti. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) en el estado de Oaxaca, México 2005.
- Haya 2000 6<sup>ta</sup> conferencia de las partes del convenio de cambio climático –cop6 la Haya, noviembre del 2000.
- IICA 2007. Atlas de la agro energía y los biocombustibles en las Américas: i.etanol / IICA. San José: IICA, 2007. 181 p.; 19 x 26 cm.
- IICA 2007. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles/IICA. – san José, costa rica: IICA, 2007 24 p.; 15 x 23 cm.

- IICA 2009b. Agricultura de ALC: bastón ante la crisis mundial y motor para el desarrollo futuro. IICA – San José, CR.
- IICA, 2010. Extensión rural para el desarrollo de la agricultura y la seguridad alimentaria: aspectos conceptuales, situación y una visión de futuro/ Jorge ardilla. San José, C.R.: IICA, 2010 128 P., 19 X 26 cm.
- IINCA. 2010. Extencion rural para el desarrollo de la agricultura y la seguridad alimentaria: aspectos conceptuales, situación y una visión del futuro/Jorge ardilla. San José, C.R.: IICA, 2010 128 P., 19X26 cm.
- INEGI 2010. <http://www.inegi.org.mx/default.aspx> acceso: 25/ julio/2011/.
- Kuusela, L., y A. Nyssones. 1981. Cuantificación de la energía forestal: métodos de determinación de la biomasa. *Unasylva* 33(133): 31-34.
- Licon. S.J., Martínez M. Mario,. Leopoldo E.M., Onofre Benjamín Figueroa-Sandoval y Demetrio S. Fernandez-reynoso. 2006. Uso del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz con base en variables fisiotecnicas en el oriente del estado de México. Volumen 24 numero 2 2006.
- López R., C., y R. Keyes. 1987. Modelos para estimación de biomasa de pinus cembroides Zucc. II Simposio nacional sobre pinos piñoneros. México. Pp: 211-220.
- M. Winchell, R. Srinivasan, M. Di Luzio, J. Arnold 2007. Arc SWAT interface for SWAT 2005
- Manual general del cultivo del hule hevea brasiliensis por Carlos Vinicio P.J 2000.
- Ortiz Hdez. Elías 2011 programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur – sureste: trópico húmedo 2011. Paquete tecnológico del hule (*hevea brasiliensis* Muell Arg.) disponible en internet en la pagina:[http://www.inifap.gob.mx/inicio/paquetes/hule\\_establecimiento.pdf](http://www.inifap.gob.mx/inicio/paquetes/hule_establecimiento.pdf) Acceso 17 de agosto del 2011.
- P.R.I.M. 1958. Rooting habitad. *Planters's bull* 39, 120-128.
- Palencia 2000. Manual general del cultivo del hule *Hevea brasiliensis*.
- Paul Roberts 2008 conferencias internacional sobre biocombustibles sesión plenaria I- biocombustibles y seguridad energética.
- PEMEX. 2007. Informe anual. Petroleos Mexicanos. México disponible desde internet en: <http://www.pemex.com/index.cfm?action=content&sectionID=2&catID=160&contentID=181> Acceso: 18/septiembre/2007.
- Philip, M. 1994. *Measuring Trees and Forests*. 2<sup>nd</sup> edition. CAB International Wallingford, Oxon, U.K. 254 p.
- Picón, R. L. 1997. Manual para el cultivo del hule hevea brasiliensis. SAGAR-CMH- INIFAP campo experimental, el palmar, Tezonapa, Veracruz. 103 pp.
- Rahaman, W., and E. Sivakumaran. 2001. Studies of carbon sequestration in rubber. *Malaysian Rubber Board* 4: 5-20.

