



# UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

---

CAMPUS GUANAJUATO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOMÁTICA E  
HIDRÁULICA

**“Diseño de metodología para la determinación de zonas agrícolas de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* destinadas a la producción de bioturbosina en México”**

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN GEOMÁTICA**

PRESENTA

**LAURA ALEJANDRA TORRES JAIME**

DIRECTOR

M. G. VÍCTOR MANUEL ORTEGA CHÁVEZ

CODIRECTOR

M. I. ANDRÉS AGUILAR ORTEGA

GUANAJUATO, GTO.

MARZO, 2018



*“Sólo me sobrevive un miedo, el miedo a no trascender”.*



## Dedicatoria

Nada en esta vida se puede hacer solo, este logro es fruto del esfuerzo y apoyo incondicional de a quienes considero los pilares de mi vida. Y a quienes dedico la culminación de este proceso de formación:

A ti mamá, Ofelia Jaime, por ser la persona y el ejemplo que eres. Porque gracias a ti soy quién soy ahora, gracias por estar siempre presente en cada etapa de mi vida. Nunca terminaría de decirte cuanto te admiro y te amo.

A ti papá, Pedro Torres, porque eres mi ejemplo de responsabilidad y trabajo. Porque gracias a ti he aprendido ser independiente en todos los aspectos de mi vida. Quiero que sepas que ocupas un lugar muy especial en mi corazón.

A ustedes, hermanas, Daniela Torres Jaime y Jhovana Torres Jaime por ser mis compañeras de muchas aventuras, travesuras y peleas, porque siempre han estado y estarán ahí, por compartir tantos recuerdos. Con todo mi cariño, a ustedes.

A ti Aby Torres Jaime, por enseñarme a ser valiente, por mostrarme que ningún dolor es tan grande para hacerme caer. Te agradezco por regalarme tantos momentos de felicidad a tu lado y por permitirme ver todos tus logros. Te admiro con todo lo que soy.

A ustedes, abuelas, Antonia Hernández y Rosa Martínez, por darme todo su cariño y comprensión, les agradezco todo lo que me han enseñado de la vida y los consejos que me han dado, que les aseguro nunca olvidaré, pero sobre todo les agradezco por ser como unas madres para mí.

A mis abuelos Juan Jaime y Vicente Torres, a ustedes que la vida me prestó solo por un instante, y que no pudieron estar a mi lado hoy; sé que donde estén, estarán orgullosos de mí, gracias por su amor y apoyo el tiempo que estuvieron conmigo. Los llevo siempre en el corazón.

Y por último, pero no menos importante, a ti Cristian Díaz, por estar conmigo desde el primer día en esta aventura, por enseñarme que la vida está hecha de experiencias, gracias por mostrarme nuevos horizontes. Quiero agradecerle con



todo mi corazón que estés a mi lado, que me hayas elegido como tu compañera,  
pero sobre todo que antes que nada seas mi mejor amigo.

Con todo mi cariño, a ustedes.



## Agradecimientos

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en dónde estén o si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones. Espero no omitir a nadie, pero si lo hago, créanme que tengo serios problemas de memoria.

Agradezco a la Universidad de Guanajuato mi *alma mater* por ser la institución encargada de mi formación. Por brindarme el privilegio de ser parte de ella; por dejarme crecer personal y profesionalmente dentro de sus instalaciones.

Agradezco al Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas CIATEC por permitirme participar en el desarrollo del proyecto “Clúster de Bioturbosina” y por la beca otorgada para lograr el desarrollo de mi trabajo de tesis.

A mi director, Víctor Ortega Chávez, por ser el contacto entre la División de Ingenierías y CIATEC, agradezco el tiempo que dedicó a la revisión de este trabajo pero sobre todo sus consejos y el apoyo que me brindó en cada momento del desarrollo de todo el proceso de titulación.

A mi codirector Andrés Aguilar Ortega por aceptar asesorarme y por dedicar gran parte de su tiempo a la revisión del trabajo, agradezco las experiencias compartidas y el gran entusiasmo que me transmitía. Le agradezco compartiera conmigo su pasión por la escritura y me enseñara a pensar antes de escribir.

Agradezco a Luis Gerardo Ramos Frausto porque además de ser mi compañero de trabajo aceptara ser revisor de mi trabajo de tesis, le agradezco todos los conocimientos que compartió conmigo a lo largo de mi estancia en el Centro y la paciencia que siempre me tuvo.

Quiero agradecer de manera especial a mis sinodales Alejandro Flamenco Sandoval y Héctor Regil García por el tiempo dedicado a la revisión del presente documento. Gracias por las correcciones y las sugerencias que me hicieron, sin ustedes este trabajo no sería lo que es.



Reconozco el gran apoyo que me brindó José de Jesús Esparza Claudio al facilitarme información y compartirme sus conocimientos para realizar el presente trabajo, le agradezco toda la confianza que depositó en mi desde el primer día de haber ingresado al Centro.

Agradezco las orientaciones que desde el primer día me brindaron Claudia Calderón Rosas y Norma Cruz Ortiz, les agradezco por ser las responsables de que haya entrado al Centro como practicante. Reconozco la gran disposición que siempre mostraron y todo lo que me enseñaron.

Quiero agradecer a todos mis compañeros de CIATEC por los ánimos que me dieron cuando más lo necesitaba, les agradezco todo el conocimiento que compartieron conmigo y su disposición a ayudarme en cualquier momento.

A lo largo de mi vida ha habido muchas personas a las que les tengo que agradecer el haber compartido grandes momentos a mi lado, les agradezco la hermosa amistad que me brindaron: Ivonne Pedroza, Yaz Guerrero, Fany García, Ely Pérez y Diego Gómez. Gracias por ser como hermanos para mí.

Agradezco a mis amigos de la universidad, a ellos que estuvieron conmigo y que saben lo complicado que es estar fuera de casa, a ellos por ser una familia para mí, una familia que proviene de todo el estado de Guanajuato: Ale Gallegos, Abraham Guzmán, Beto Casillas, Carlos Espinoza, Carlos Sánchez, Cristian Díaz, Juan Carlos Carballo y Nico Navarro. Les agradezco todos los momentos que vivimos; las alegrías y las tristezas, gracias a todos por todo.

Quiero hacer un agradecimiento muy especial a Lucía Jaime, mi tía, le agradezco por acompañarme en todo momento, por estar a mi lado en cada logro y derrota que he tenido. Le agradezco por quererme como lo hace, porque sé lo que lo hace como si fuera su hija. Le estaré siempre agradecida por todo lo que ha hecho por mis hermanas y por mí.

Por último agradezco profundamente a todos y cada uno de los miembros de mi familia por todo el apoyo que siempre me han brindado.

Gracias a todos por ser parte de mi vida.



## Índice de contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
1.1. Objetivo General .....	3
1.1.2. Objetivos Particulares .....	3
1.2. Antecedentes .....	3
1.3. Marco Teórico .....	8
1.3.1 Sistemas de Información Geográfica. ....	8
1.3.2. Zonificación Agroecológica y Capacidad de acogida del territorio ....	9
1.3.3. Análisis multicriterio.....	12
1.3.4. Aplicación de los análisis multicriterio .....	13
<b>2. Metodología .....</b>	<b>17</b>
2.1. Herramientas para SIG .....	17
2.2. Zonificación.....	18
2.3. Requerimientos Agroecológicos.....	19
2.3.1 Búsqueda de guías técnicas .....	20
2.3.2. Identificación de requerimientos agroecológicos.....	22
2.3.3 Identificación de potencial de producción.....	22
2.3.4. Estrategia de análisis de información.....	23
2.4. Capas de información .....	28
2.4.1. Investigación y selección de estaciones climáticas .....	30
2.4.2. Obtención del Modelo Digital de Elevación .....	33
2.4.3. Obtención de capa uso de suelo y vegetación .....	34
2.4.4. Obtención la capa edafológica .....	35
2.4.5. Homogeneización geográfica de los datos.....	36
2.5. Tratamiento de datos .....	38
2.5.1. Ponderación de variables .....	38
2.5.2. Delimitación del área de trabajo y asignación de valores.....	41
2.5.3. Uso de suelo y vegetación .....	44
2.5.4. Edafología .....	48
2.5.5. Modelo digital de elevación .....	49



2.5.6. Precipitación y temperatura.....	52
2.6. Unión de capas de información.....	58
2.7. Interpretación de capa resultante.....	61
2.7.1. Determinación de grados de potencial .....	62
2.7.2 Exclusión de zonas .....	64
<b>3. Resultados .....</b>	<b>66</b>
3.1 <i>Ricinus communis L.</i> .....	66
3.1.1. Chiapas .....	66
3.1.2. Guanajuato.....	68
3.1.3. Hidalgo .....	70
3.1.4. Jalisco .....	71
3.1.5. Michoacán .....	73
3.1.6. Valles Centrales de Oaxaca.....	74
3.2. <i>Jatropha curcas L.</i> .....	76
3.2.1. Chiapas .....	76
3.2.2. Guanajuato.....	77
3.2.3. Hidalgo .....	79
3.2.4. Jalisco .....	80
3.2.5. Michoacán .....	82
3.2.6. Sinaloa .....	83
3.2.7. Tabasco .....	85
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>87</b>
<b>5. Bibliografía.....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo No. 1 Requerimientos Agroecológicos de <i>Ricinus communis L.</i>....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo No. 2 Requerimientos Agroecológicos de <i>Jatropha curcas L.</i>.....</b>	<b>102</b>