- Rodríguez R. M., P. Corvalan V., M. Gutiérrez D. 2006. La utilización potencial de la biomasa forestal en Chile como Fuente de Energía. Santiago de Chile. Inédito.
- Rojas Rafael 1999. Evaluación preliminar del modelo EPIC.
- S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams 2005. Soil and water assessment tool theoretical documentation.
- SAGARPA 2009-2012 programa de producción sustentable de insumos para bionergeticos y de desarrollo científico y tecnológico desde internet en: [http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/PROINBIOS\\_20091013.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/PROINBIOS_20091013.pdf) acceso: 12/julio/2011.
- SAGARPA, SENER, SE, SEMARNAT, SHCP 2009 Estrategia intersecretarial de los bionergeticos Desde internet en: [http://www.ine.gob.mx/descargas/est\\_intersecretarial\\_bioenergeticos.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/est_intersecretarial_bioenergeticos.pdf).
- Schultes R.E. 1997. Wild hevea: an untapped souree of germplas. Journ. R.R.I. Sri-Lanka, 54, 227-237.
- SENER 2007-2012. Programa sectorial de energía disponible en la página de internet: <http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Sectorial%20de%20Energia%202007-2012.pdf> acceso 20 de septiembre 2011.
- SIAP-SAGARPA. 2008. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible In: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Sistema de información geográfica en línea. Secretaria de ecología del gobierno del estado de Campeche. Disponible en: [http://sigeco.ecologia.campeche.gob.mx/info\\_sig.php](http://sigeco.ecologia.campeche.gob.mx/info_sig.php) Acceso: 19 de julio del 2011.
- T. Demirbas, C. Demirbas. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Volume 31, Issue 16 October 2009, pages 1464 – 1472.
- Urpa Caquetá. 1985. Análisis del cultivo del del caucho (*Hevea brasiliensis*). In diagnostico agropecuario del Caquetá. Gobernación del Caquetá, Florencia. Pp 142-158.
- Webster C. C. y Paardekooper E. C. 1989. The botany of the rubber tree. In: Rubber. Tropical Agriculture Series. C. C. Webster and W. J. Baulkwill (Eds.). Longman, UK. pp. 125-164.
- WRM 2008 documento informativo etanol de celulosa Disponible desde internet en: [http://www.wrm.org.uy/publicaciones/Etanol\\_sp.pdf](http://www.wrm.org.uy/publicaciones/Etanol_sp.pdf) acceso: 14/julio/2011.

# ANEXOS

## Anexo 1. Manejo del hule (*hevea Brasiliensis* Muell Arg) para su producción.

---

### PREPARACION DEL TERRENO

Labores.	Servicio/mecánico.	Cantidad de servicio.	Fecha de aplicación.	Día después de plantación	Observación
Chapeo.	X	1	1 de mayo		Ninguna.

---

### PREPARACION DEL SUELO

Labores.	Servicio/mecánico. O jornal.	Cantidad de servicio.	Fecha de aplicación.	Días después de plantación.	Observación
Barbecho.	X	1	5 de mayo		Ninguna.
Rastreo.	X	1	10 de mayo.		Ninguna.
Rastreo cruzado.	X	1	13 de mayo.		Ninguna.
Trazo de plantación.	Jornal.	2	15 de mayo.		Ninguna.
Holladura.	Jornal.	8	20 de mayo.		556 hoyos/hectárea.

<b>ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACION</b>					
Labores.	Servicio/mecánico o jornal.	Cantidad de servicio.	Fecha de aplicación.	Día después de plantación	Observación
Plantación.	Jornal.	5	1 de junio.	1 día	556 plantas/hectárea.

<b>PROGRAMA DE FERTILIZACION</b>				
Edad de la plantación (años).	Dosis 17-17-17 (g/árbol/año)	Servicio de jornales.	Día después de plantación	Observaciones.
1	100	2 jornales por aplicación.	1 día	2 aplicación
2	200	2 jornales	365	2 aplicación
3	300	2 jornales	730	2 aplicación
4	400	2 jornales	1095	2 aplicación
5	500	2 jornales	1672	2 aplicación
6	600	2 jornales	2039	2 aplicación

CIRGOC, INIFAP, SAGARPA

---

**CONTROL DE MALEZA**

---

Año de aplicación.	Servicio/mecánico. O jornal.	Cantidad de servicio.	Ingrediente activo.	Cantidad del insumo.	Producto comercial.	Fecha de aplicación.	Días después de plantación.	Observación.
1er año.	Jornal.	2	Glifosato	3 lts/Has.	Faena	1 de agosto.	92 días	2da a los 214 días
2do año.	Jornal.	2	Glifosato.	3 lts/Has.	Faena.	1 de junio. Y 1 de noviembre.	415 días	2da a los 578 días
3er año.	Jornal.	2	Glifosato.	3 lts/Has.	Faena.	1 de junio y 1 de noviembre.	820 días.	2da a los 942 días.
4to año.	Jornal.	2	Glifosato.	3 lts/Has.	Faena.	1 de junio y 1 de noviembre.	1184 días	2da a los 1306 días
5to año.	Jornal.	2	Glifosato.	3 lts/Has.	Faena.	1 de junio y 1 de noviembre.	1548 días	2da a los 1670 días
6to año	Jornal.	2	Glifosato.	3 lts/Has.	Faena.	1 de junio y 1 de noviembre	1792 días	2da a los 2034 días

---

---

**CONTROL DE PLAGAS**

---

Plagas.	Servicio/mecánico. O jornal.	Cantidad de servicio.	Ingrediente activo.	Cantidad del insumo.	Producto comercial.	Fecha de aplicación.	Observación.
Plagas de foliadoras.	Jornal.	2	Para tión metílico.	1 kg/ha	Para tión metílico.	1 de abril.	Esta aplicación dependerá del ataque de las plagas

---

---

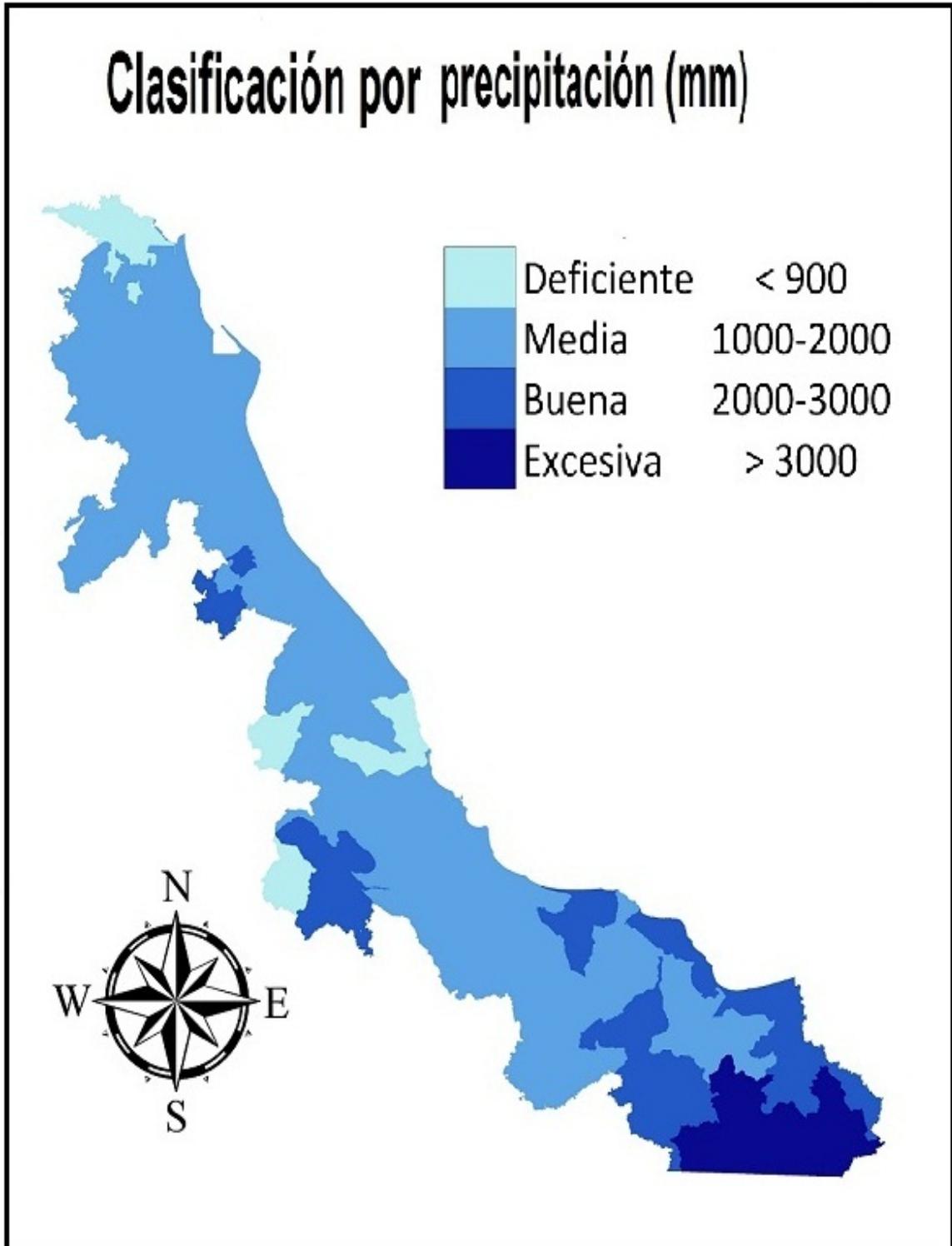
**CONTROL DE ENFERMEDADES**

---