## Índice de Tablas

Tabla 1. Estados con información publicada (Elaboración propia).....	17
Tabla 2. Guías técnicas y publicaciones especializadas sobre cultivos: <i>Ricinus communis</i> L. y <i>Jatropha curcas</i> L. (Elaboración propia).....	21
Tabla 3. Requerimientos agroecológicos para el desarrollo de los cultivos (Elaboración propia) .....	22
Tabla 4. Tabla de ponderaciones (Elaboración propia).....	24
Tabla 5. Clasificación de las variables agroecológicas (Elaboración propia) ...	25
Tabla 6. Ejemplo de ponderación de datos discretos (Elaboración propia).....	26
Tabla 7. Ejemplo de ponderación de datos continuos (Elaboración propia).....	27
Tabla 8. Ejemplo de tabla de ponderaciones (Elaboración propia) .....	27
Tabla 9. Nombre y características de capas de información (Elaboración propia) .....	30
Tabla 10. Base de datos de estaciones climatológicas de Tabasco (SMN, 2010) .....	32
Tabla 11. Características del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (INEGI, 2013a).....	34
Tabla 12. Formato de la información del Conjunto Nacional de Uso de suelo y vegetación (INEGI, 2013b).....	35
Tabla 13. Tabla de valores de ponderación para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Guanajuato (Hernández Martínez et al., 2012b) .....	40
Tabla 14. Asignación de nombres de columna de ponderación (Elaboración propia) .....	43
Tabla 15. Tabla de tipos de datos factibles a usar en ArcGIS (ESRI, 2017) ....	44
Tabla 16. Tabla de Ponderación asignada a la capa de Uso de suelo (Elaboración propia) .....	47
Tabla 17. Ventajas de la estructura vector (Peña Llopis, 2009) .....	59
Tabla 18. Clasificación de rangos de potencial (Elaboración propia) .....	63
Tabla 19. Clasificación de la superficie total del estado de Chiapas para el cultivo de <i>Ricinus communis</i> L. (Elaboración propia) .....	67
Tabla 20. Clasificación de la superficie total del estado de Guanajuato para el cultivo de <i>Ricinus communis</i> L. (Elaboración propia) .....	69
Tabla 21. Clasificación de la superficie total del estado de Hidalgo para el cultivo de <i>Ricinus communis</i> L. (Elaboración propia) .....	70



Tabla 22. Clasificación de la superficie total del estado de Jalisco para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> (Elaboración propia) .....	72
Tabla 23. Clasificación de la superficie total del estado de Michoacán para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> (Elaboración propia) .....	73
Tabla 24. Clasificación de la superficie total de los Valles Centrales de Oaxaca para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> (Elaboración propia) .....	75
Tabla 25. Clasificación de la superficie total del estado de Chiapas para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> (Elaboración propia).....	76
Tabla 26. Clasificación de la superficie total del estado de Guanajuato para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> (Elaboración propia).....	78
Tabla 27. Clasificación de la superficie total del estado de Hidalgo para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> (Elaboración propia).....	79
Tabla 28. Clasificación de la superficie total del estado de Jalisco para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> (Elaboración propia).....	81
Tabla 29. Clasificación de la superficie total del estado de Michoacán para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> (Elaboración propia).....	82
Tabla 30. Clasificación de la superficie total del estado de Sinaloa para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> (Elaboración propia).....	84
Tabla 31. Clasificación de la superficie total del estado de Tabasco para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> (Elaboración propia).....	85



## Índice de Figuras

Figura 1. Visión del Plan de Vuelo (Buenrostro Domínguez, 2013) .....	5
Figura 2. Ciclo de un SIG (INEGI, 2014c) .....	8
Figura 3. Aplicaciones básicas de metodología ZAE (FAO, 1997).....	10
Figura 4. Aplicaciones avanzadas de la metodología ZAE (FAO, 1997).....	11
Figura 5. Los análisis multicriterio (Pineda Jaimes, 2013) .....	12
Figura 6. Sistema de integración entre un SIG y el análisis multicriterio (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005) .....	14
Figura 7. Metodología (Elaboración propia) .....	19
Figura 8. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Chiapas (Zamarripa Colmenero et al., 2011) .....	23
Figura 9. Matriz de evaluación (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).....	24
Figura 10. Rango de ponderaciones (Elaboración propia) .....	26
Figura 11. Ficha de información de las normales 1981-2010 (SMN, 2010) .....	31
Figura 12. Puntos de ubicación de estaciones climáticas e interpolación de datos (Elaboración propia) .....	33
Figura 13. CEM versión 3.0 (INEGI, 2013a).....	34
Figura 14. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (INEGI, 2013b).....	35
Figura 15. Continuo Nacional de Unidades Edafológicas Serie II (INEGI, 2007) .....	36
Figura 16. Ejemplo de ventana emergente al trabajar con capas con diferente sistema de coordenadas .....	37
Figura 17. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Guanajuato (Hernández Martínez et al., 2012b) .....	40
Figura 18. Proceso de delimitación de área de trabajo .....	42
Figura 19. Ejemplo de tabla de atributos con columnas de información completas .....	42
Figura 20. Ejemplo de tablas de atributos editadas para la elaboración del análisis .....	43
Figura 21. Formato seleccionado para la inserción de la columna de ponderación .....	44
Figura 22. Proceso de asignación de valores de ponderación por medio de selección por atributos .....	48



Figura 23. Tabla de atributos de las variables tipo de suelo y textura del suelo .....	49
Figura 24. Clasificación manual del Modelo Digital de Elevación.....	50
Figura 25. Valores de reclasificación asignados .....	50
Figura 26. Tabla de atributos del modelo digital de elevación después de la reclasificación.....	51
Figura 27. Tabla de atributos del modelo digital de elevación.....	52
Figura 28. Proceso de despliegue de datos con coordenadas XY .....	53
Figura 29. Proceso de reproyección en Mapa Digital de México.....	54
Figura 30. Herramienta IDW de interpolación .....	55
Figura 31. Ajustes de la extensión del proceso .....	56
Figura 32. Ajustes en el análisis del ráster .....	56
Figura 33. Proceso de reclasificación de capa de precipitación .....	57
Figura 34. Proceso de conversión de formato ráster a polígono .....	57
Figura 35. Geoproceso Unión .....	58
Figura 36. Proceso de herramienta unión .....	59
Figura 37. Tabla de atributos de la nueva capa de potencial .....	60
Figura 38. Características asignadas al campo de POTENCIAL .....	60
Figura 39. Suma de valores de las variables agroclimáticas.....	61
Figura 40. Ejemplo de tabla de atributos de la capa de potencial .....	61
Figura 41. Características asignadas al campo de grado de potencial .....	62
Figura 42. Proceso de asignación de grados de potencial.....	64
Figura 43. Proceso para la determinación de zonas de exclusión .....	65
Figura 44. Simbología asignada a los grados de potencial .....	65
Figura 45. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> en el estado de Chiapas. Generación propia con datos de INIFAP (2011) .....	66
Figura 46. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> en el estado de Guanajuato. Generación propia con datos de INIFAP (2012a).....	68
Figura 47. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> en el estado de Hidalgo. Generación propia con datos de INIFAP (2014) .....	70



Figura 48. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> en el estado de Jalisco. Generación propia con datos de INIFAP (2011) .....	71
Figura 49. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> en el estado de Michoacán. Generación propia con datos de INIFAP (2011) .....	73
Figura 50. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Ricinus communis L.</i> en los Valles Centrales de Oaxaca. Generación propia con datos de INIFAP (2013).....	74
Figura 51. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> en el estado de Chiapas. Generación propia con datos de INIFAP (2011) .....	76
Figura 52. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> en el estado de Guanajuato. Generación propia con datos de INIFAP (2012b).....	77
Figura 53. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> en el estado de Hidalgo. Generación propia con datos de INIFAP (2013) .....	79
Figura 54. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> en el estado de Jalisco. Generación propia con datos de INIFAP (2011) .....	80
Figura 55. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> en el estado de Michoacán. Generación propia con datos de INIFAP (2011) .....	82
Figura 56. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> en el estado de Sinaloa. Generación propia con datos de Compendio <i>Jatropha</i> (2013).....	83
Figura 57. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> en el estado de Tabasco. Generación propia con datos de la UNAM (2014).....	85
Figura 58. Requerimientos Agroecológicos para <i>Ricinus communis L.</i> en el estado de Chiapas .....	98
Figura 59. Requerimientos Agroecológicos para <i>Ricinus communis L.</i> en el estado de Guanajuato .....	99



Figura 60. Requerimientos Agroecológicos para <i>Ricinus communis</i> L. en el estado de Hidalgo .....	99
Figura 61. Requerimientos Agroecológicos para <i>Ricinus communis</i> L. en el estado de Jalisco.....	100
Figura 62. Requerimientos Agroecológicos para <i>Ricinus communis</i> L. en el estado de Michoacán .....	100
Figura 63. Requerimientos Agroecológicos para <i>Ricinus communis</i> L. en los Valles Centrales de Oaxaca .....	101
Figura 64. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Chiapas .....	102
Figura 65. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Guanajuato.....	103
Figura 66. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Hidalgo .....	103
Figura 67. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Jalisco .....	104
Figura 68. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha Curcas</i> L. en el estado de Michoacán.....	104
Figura 69. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Sinaloa .....	104
Figura 70. Requerimientos Agroecológicos para <i>Jatropha curcas</i> L. en el estado de Tabasco.....	105



## Resumen

Hoy en día, existe una gran preocupación mundial por el agotamiento de las reservas de petróleo lo que ha generado el encarecimiento de dichos combustibles fósiles y sus derivados, además de la creciente preocupación por el fenómeno conocido como calentamiento global causado por el uso excesivo de estos combustibles, en México no es la excepción. En este trabajo se aborda una aplicación de la capacidad de acogida del territorio como una herramienta para contribuir con una alternativa basada en el uso de biomasa como materia prima para la producción de bioturbosina en respuesta a la problemática existente.

En el presente trabajo el lector visualizará el diseño de una metodología basada en un análisis multicriterio como una herramienta de Zonificación Agroecológica para obtener las zonas de potencial para la producción de *Ricinus communis* L. y *Jatropha curcas* L. evaluando algunos requerimientos agroecológicos de las especies (climáticos, edáficos, hidrológicos, entre otros) utilizando las herramientas disponibles en los Sistemas de Información Geográfica. Dicha metodología tiene por objeto asistir en los procesos de toma de decisiones a través de un número de alternativas considerando diferentes criterios.

Los resultados obtenidos se presentan en 13 mapas, con sus respectivas tablas de superficie, en los cuales se muestran las ubicaciones de las zonas con mayor potencial así como las superficies que representa cada grado de potencial.

**Palabras clave:** *Sistema de Información Geográfica, análisis multicriterio, capacidad de acogida, requerimientos agroecológicos.*



## 1. Introducción

El creciente interés de la sociedad global por los biocombustibles refleja la preocupación por el agotamiento de las reservas de fuentes de energía basadas en los combustibles fósiles y el consecuente aumento de los precios de sus derivados (Romero Izquierdo, Gómez de la Cruz, & Gutiérrez-Antonio, 2016). La competición es cada vez más dramática por las últimas reservas disponibles y la preocupación es mayor por el cambio climático, debido principalmente al uso excesivo de dichos combustibles (González Mancillas, Juárez López, Aceves Navarro, Rivera Hernández, & Guerrero Peña, 2014).

En la actualidad existe gran demanda de combustible y sus derivados, pero a medida que se agotan las reservas de combustibles fósiles, se encarecen éstos (M. E. González Ávila, 2009). Debido a ello se requiere identificar y promover el uso de métodos y productos que generen suministros alternos de energía y si es renovable y con bajo costo mejor. Este trabajo busca determinar la selección de los sitios que produzcan la mayor cantidad de biomasa destinada a la elaboración bioturbosina, lo que se traduce en toda una nueva cadena productiva que mejorará la economía del sitio productor.

Hoy en día, el desarrollo de biocombustibles forma parte de algunas estrategias propuestas por el gobierno para dar solución a la problemática actual (Romero Izquierdo et al., 2016). El sector del aerotransporte ha sido uno de los principales actores en la creación y ejecución de algunas de esas estrategias, debido a que el uso de las aeronaves se ha convertido en una necesidad básica para los trayectos de grandes distancias, reduciendo el tiempo de traslado pero aumentando los daños provocados al medio ambiente y a la sociedad (Romero Izquierdo et al., 2016).

Ante esta situación, México requiere impulsar el uso de energía renovable con el fin de reducir las emisiones que favorecen el incremento del calentamiento global (Zamarripa Colmenero et al., 2009). Por su gran biodiversidad, condiciones climáticas y geográficas, México es un país con vastos recursos naturales para la producción de bioenergéticos, lo que le puede permitir asegurar el desarrollo de la industria de la aviación (ASA, 2015a).

En este documento se realiza una síntesis sobre el tema de los biocombustibles, se muestra el diseño de una metodología basada en la Zonificación



Agroecológica y la capacidad de acogida de la tierra para determinar zonas de producción de biomasa, destinada a la elaboración de bioturbosina, como una alternativa propuesta al uso de combustibles para aviación, los mapas de grado de potencial de la tierra obtenidos y una conclusión sobre las herramientas utilizadas para llevar a cabo el proceso de selección.

### 1.1. Objetivo General

Diseñar una metodología para determinar las zonas agrícolas de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* destinadas a la producción de bioturbosina, mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica.

#### 1.1.2. Objetivos Particulares

- Identificar las variables agroecológicas que intervienen en el desarrollo de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.*
- Utilizar la metodología de Zonificación Agroecológica y la capacidad de acogida de la tierra como base para llevar a cabo el análisis multicriterio que determine los grados de potencial de la tierra.
- Elaborar un análisis multicriterio que integre las variables agroecológicas de las especies descritas en las guías técnicas.
- Priorizar zonas de uso agrícola y desprovistas de vegetación como lugares potenciales para el cultivo de las especies seleccionadas.
- Mantener la vocación del suelo actual a través de la conservación del uso de suelo y vegetación presente en las diferentes coberturas vegetales de México.

### 1.2. Antecedentes

El agotamiento de las reservas mundiales de petróleo, del cual se obtienen los combustibles fósiles de mayor uso en la actualidad, así como la contaminación causada por el uso de este tipo de combustibles y el aumento en



los precios de los mismos, ha ocasionado que en los últimos años se hayan incrementado los esfuerzos por la búsqueda de otros tipos de combustibles (Faba, Díaz, & Ordóñez, 2014). Como resultado a estos esfuerzos se ha desarrollado la tecnología para la producción de los llamados Biocombustibles, que son combustibles producidos a partir de biomasa (SENER, 2015).

Los biocombustibles se obtienen a partir de la biomasa que es una fuente de energía renovable y limpia (Masera Cerutti et al., 2011) y proviene de toda la materia orgánica procedente de seres vivos animales o vegetales.

La biomasa puede ser clasificada en: biomasa de primera, segunda o tercera generación. La de primera generación está representada por todos los cultivos susceptibles de usarse en la alimentación humana. La biomasa de segunda generación incluye residuos agrícolas y forestales, así como aceites y semillas no comestibles. La biomasa de tercera generación está representada por algas y microalgas (Romero Izquierdo et al., 2016).

La producción de biomasa en grandes cantidades requiere de extensiones de tierra enormes, lo cual puede provocar competencia por el uso de la tierra con actividades dedicadas a la producción de alimentos. Sin embargo, puede existir una solución, como ocurre con las plantaciones de asociación de cultivos o como es el caso del aprovechamiento de tierras desprovistas de vegetación (Masera Cerutti, 2006).

La falta de una buena planeación del territorio tiene como riesgo que el uso del suelo dedicado a la producción de biocombustibles provoque deforestación, sobreexplotación de recursos hídricos, degradación de suelo, entre otras (Masera Cerutti et al., 2011). Para evitarlo, uno de los objetivos de este estudio es considerar la preservación del uso de suelo actual de las cubiertas vegetales presentes en el país y contribuir a la conservación de las Áreas Naturales Protegidas tanto federales como estatales y en su caso municipales.

Hoy en día, el sector del aerotransporte muestra un gran interés por contribuir con acciones para reducir afectaciones que provoquen el cambio climático. El interés mostrado por este sector reside en el hecho de que la aviación internacional aporta aproximadamente el 2% de las emisiones contaminantes globales producidas por el hombre (OACI, 2013). En un escenario futuro,



considerando el crecimiento de la población mundial, el sector de la aviación tendrá mayor demanda, es decir, el aumento de las emisiones contaminantes será mayor (UNIVERSITAM, 2010).

Considerando lo mencionado anteriormente La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), organismo especializado de la ONU, desde el año 2007 ha generado diferentes resoluciones en las que reconoce la importancia de la investigación y el desarrollo de los combustibles alternativos para la aviación, creando así en el 2010 la Resolución A37-19 nombrada “Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a la protección del medio ambiente - Cambio climático”. La cual propone como meta una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en un promedio de 1.5% al año 2020 y una reducción del 50%, con respecto al 2005, para 2050 (Buenrostro Domínguez, 2013).

En México, desde 2007 se plantearon los primeros proyectos para producir combustibles alternativos a partir de biomasa. La Secretaría de Energía constituyó la Administración Pública Federal en materia de bioenergéticos, para regular su desarrollo, permisos, almacenamiento, transporte, entre otros (Bruciaga, 2016).

Durante 2010 y 2011, Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), llevó a cabo la iniciativa “Plan de Vuelo hacia los Biocombustibles Sustentables de Aviación en México” (Figura 1). Uno de los objetivos principales fue concentrar esfuerzos de organizaciones civiles, instituciones gubernamentales, empresariales y de investigación dirigidas a la producción de biocombustibles (Buenrostro Domínguez, 2013).



Figura 1. Visión del Plan de Vuelo (Buenrostro Domínguez, 2013)

En 2016 el Clúster Bioturbosina fue seleccionado por la Secretaría de Energía para conformar el Centro Mexicano de Innovación en Energía especializado en



Biomasa (CEMIE-BIO). Los principales propósitos son la formación de sinergias entre la tecnología y las fuentes de energías renovables del país. Entre sus objetivos está posicionar a México como líder en la producción de biocombustibles de aviación. Las principales funciones del Clúster concentran la investigación y el desarrollo tecnológico en la producción de biomasa (considerando diferentes fuentes de materias prima), la transformación (acondicionamiento de materia, desarrollo de procesos, simulación), la sustentabilidad, el análisis del ciclo de vida y el mercado de distribución (transporte, distribución) (PROYECTO FSE, 2016).

La presente investigación se centra en la producción de biomasa a partir de dos cultivos, considerando las especificaciones que en 2010 propusieron ASA en coordinación con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en la iniciativa “Plan de vuelo”. Ellos determinaron para la producción de bioturbosina la siembra de biomasa debe ser de segunda generación, su siembra debe perseguir una política de no competencia con alimentos para consumo humano, además de no revertir el uso de suelo actual de las diferentes coberturas vegetales de México (Bruciaga, 2016).

Las investigaciones realizadas por la ASA mostraron que el combustible de origen vegetal puede ser mezclado con combustible convencional y ser usado en aviones comerciales y militares (ASA, 2015b) . El desafío que actualmente presenta el sector de la aviación es la inversión para aumentar la producción y generar las cantidades de combustible necesarias para cubrir la demanda actual. Por esta razón, se han desarrollado investigaciones dedicadas a la producción y eficacia de diferentes biocombustibles; entre ellos, la bioturbosina (Romero Izquierdo et al., 2016).

La bioturbosina, es un combustible renovable, denominado técnicamente como Biokeroseno Parafínico Sintetizado (BIO-KPS) (Romero Izquierdo et al., 2016). De acuerdo con especialistas de ASA, la bioturbosina es: “un recurso sustentable que puede reemplazar al combustible de la aviación tradicional. Actualmente se produce a partir de aceites derivados de especies como la *Jatropha*, la Higuera, las algas y algunas halófitas” (Bruciaga, 2016).

Como mencionan Hernández M. y otros (2012) las especies que muestran las mayores ventajas de adaptación a tierras marginales, bajos requerimientos de



agua e insumos y alto potencial de rendimiento y que además no compiten con la alimentación humana para la producción de bioturbosina, son: la Higuierilla (*Ricinus communis L.*) y la *Jatropha* (*Jatropha curcas L.*).

Las características que presentan las especies seleccionadas son las siguientes:

***Ricinus communis L.***, mejor conocida como higuierilla, es una planta oleaginosa que tiene gran capacidad de adaptación (Solís Bonilla et al., 2011). En la búsqueda de biocombustibles, el uso del aceite de *Ricinus communis L.* ha demostrado tener ventajas técnicas por lo que se vuelve una alternativa para el desarrollo agrícola en áreas áridas y empobrecidas de las zonas tropicales y subtropicales (Zamarripa Colmenero, 2011).

***Jatropha curcas L.*** es una oleaginosa originaria del Sur de México y América Central. Por sus características agroindustriales es una especie que tiene alta demanda en el mercado nacional e internacional para la obtención de aceite de alta calidad. Esto la vuelve en materia prima para la producción de bioenergéticos (Zamarripa Colmenero et al., 2014).