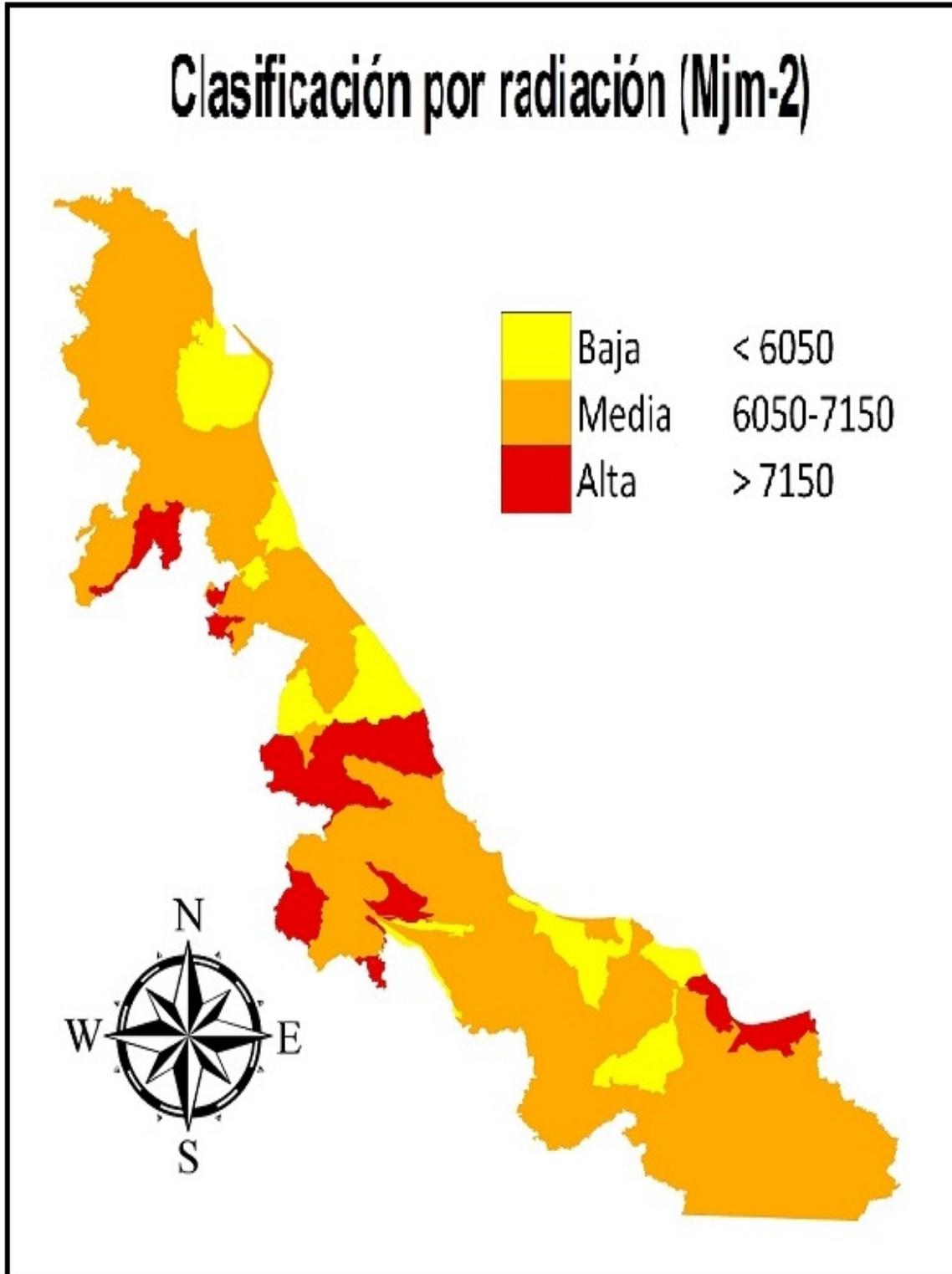
Enfermedades.	Servicio/mecánico. O jornal.	Cantidad de servicio.	Ingrediente activo.	Cantidad del insumo.	Producto comercial.	Fecha de aplicación.	Observación.
Enfermedades de tronco y ramas.	Jornal.	1	Vacomil.	1 lts/ha.	Metalaxyl.	1 de junio.	La aplicación depende de las necesidades.
Enfermedades radicales.	Jornal.	1	Calixin.	1lts/ha.	Calixin.	1 marzo	Se aplica en temporadas no lluviosas.