La investigación llevada a cabo parte de los requerimientos agroecológicos de las especies aptas para la producción de bioturbosina, pues a partir de ellos se diseñó una metodología basada en la Zonificación Agroecológica aplicando Sistemas de Información Geográfica y las técnicas de análisis multicriterio, generando de esta forma, una aplicación de la capacidad de acogida del territorio para determinar las zonas con mayor potencial de producción de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.*

Este tipo de evaluaciones se han llevado a cabo en diversos estudios con distintas aplicaciones en la ordenación del territorio. Regil García y Franco Maass (2009) determinaron la capacidad del territorio para el desarrollo de especies agrícolas y forestales. Ramírez, Negrelli, y Salinas (2011) identificaron la capacidad de acogida del territorio como una herramienta de ordenamiento territorial. Ríos Gallego (2014) determinó la capacidad de acogida para evaluar los usos potenciales de embalses y sus zonas de protección. Tanto estos autores como muchos más han hecho uso de la aplicación de estas metodologías.

La metodología para la determinación de capacidad de acogida del territorio ha sido una herramienta utilizada muy ampliamente en diversos estudios que

buscan determinar zonas de aptitud para ciertas actividades, es por esta razón que se optó por seguir su aplicación y reestructurarla para diseñar una metodología que nos permita determinar las zonas potenciales destinadas a la producción de las especies seleccionadas.

### 1.3. Marco Teórico

#### 1.3.1 Sistemas de Información Geográfica.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se pueden definir como una “tecnología integradora que une varias disciplinas con el objetivo común del análisis, creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc. de información geográfica” (Goodchild, 2000). Los SIG se han utilizado con el fin de obtener soluciones a determinadas cuestiones de temas espaciales o territoriales (Figura 2).

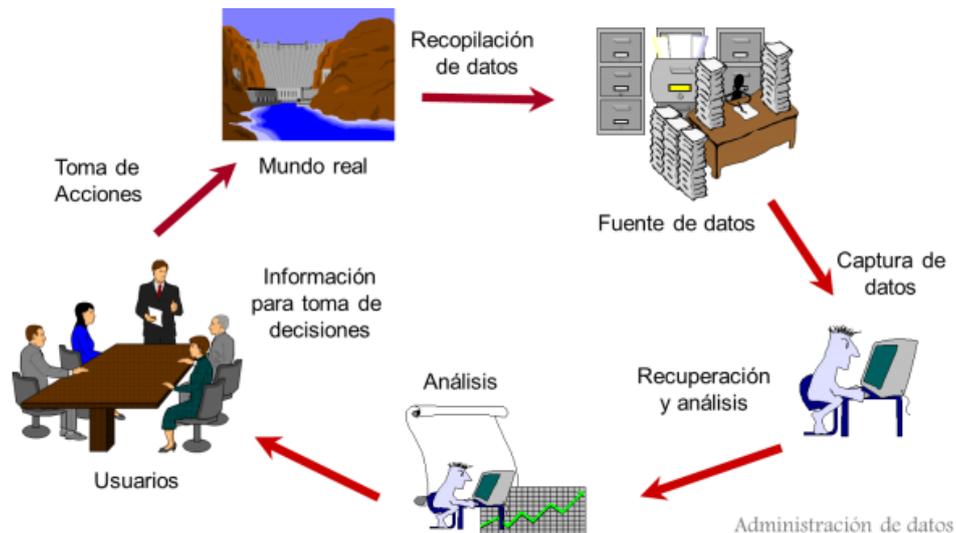


Figura 2. Ciclo de un SIG (INEGI, 2014c)

Los SIG son una herramienta que sirve para integrar información espacial ofreciendo un marco consistente de análisis para los datos geográficamente referenciados además de brindar nuevas y novedosas formas para manipular y desplegar datos (INEGI, 2014c). En resumen los SIG permiten la visualización y el análisis de datos con base en las relaciones y proximidad geográficas.



### **1.3.2. Zonificación Agroecológica y Capacidad de acogida del territorio**

La evaluación llevada a cabo parte desde la perspectiva de Zonificación Agroecológica (ZAE) propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés). El análisis de zonificación implica la combinación de capas de información espacial para definir zonas haciendo uso de los SIG de esta manera la ZAE proporciona un marco global para la evaluación y planificación de los recursos de tierras (FAO, 1997).

Según menciona la FAO (1997) la ZAE define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas, cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como referencia para mejorar la situación existente del uso de suelo.

La metodología ZAE propuesta por la FAO (1997) se concentra en tres grupos principales de actividades:

- Inventario de tipos de tierras y sus requerimientos ecológicos.
- Definición y cartografía de las zonas agroecológicas con base a los inventarios de recursos de tierras.
- Evaluación de la aptitud de tierras de cada zona agroecológica.

En la Figura 3 se representa la relación entre estas actividades y cada uno de sus componentes metodológicos.

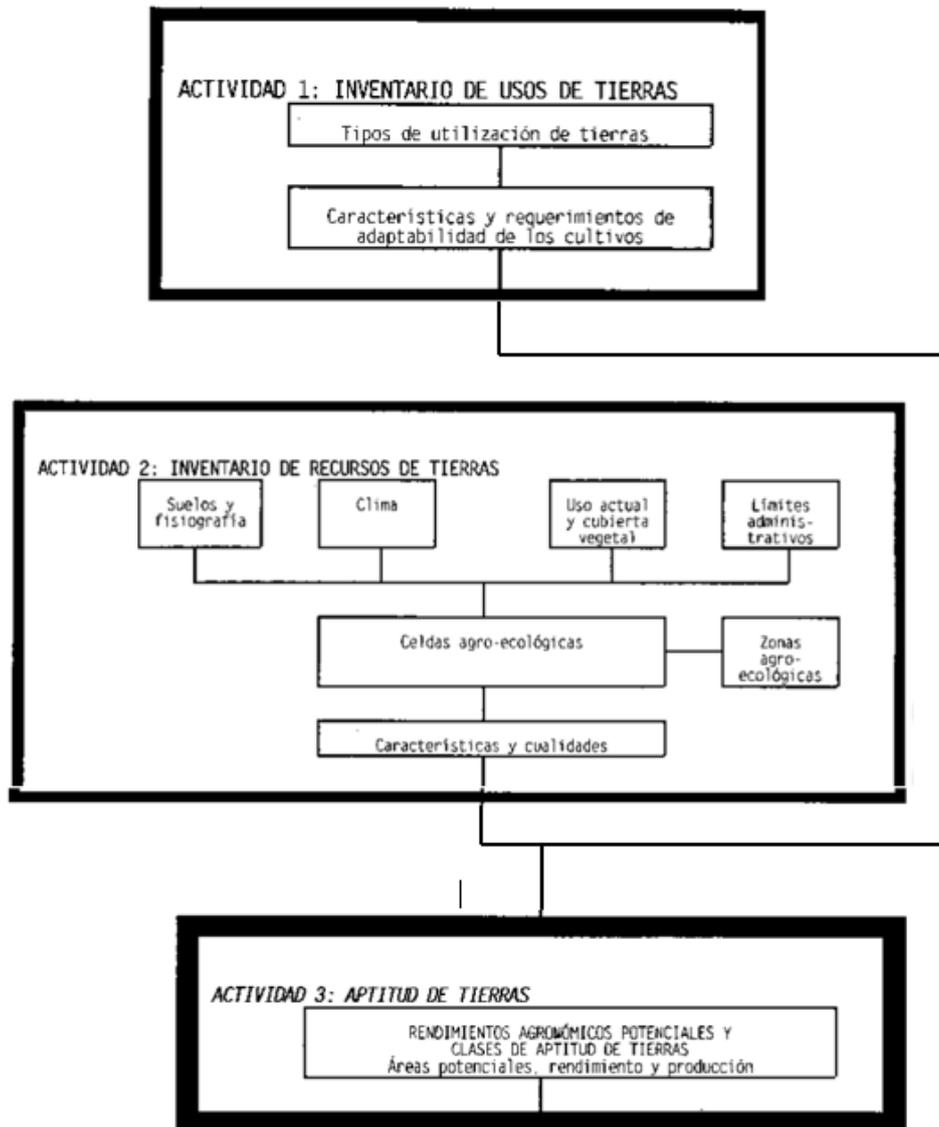


Figura 3. Aplicaciones básicas de metodología ZAE (FAO, 1997)

Cuando se combina la metodología ZAE la zonificación puede usarse entonces como base de una metodología para evaluar los recursos de tierras (FAO, 1997). La suma de otras capas de información (infraestructura, economía, tenencia de la tierra, entre otras) hace posible el desarrollo de aplicaciones más avanzadas en la planificación del uso del territorio, dichas aplicaciones se muestran en la Figura 4.



**APLICACIONES AVANZADAS (ejemplos)**

- Productividad potencial de tierras
- Estimación de áreas cultivables
- Capacidad de sostenimiento de la población
- Planificación de usos de tierras
- Evaluación de riesgo de degradación de tierras
- Evaluación de forraje para ganadería
- Gestión de tierras
- Planificación de la investigación agraria
- Transferencia de tecnología agrícola
- Recomendaciones sobre inputs agrícolas
- Análisis y desarrollo de sistemas de explotación de fincas
- Evaluación del impacto Ambiental
- Control del uso de recursos de tierras
- Evaluación del impacto de cambio climático

Figura 4. Aplicaciones avanzadas de la metodología ZAE (FAO, 1997)

Las evaluaciones de capacidad de acogida del territorio surgen a partir de las diversas aplicaciones que tiene la ZAE. La capacidad de acogida se refiere al “grado de idoneidad” que tiene el territorio (Gómez Orea, 2002), es decir, es el mejor uso que se le puede dar a la tierra considerando las características agroecológicas y el impacto que sufrirá el territorio después de realizar dicha actividad.

Gómez Orea (2002) menciona que una zona territorial tendrá elevada capacidad de acogida o grado de potencial para una actividad cuando su aptitud sea elevada y, al mismo tiempo, el impacto negativo sobre ella sea bajo; y de manera inversa tendrá una baja capacidad de acogida cuando su aptitud sea menor y el impacto negativo sea alto.

La capacidad de acogida del territorio suele representarse en tres, cuatro o cinco grados, dependiendo del grado de confianza o exactitud del análisis que se pretenda obtener, y se expresan según una escala del tipo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (Gómez Orea, 2002).

La capacidad de acogida del territorio surge de la combinación de los SIG y los análisis multicriterio, pues dichas herramientas son muy útiles para su aplicación en los procesos de evaluación territorial. De esta manera es posible investigar el mayor número de alternativas y facilitar la toma de decisiones (Galacho Jiménez & Arrebola Castaño, 2013).

En resumen la evaluación de capacidad de acogida del territorio da una buena idea de la vocación natural del medio siendo una base de partida para conseguir

la integración ambiental y disminuir los impactos negativos al territorio en cualquier actividad a llevarse a cabo.

### 1.3.3. Análisis multicriterio.

El análisis multicriterio puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a la investigación de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto (Voogd, 1982). Desde el punto de vista espacial, estas alternativas son unidades de observación o porciones del territorio que se evalúan con base en sus características geográficas (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

La toma de decisiones multicriterio se puede entender como “conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios” (Colson & De Bruyn, 1989), ver Figura 5.

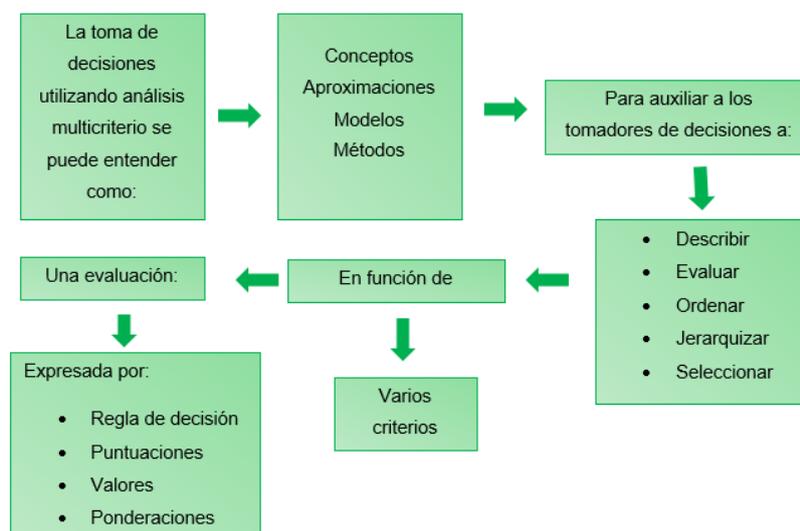


Figura 5. Los análisis multicriterio (Pineda Jaimes, 2013)

El análisis multicriterio nace como una herramienta para analizar fenómenos complejos que no pueden ser verificables objetivamente en laboratorio. Es una técnica que permite orientar la toma de decisiones considerando varios criterios comunes. Se utiliza para emitir comparaciones entre diversas alternativas y su



objetivo es llegar a la solución del problema mediante su aplicación (Díaz González, 2016).

Según menciona Bonis Martín (2011) el análisis multicriterio se basa en la ponderación de variables que van a influir de manera positiva o negativa sobre la actividad a zonificar y que deben ser enumeradas y catalogadas previamente.

#### **1.3.4. Aplicación de los análisis multicriterio**

Dentro de los SIG, el uso más frecuente de los análisis multicriterio corresponde principalmente a la determinación de zonas adecuadas para contener diferentes actividades humanas (Bosque Sendra & García, 2000). Estos análisis son considerados como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

La integración de los SIG y el análisis multicriterio permite llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a dos de los componentes del dato geográfico: espacial y temático, proveyendo soluciones a problemas espaciales complejos (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

En la Figura 6 se presenta un esquema que muestra el proceso del análisis multicriterio dentro del ambiente de los SIG. Es un procedimiento propuesto por Gómez y Barredo (2005), en donde mencionan que el objetivo es el elemento principal que compone el análisis multicriterio pues permite diseñar la estructura de un análisis multicriterio.

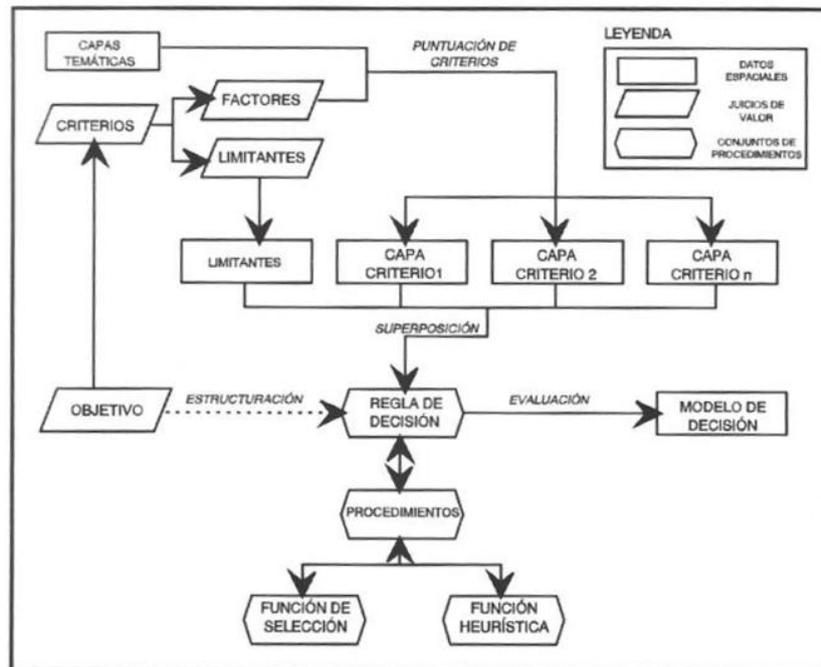


Figura 6. Sistema de integración entre un SIG y el análisis multicriterio (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005)

Los elementos que constituyen el proceso del análisis multicriterio en el entorno de los SIG son los siguientes:

a) Objetivos y alternativas

Los objetivos indican la estructuración de la regla de decisión pues se pueden definir como una función a desarrollar (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1993). Es a partir de los objetivos que se puede elegir y estructurar la estrategia más adecuada para resolver el problema planteado que integre los criterios establecidos.

Las alternativas se representan por objetos o datos geográficos, celdas en formato ráster, o bien, polígonos, líneas o puntos en formato vector; constituyen la capa temática de objetos espaciales (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

b) Criterios

Un criterio es la base para la toma de una decisión. Esta base puede ser medida y evaluada. Es la evidencia sobre la cual se basa una decisión (Eastman et al., 1993). El criterio es el punto de referencia para la toma de decisiones, pero la manera en que es caracterizado influye en gran medida en los resultados finales del proceso.



Los criterios pueden ser: factores y limitantes. “Un factor es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, éste por lo tanto debe ser medido en una escala continua” (Eastman et al., 1993).

El criterio de tipo limitante restringe la disponibilidad de algunas alternativas. Con este criterio se genera una capa binaria en la cual solo se tienen dos alternativas; una de ellas representa la idoneidad de ser elegida para la actividad, y la otra la no disponibilidad para la actividad (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

### c) Regla de decisión

En los SIG las capas de información (formato vector o ráster) cuentan con una serie de atributos (ya sean cualitativos o cuantitativos) que describen cada uno de los rasgos que integran las capas. Estos atributos de forma independiente no reflejan las preferencias del tomador de decisiones por lo que al hacer uso de los análisis multicriterio se aplica un procedimiento para traducir los atributos en valores de preferencia (Franco Maass, 2003). Como consecuencia, la regla de decisión es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular, la cual sigue una serie de procedimientos (aritmético-estadístico) que permiten integrar los criterios (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005).

En resumen la regla de decisión es la estrategia de análisis de información que se deberá seguir para lograr que los atributos de las capas de información se conviertan en valores de preferencia.

Como mencionan Gómez Delgado y Barredo Cano (2005) la regla de decisión, en los análisis multicriterio, puede tener dos procedimientos: la función de selección, en la cual se define un método matemático para clasificar alternativas, en función a una característica medible; y la selección heurística, que se limita a obtener una selección de solo algunas alternativas del conjunto de éstas. El primer procedimiento clasifica mientras que el segundo selecciona.

“La regla de decisión incluye procedimientos para llevar a cabo el análisis multicriterio, así como para actuar sobre los resultados de la evaluación” (Eastman et al., 1993).



#### d) Evaluación

Una vez que la regla de decisión ha sido estructurada, el proceso de aplicarla sobre las capas es llamado evaluación y será lo que produzca el modelo para el tomador de decisiones (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005). El objetivo inicial del análisis consiste en indicar cómo va a actuar la regla de decisión.

En resumen el conjunto de procedimientos de los análisis multicriterio aplicables en un entorno SIG, basan su funcionamiento aritmético en la regla de decisión (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005). El análisis multicriterio realizado muestra la integración que se genera entre el objetivo de la investigación, la aplicación de la regla de decisión y la evaluación generada en el SIG.



## 2. Metodología

Se diseñó la metodología necesaria para la elaboración de una ZAE en México adecuando una evaluación de la capacidad de acogida del territorio, con el fin de identificar las zonas de mayor potencial de producción para los cultivos de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* destinadas a la producción de bioturbosina; considerando los requerimientos agroecológicos necesarios para el desarrollo de los cultivos seleccionados así como la implementación de algunos criterios ambientales destinados a la conservación de la vocación actual del suelo.

Debido a la complejidad presente en la identificación de los requerimientos agroecológicos de los cultivos para cada estado de la República, el presente trabajo se concentra en la zonificación territorial de los estados que cuentan con información publicada. La Tabla 1 muestra la totalidad de estados que se integran en esta evaluación.

Tabla 1. Estados con información publicada (Elaboración propia)

<i>Ricinus communis L.</i>	<i>Jatropha curcas L.</i>
Chiapas	Chiapas
Guanajuato	Guanajuato
Hidalgo	Hidalgo
Michoacán	Michoacán
Jalisco	Jalisco
Valles Centrales de Oaxaca	Sinaloa
	Tabasco

### 2.1. Herramientas para SIG

El diseño de la metodología desarrollada para la determinación de zonas agrícolas de potencial de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* se elaboró a partir de la relación que se puede lograr entre un análisis multicriterio y los SIG.