---

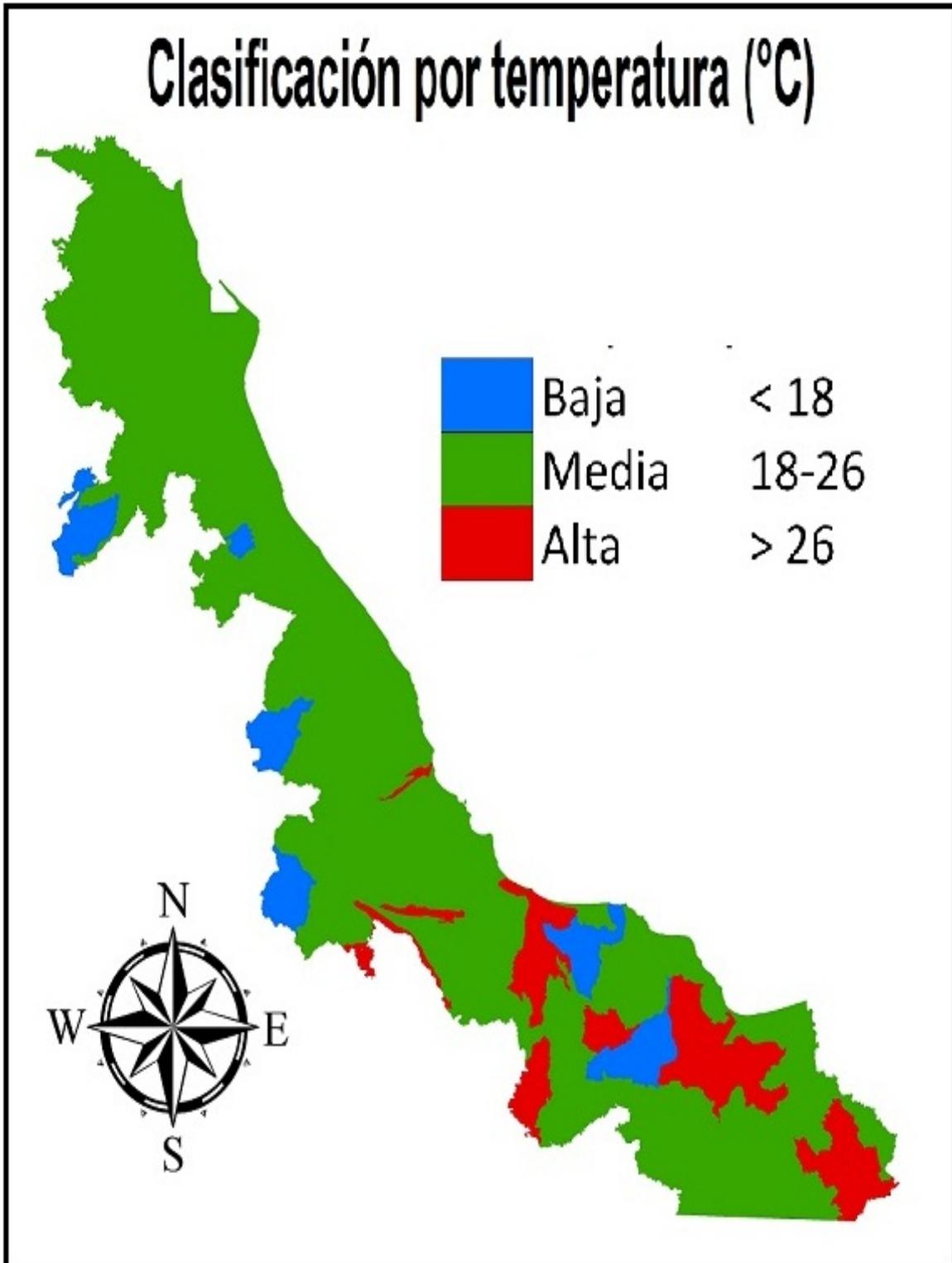
**Anexo 2.** Clasificación de precipitación del estado de Veracruz.