Las herramientas utilizadas para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo fueron dos software de Sistema de Información Geográfica. Uno fue ArcGIS versión 10.5 que es un Sistema de Información Geográfica desarrollado por El *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). La aplicación utilizada fue ArcMap porque permite visualizar, editar, crear y analizar datos geoespaciales, además de que sirve para asignar simbología y para crear los diseños de mapa para imprimir o publicar.



ArcMap es la aplicación básica de ArcGIS. Se utiliza para realizar muchas de las tareas propias de un SIG, así como de tipo especializada que son desarrolladas por el usuario. La aplicación representa la información geográfica en forma de colección de capas y en forma de mapa (ESRI, 2016). Este software fue utilizado para desarrollar la evaluación multicriterio propuesta para la determinación de las áreas agrícolas de potencial de las especies seleccionadas.

El otro software utilizado fue el Mapa Digital de México versión 6.1.0 desarrollado por INEGI. Es un Sistema de Información Geográfica diseñado para promover y facilitar la integración, uso, interpretación y análisis de información geográfica y estadística; permite conectarse a bases de datos geográficas y servidores de mapas web, incorporar información como tablas de datos y documentación, entre otras capacidades (INEGI, 2014b). Este software fue utilizado para la realización de tareas de reproyección de capas de información por lo que su uso fue limitado, siendo aprovechado solamente para la preparación de las capas de información necesarias para elaborar el análisis diseñado.

## 2.2. Zonificación

La zonificación se llevó a cabo a partir de la metodología ZAE en donde se realizó un análisis multicriterio en el que se integraron los requerimientos agroecológicos necesarios para el desarrollo de cada uno de los cultivos. Se realizó una ponderación de los datos de cada criterio asignando el valor más alto al potencial de producción más alto y el valor más bajo al potencial de producción más bajo.

El análisis de los resultados se realizó con base en las tablas de atributos de cada uno de los mapas en las que se revisó cuáles fueron las variables que minimizaban el potencial de producción de los polígonos o cuales eran las que beneficiaban el crecimiento de los cultivos. En la Figura 7 se muestra el esquema general de la metodología diseñada.

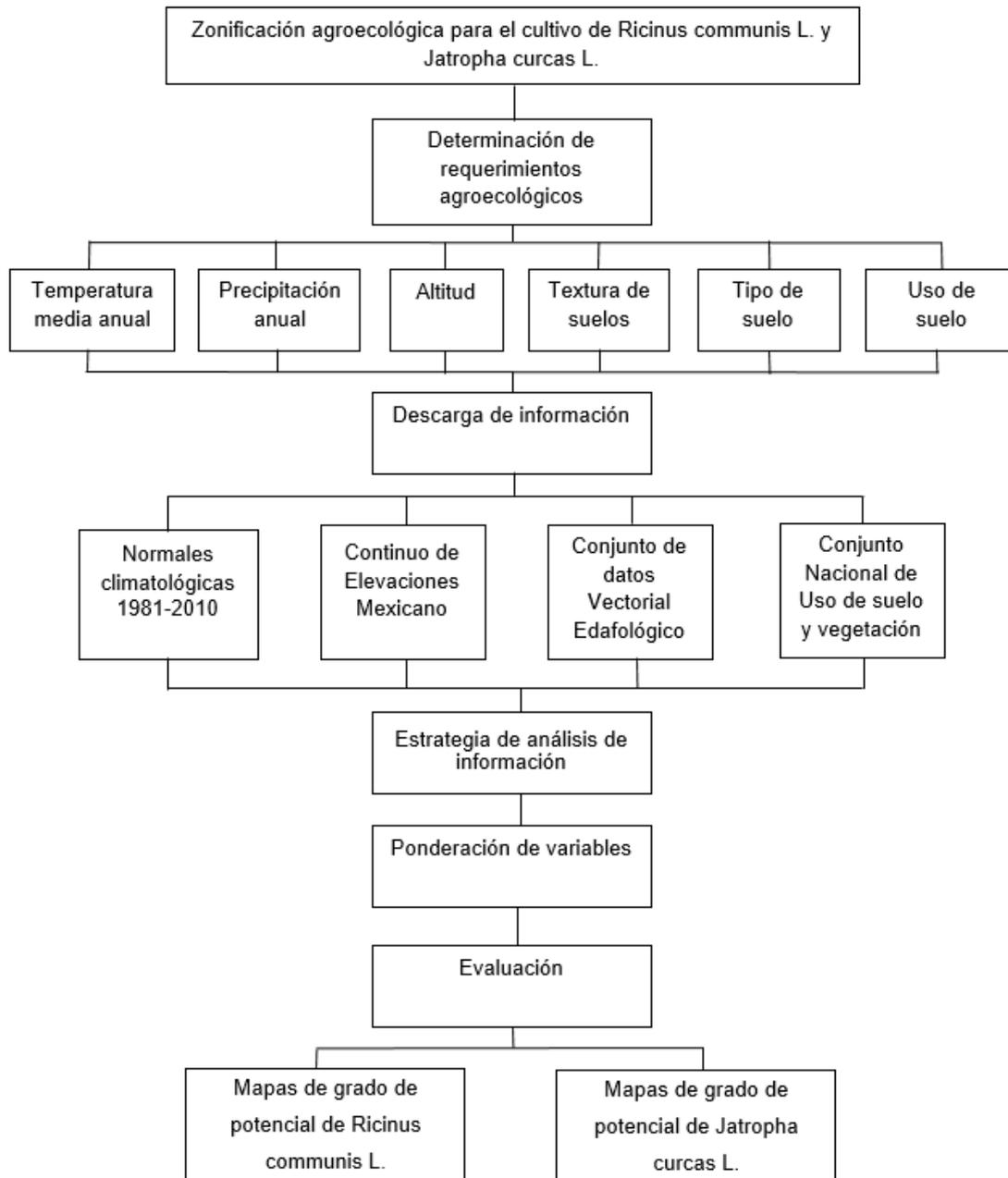


Figura 7. Metodología (Elaboración propia)

### 2.3. Requerimientos Agroecológicos

El conocimiento de los requerimientos agroecológicos de los cultivos es una pieza fundamental para lograr el desarrollo de sistemas de producción agrícola eficientes (Ruiz Corral et al., 2013). Las condiciones presentes en el entorno donde se plantea desarrollar los cultivos son fundamentales en la productividad del terreno, por esta razón, surge la necesidad de zonificar el área donde se pretende llevar a cabo la siembra de los cultivos haciendo uso de los análisis multicriterio.



La zonificación de cultivos permite identificar áreas con diferentes grados de aptitud agroecológica, de aquí surge la importancia de contar con una caracterización de los requerimientos agroecológicos de los cultivos (Ruiz Corral et al., 2013).

### 2.3.1 Búsqueda de guías técnicas

Antes de llevar a cabo un análisis multicriterio es necesario establecer las variables que intervienen en el desarrollo de la actividad por zonificar. Esta primera fase del proceso adquiere una gran importancia pues es aquí donde se debe considerar adecuadamente la totalidad de las variables que intervienen en el análisis; la inclusión o exclusión de alguna de ellas influye directamente en los resultados obtenidos.

Se ha demostrado que la temperatura, la precipitación y la topografía afectan tanto la selección del hábitat como la demografía de las especies vegetales (Davies et al., 2007); (Green, 2010). Por esta razón, las variables derivadas del clima y el suelo se utilizan para generar modelos de distribución potencial (Marini, Barbet-Massin, Lopes, & Jiguet, 2010); (Kreakie, Fan, & Keitt, 2012).

El INIFAP ha publicado una serie de documentos llamados guías técnicas, los cuales, de acuerdo con INIFAP (2002), son el resultado de investigaciones realizadas en los diferentes Campos Experimentales, que contienen información de aplicación sobre los cultivos y son consideradas obras de consulta para prestadores de servicios profesionales. Estas guías técnicas contienen la información necesaria para la identificación de las variables que intervienen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos de *Ricinus communis* L. y *Jatropha curcas* L.

La descarga de guías técnicas se realizó desde La Biblioteca digital de INIFAP (<http://biblioteca.inifap.gob.mx/portal/>) en la que se identificó que no todos los estados de la República Mexicana cuentan con guía técnica de producción para los cultivos seleccionados. Por esta razón, se efectuó una búsqueda de artículos publicados por diferentes instituciones que contaran con información equivalente a la que se encuentra en estas guías.



Como resultado de la búsqueda realizada, se obtuvieron seis documentos con información de los requerimientos agroecológicos para el cultivo de *Ricinus communis L.* y siete documentos para el cultivo de *Jatropha curcas L.*, los cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Guías técnicas y publicaciones especializadas sobre cultivos: *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

No.	Documento	Institución	Fecha de publicación
1	Guía técnica para la producción de higuierilla ( <i>Ricinus communis L.</i> ) en Chiapas	INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa.	Noviembre 2011
2	Guía técnica para la producción de higuierilla ( <i>Ricinus communis L.</i> ) en Guanajuato	INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Bajío.	Agosto 2012
3	Tecnología de producción de higuierilla en el estado de Hidalgo	INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Hidalgo.	Noviembre 2014
4	Guía para cultivar higuierilla ( <i>Ricinus communis L.</i> ) en Jalisco	INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.	Junio 2011
5	Guía para cultivar higuierilla ( <i>Ricinus communis L.</i> ) en Michoacán	INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Valle de Apatzingán.	Mayo 2011
6	Guía para cultivar higuierilla en condiciones de temporal, en los Valles Centrales de Oaxaca	INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca.	Diciembre 2013
7	Guía técnica para la producción de piñón mexicano ( <i>Jatropha curcas L.</i> ) en Chiapas	INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa.	Noviembre 2011
8	Guía técnica para la producción de piñón mexicano ( <i>Jatropha curcas L.</i> ) en Guanajuato	INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Bajío.	Agosto 2012b
9	Tecnología para la producción de <i>Jatropha</i> en el estado de Hidalgo	INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Pachuca.	Noviembre 2013
10	Guía para cultivar piñón mexicano ( <i>Jatropha curcas L.</i> ) en Jalisco	INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.	Noviembre 2011
11	Guía técnica para la producción de piñón mexicano ( <i>Jatropha curcas L.</i> ) en Michoacán	INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Valle de Apatzingán.	Julio 2011
12	Compendio de paquetes tecnológicos para el establecimiento de la cadena agroindustrial de <i>Jatropha curcas</i> en el noroeste de México	CODESIN, CIAD, INIFAP-Nayarit, IPN-CIIDIR, UAS, Fundación Produce Sinaloa.	2013
13	Zonificación edafoclimática para el cultivo de <i>Jatropha curcas L.</i> , en Tabasco, México	Instituto de Geografía, UNAM.	Febrero 2014



### 2.3.2. Identificación de requerimientos agroecológicos

Las guías técnicas publicadas por INIFAP contienen información sobre los requerimientos necesarios para la siembra de los cultivos; en ellas se presenta un apartado llamado “Requerimientos Agroecológicos” que establece las condiciones climáticas y edafológicas necesarias para el desarrollo de los cultivos, así como el potencial productivo que puede tener un cultivo con base en las condiciones ambientales presentes en la zona de siembra.