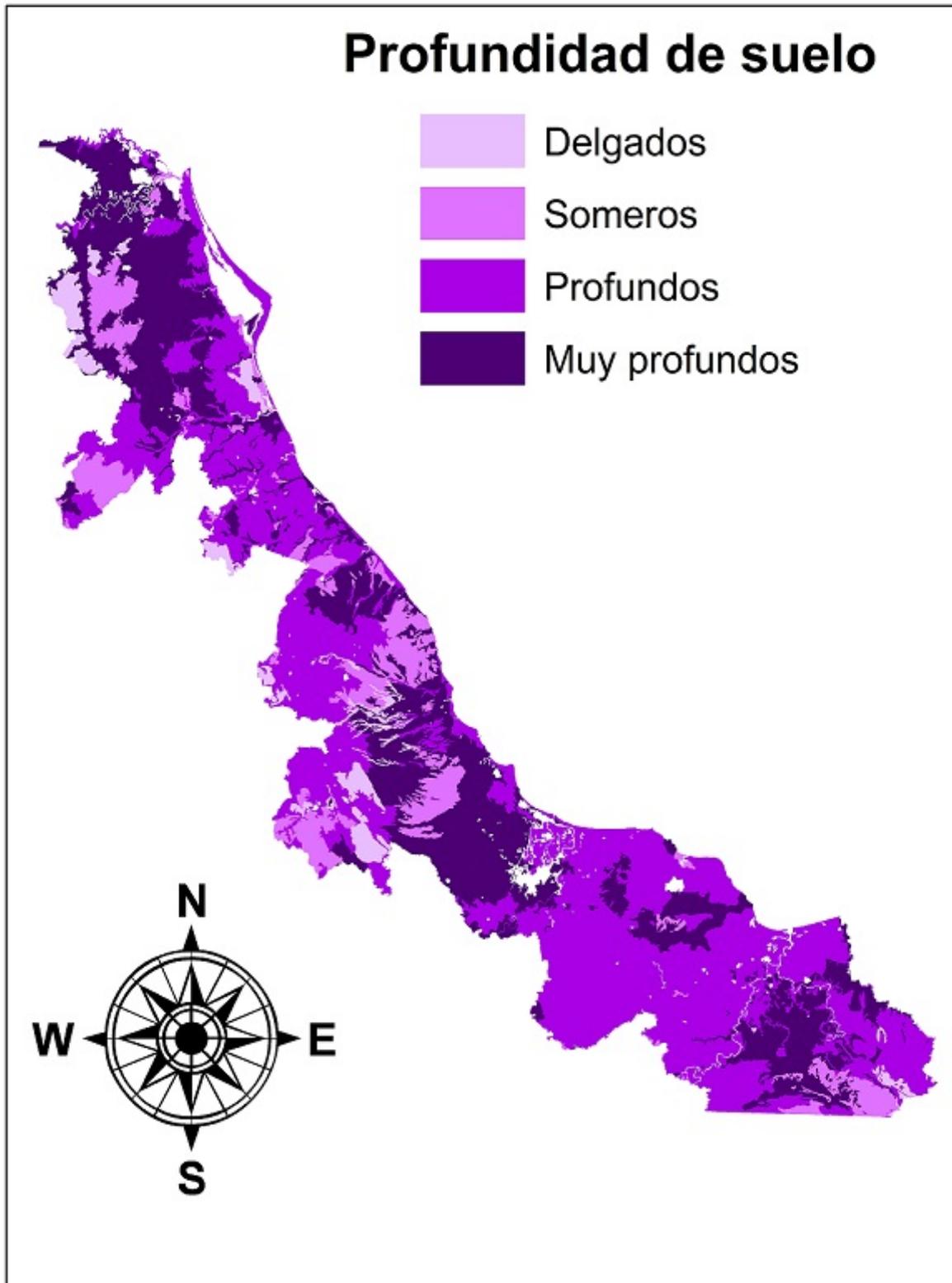
Anexo 3. Clasificación por radiación del estado de Veracruz.