En las guías técnicas se señala que los requerimientos agroecológicos que intervienen en el desarrollo de los cultivos se manifiestan como seis variables (Tabla 3) derivadas de información correspondiente al clima y suelo.

Tabla 3. Requerimientos agroecológicos para el desarrollo de los cultivos (Elaboración propia)

No.	Variable
1	Temperatura media anual
2	Precipitación anual
3	Altitud
4	Textura de suelos
5	Uso de suelo
6	Tipo de suelo

Las condiciones ambientales de cada entidad federativa son muy variables. Por esta razón, los requerimientos agroecológicos necesarios para la producción de las especies cambian dependiendo del estado donde se les quiera cultivar, pues las especies han logrado adaptarse a las condiciones específicas de cada región.

### 2.3.3 Identificación de potencial de producción

Con el fin de conocer el potencial de producción que puede tener cada especie se construyó la Figura 8 con los intervalos de valores para cada variable agroecológica, pertenecientes al rango de potencial de producción, clasificado en: bajo, medio y alto, derivados de las condiciones de cada estado. Para la elaboración de esta figura se tomó como referencia la Tabla de Requerimientos Agroecológicos que presenta el INIFAP en algunas de las guías técnicas.

Para lograr que la Tabla con las clasificaciones de potencial de producción representase de una manera esquemática las potencialidades, se le agregó una campana de Gauss en la parte superior, en donde se destaca que los extremos

de la campana corresponden con el potencial bajo, las porciones medias con el potencial medio y el centro de la campana representa el potencial alto.

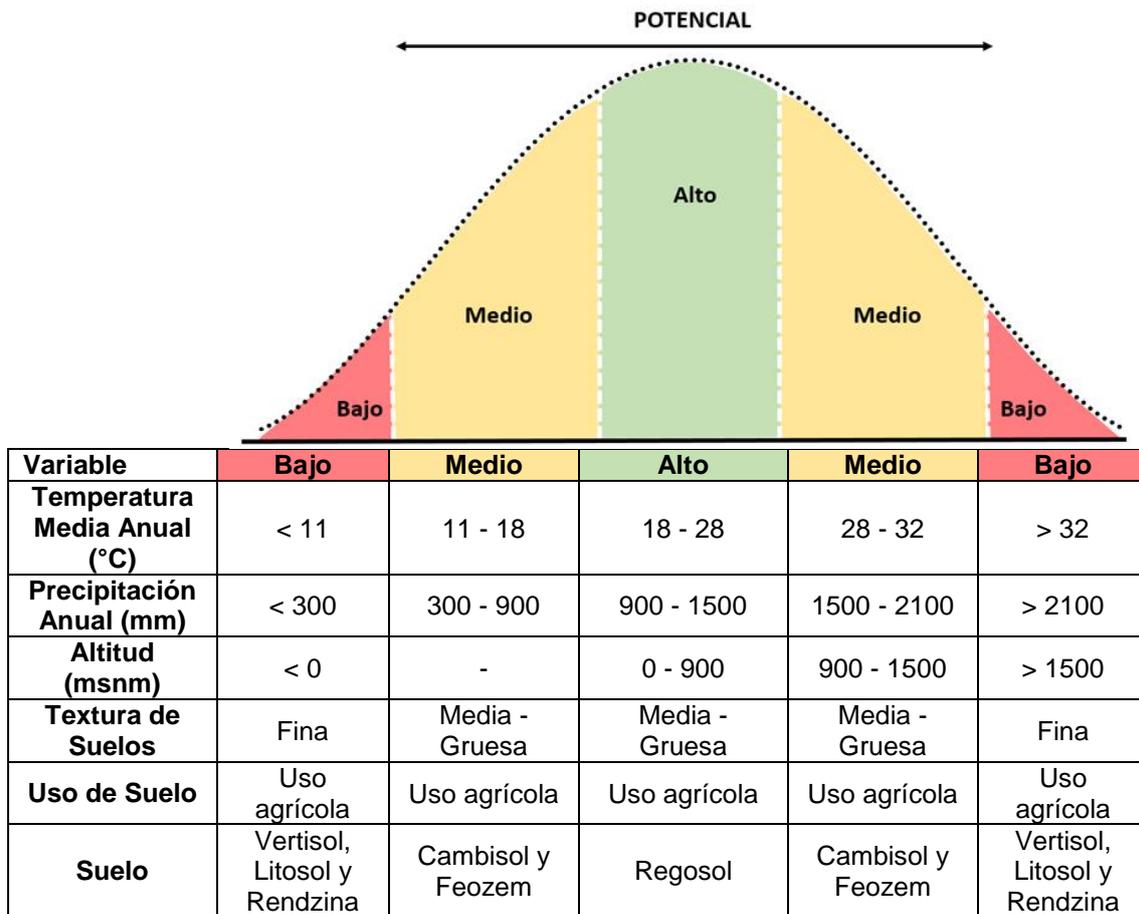


Figura 8. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas L.* en el estado de Chiapas (Zamarripa Colmenero et al., 2011)

### 2.3.4. Estrategia de análisis de información

Los criterios de selección son uno de los aspectos fundamentales en el análisis multicriterio, “un criterio es cierta base para la toma de una decisión, esta base puede ser medida y evaluada. Es la evidencia sobre la cual se basa una decisión” (Eastman et al., 1993). Esta definición plantea que el criterio es la base para la toma de decisiones. Por esta razón, la forma en que puede ser caracterizado es un punto importante en el análisis pues de ello depende gran parte del resultado final.

El análisis de la información se realizó a través de una matriz de evaluación (Voogd, 1982). Ésta matriz es la mejor forma de organizar la información que se tomará en cuenta en el análisis porque representa la relación entre los criterios (variables) y las alternativas (rangos de potencial) en un análisis multicriterio

(Figura 9), donde los criterios ocupan la columna principal y las alternativas se agrupan en la fila principal.

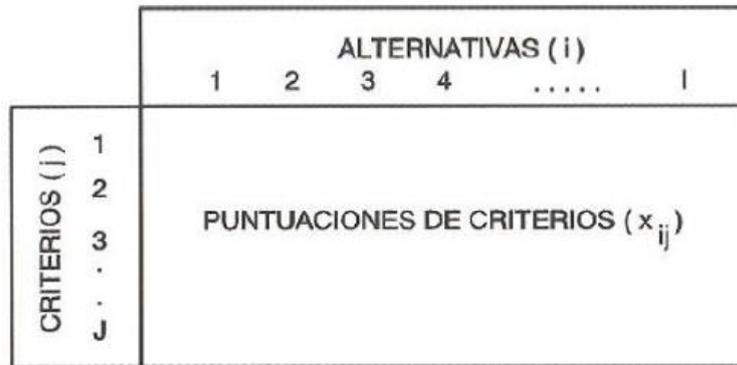


Figura 9. Matriz de evaluación (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005)

Para adaptar las variables y los rangos de potencial de producción a la matriz de evaluación, se diseñó una tabla como la mostrada en la Tabla 4. En ella, las variables se asignaron a la primera columna y los potenciales de producción a la primera fila. Los datos correspondientes a cada rango de potencial se asignaron a las columnas con el mismo nombre “datos” y finalmente los valores de ponderación de cada dato se asignaron en las columnas “P”.

Tabla 4. Tabla de ponderaciones (Elaboración propia)

Variable	Bajo		Medio		Alto		Medio		Bajo	
	Dato	P	Dato	P	Dato	P	Dato	P	Dato	P
Temperatura Media Anual (°C)										
Precipitación Anual (mm)										
Altitud (msnm)										
Textura de Suelos										
Uso de suelo										
Suelo										

Los valores internos de la matriz corresponden a los datos pertenecientes a las diferentes variables y los valores que se asignarán a cada uno de ellos. Aquí es donde el análisis realizado considera la evaluación particular de cada una de las variables que intervienen, es decir, aparece la asignación de valores con el fin de modificar los criterios, determinando un medio matemático para comparar alternativas (Eastman et al., 1993).

En diversos estudios aplicados a la ordenación del territorio, la evaluación de las variables establece diferentes pesos a las variables que intervienen en los análisis, debido a que se considera que estas no afectan de la misma manera la



actividad por zonificar. En este caso, se consideró que todas las variables tienen la misma influencia en el crecimiento de las dos especies seleccionadas, por ello no se establecieron jerarquías en los requerimientos agroecológicos.

La evaluación de las variables consistió en la asignación de valores a los datos pertenecientes a cada variable a través de una ponderación, utilizando una escala de valores de 0 a 10. La ponderación indica que el valor de 0 corresponde al potencial de producción bajo y el valor de 10 representa un potencial de producción alto, por lo que el potencial de producción medio adquiere los valores que van del 0.1 al 9.9.

Cada variable define sus datos, esto fue tomado en cuenta al momento de realizar la asignación de valores de ponderación pues la ponderación de los datos continuos difiere de la ponderación de los datos discretos. La razón que modifica la forma de ponderación se debe a que los datos continuos representan fenómenos que varían gradualmente a medida que se mueven por una superficie a partir de un punto de origen y pueden obtener valores de ponderación graduales, mientras que los datos discretos definen con precisión dónde comienza y termina un objeto por tanto estos datos adquieren valores de restricción o de aceptación.