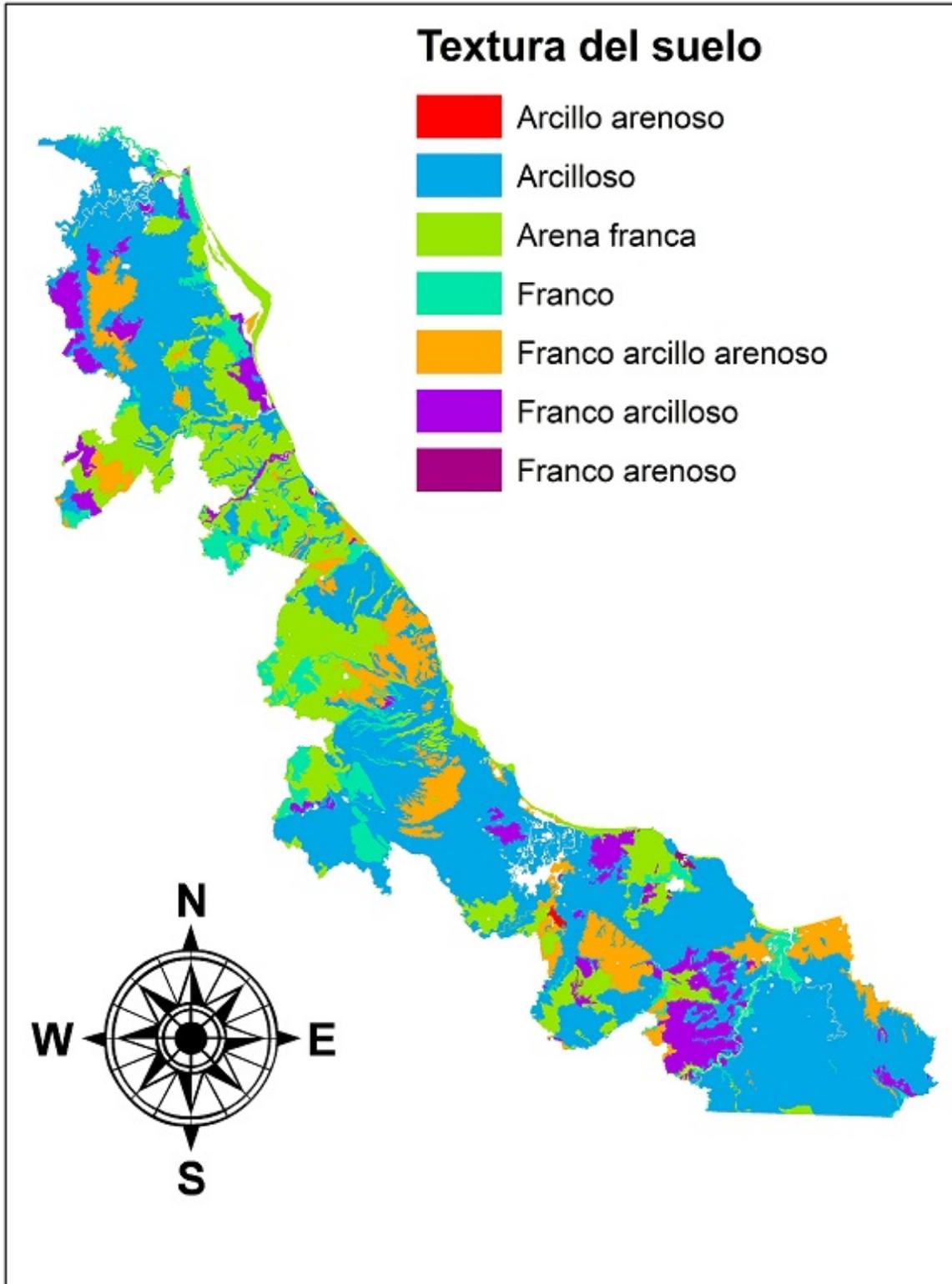
Anexo 4. Clasificación por temperatura del estado de Veracruz.



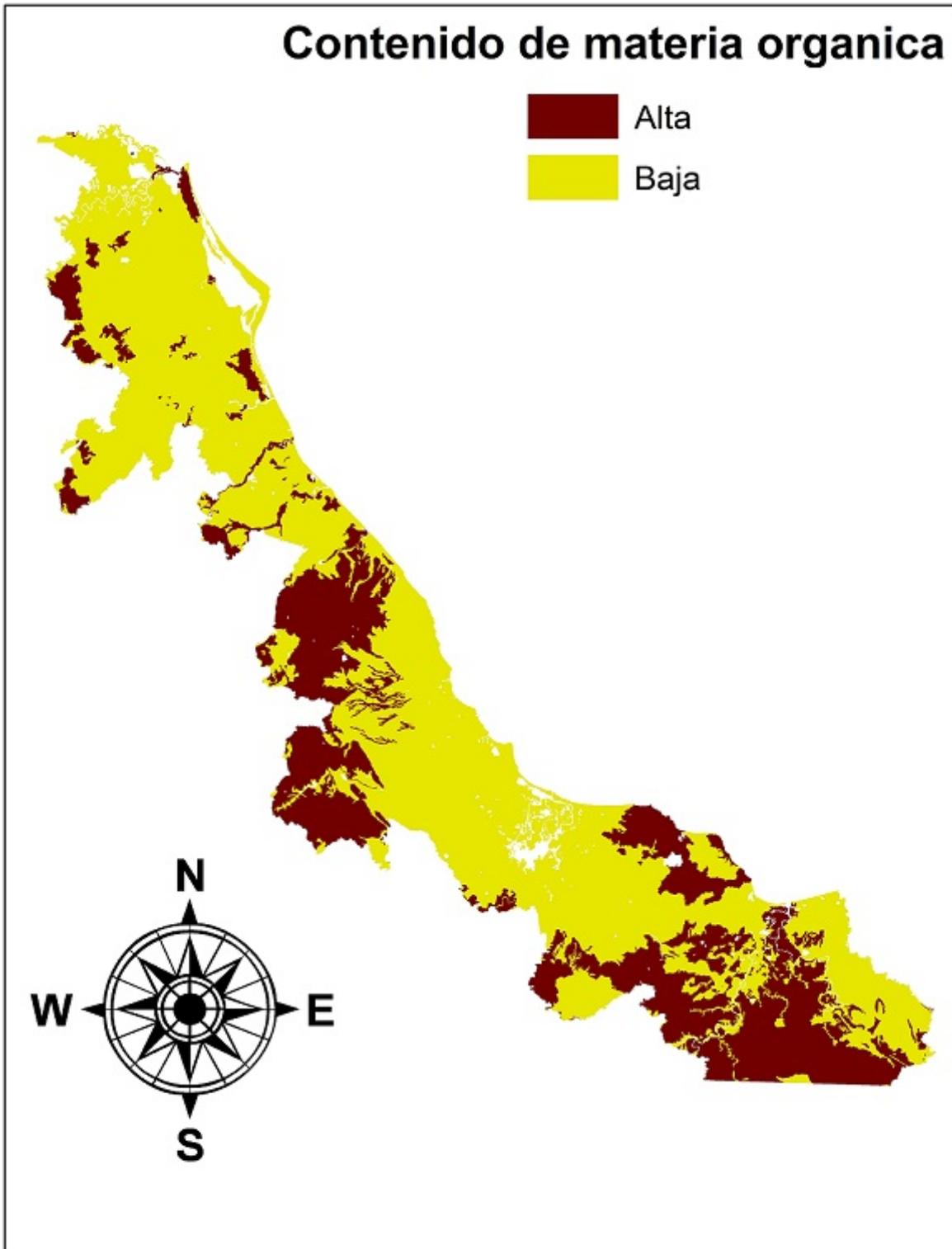
Anexo 5. Clasificación por profundidad del estado de Veracruz.



**Anexo 6.** Clasificación por textura de suelo del estado de Veracruz.



Anexo 7. Clasificación por contenido de M.O. en el suelo del estado de Veracruz.



### Anexo 8. Uso actual del suelo

Rendimiento de Biomasa seco (t ha <sup>-1</sup> )	Área total (x1000 has)	(%)	Áreas agrícolas	Bosques y selvas	Pastizales	Cuerpos de agua y áreas urbanas	Área descartada
0-20	59	0.8	19	27	13	0	0
20-40	282	3.9	92	69	119	2	0
40-60	1,026	14.3	166	236	608	15	0
60-80	1,614	22.5	341	264	904	104	0
80-100	1,644	22.9	473	146	1,005	20	0
100-120	1,369	19.1	305	173	848	43	0
120-140	113	1.6	39	26	46	2	0
140-160	6	0.1	3	0	3	0	0
160-180	5	0.1	3	0	2	0	0
180-200	2	0.0	2	0	0	0	0
Área descartada	-	-	-	-	-	-	1,067
<b>Total</b>	<b>6,120</b>	<b>85.2</b>	<b>1,444</b> <b>(20.1%)</b>	<b>942</b> <b>(13.1%)</b>	<b>3,548</b> <b>(49.4%)</b>	<b>186</b> <b>(2.6%)</b>	<b>1,067</b> <b>(14.8%)</b>