Como se indica en la Tabla 5, tres de las variables utilizadas en este análisis están conformadas por datos continuos y tres por datos discretos.

Tabla 5. Clasificación de las variables agroecológicas (Elaboración propia)

No.	Variable	Tipo de dato
1	Temperatura media anual	Continuo
2	Precipitación anual	Continuo
3	Altitud	Continuo
4	Textura de suelo	Discreto
5	Uso de suelo	Discreto
6	Suelo	Discreto

Los datos discretos sólo pueden adoptar números enteros (INEGI, 2014c). Por esta razón las variables fueron ponderadas con asignaciones de valores de 0 para representar los datos pertenecientes al rango de potencial bajo, 5 para identificar los datos dentro del rango de potencial medio, y 10 para los datos ubicados dentro del rango de potencial alto, y nuevamente se volvieron a asignar las ponderaciones pero de manera descendente, es decir, se colocó la columna con potencial medio y al final la columna de potencial bajo (Tabla 6).

Tabla 6. Ejemplo de ponderación de datos discretos (Elaboración propia)

Tipo de suelo	Bajo		Medio		Alto		Medio		Bajo	
	Dato	P	Dato	P	Dato	P	Dato	P	Dato	P
Vertisol		0	Cambisol	5	Regosol	10	Cambisol	5	Vertisol	0
Litosol		0	Feozem	5			Feozem	5	Litosol	0
Rendzina		0							Rendzina	0

Los datos discretos restringen la disponibilidad de las alternativas en función de la actividad a zonificar, generándose únicamente valores aptos y no aptos para la actividad (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005). Generalmente, las capas pertenecientes a datos discretos se convierten en capas binarias al momento de realizar la ponderación de sus datos, sin embargo, como se mencionó anteriormente la clasificación del potencial de producción requiere de la determinación de los tres valores de ponderación.

Los datos continuos fueron ponderados considerando la asignación de un valor de 0 a todos los datos correspondientes al rango de potencial bajo. Para el potencial medio se asignó el valor más cercano a 0 al dato más cercano al potencial bajo y el valor más próximo a 10 al dato más cercano al potencial alto, en el potencial alto se colocaron todos los datos que caen dentro del rango y se asignó un valor de 10. De igual manera, como los datos discretos, se volvió a realizar la ponderación de forma descendente, ya que nuevamente se agregarán las columnas del rango de potencial medio y por último la columna de potencial bajo (Figura 10).

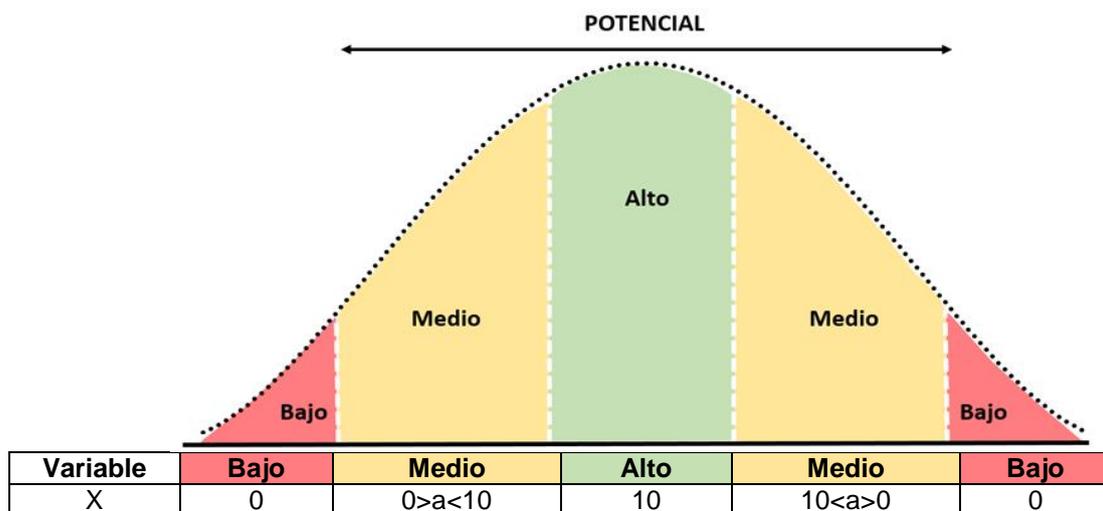


Figura 10. Rango de ponderaciones (Elaboración propia)

Los datos continuos realzan o reducen la capacidad de una alternativa para la actividad a zonificar haciendo que puedan ser medidos en una escala continua (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2005). Para lograr el mejor ajuste de los



valores en los rangos de potencial medio se consideró una división de la escala de ponderación (10) entre el número de datos correspondientes al rango medio y un dato más, esto con la finalidad de asegurar que al momento de realizar la división el valor de 10 automáticamente sea asignado al dato más alto, ver Ecuación 1; esto para asignar valores graduales iguales a todos los datos.

$$\text{valor de ponderación} = 10 / \text{no. de datos} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\text{Datos} = 15, 16, 17, 18, 19, 20$$

$$6 \text{ datos} + 1 = 7 \text{ datos}$$

Sustituyendo:

$$\text{valor de ponderación} = \frac{10}{7} = 1.428 \approx 1.43$$

El ejemplo presentado en Tabla 7 muestra como el valor de 0 se asignó al rango de potencial bajo, el 10 al rango alto y los valores intermedios se distribuyeron en los datos del rango medio.

Tabla 7. Ejemplo de ponderación de datos continuos (Elaboración propia)

	Bajo		Medio		Alto		Medio		Bajo	
	Dato	P	Dato	P	Dato	P	Dato	P	Dato	P
Temperatura Media Anual (°C)	13	0	15	1.43	21	10	24	8	28	0
	14	0	16	2.86	22	10	25	6	29	0
			17	4.29	23	10	26	4		
			18	5.72			27	2		
			19	7.15						
			20	8.58						

La Tabla 8 hace referencia a la estructura completa de una Tabla de ponderaciones en la que ya se identificaron los datos pertenecientes a cada variable y se asignó la ponderación correspondiente a cada tipo de dato.

Tabla 8. Ejemplo de tabla de ponderaciones (Elaboración propia)

Variable	Bajo		Medio		Alto		Medio		Bajo	
Temperatura Media Anual (°C)	Temp1	0	Temp6	1	Temp15	10	Temp20	8.58	Temp23	0
	Temp2	0	Temp7	2	Temp16	10	Temp21	7.15	Temp24	0
	Temp3	0	Temp8	3	Temp17	10	Temp22	5.72	Temp25	0
	Temp4	0	Temp9	4	Temp18	10	Temp20	4.29		
	Temp5	0	Temp10	5	Temp19	10	Temp21	2.86		
			Temp11	6			Temp22	1.43		
			Temp12	7						
			Temp13	8						
Precipitación Anual (mm)	Preci1	0	Preci4	2	Preci8	10	Preci12	8	Preci16	0
	Preci2	0	Preci5	4	Preci9	10	Preci13	6	Preci17	0
	Preci3	0	Preci6	6	Preci10	10	Preci14	4		
			Preci7	8	Preci11	10	Preci15	2		



Variable	Bajo		Medio		Alto		Medio		Bajo	
Altitud (msnm)	Altitud1	0	Altitud3	2.5	Altitud6	10	Altitud10	8	Altitud14	0
	Altitud2	0	Altitud4	5	Altitud7	10	Altitud11	6	Altitud15	0
		0	Altitud5	7.5	Altitud8	10	Altitud12	4		
					Altitud9	10	Altitud13	2		
Textura de Suelos	Text1	0	Text2	5	Text4	10	Text2	5	Text1	0
			Tex3	5			Tex3	5		
Uso de suelo	Uso1	0	Uso4	1.25	Uso11	10	Uso4	8.75	Uso1	0
	Uso2	0	Uso5	2.5			Uso5	7.5	Uso2	0
	Uso3	0	Uso6	3.75			Uso6	6.25	Uso3	0
			Uso7	5			Uso7	5		
			Uso8	6.25			Uso8	3.75		
			Uso9	7.5			Uso9	2.5		
			Uso10	8.75			Uso10	1.25		
Suelo	Suelo1	0	Suelo5	5	Suelo10	10	Suelo5	5	Suelo1	0
	Suelo2	0	Suelo6	5	Suelo11	10	Suelo6	5	Suelo2	0
	Suelo3	0	Suelo7	5	Suelo12	10	Suelo7	5	Suelo3	0
	Suelo4	0	Suelo8	5	Suelo13	10	Suelo8	5	Suelo4	0
			Suelo9	5	Suelo14	10	Suelo9	5		

## 2.4. Capas de información

La identificación de los criterios involucrados en el cultivo de las especies seleccionadas da lugar a la determinación de capas de información que representan la variable correspondiente a cada criterio. Conociendo cada capa de información requerida en el análisis se procedió a la búsqueda y descarga de información.

La descarga de información es un paso importante en el proceso de la elaboración del análisis multicriterio, porque proporciona la información necesaria para realizar el análisis. Se debe considerar en la descarga de información que las fuentes de información sean confiables u oficiales.

Dentro del proceso de descarga de información es importante considerar una serie de factores de los cuales depende el buen resultado del análisis (Tomlinson, 2008):

- Área de cobertura. Se debe de contar con información que cubra toda el área de estudio, esto evita la presencia de huecos de información.
- Temporalidad. La información debe estar lo más actualizada posible y referida al mismo periodo de tiempo. Sin embargo, esto casi nunca es posible pues las fuentes de información utilizadas comúnmente son actualizadas cada cierto período de tiempo (Dorado Martín, García García, & Nicolás Zabala, 2015) por lo que es casi imposible contar con



información del momento. No obstante, se debe trabajar con la información más actualizada al momento de realizar cualquier tipo de análisis.

- Escala. Es un factor determinante en la exactitud del análisis pues el grado de detalle en el que se maneja la información debe corresponder a una escala que permita conseguir buenos resultados. Tomlinson (2008) sugiere que es importante considerar en el diseño del análisis la escala o las escalas que se van a utilizar pues si la escala es muy grande el número de datos podrían sobrecargar el procesamiento computacional haciendo que este se vuelva muy lento, en cambio si la escala es muy pequeña, los datos pueden no tener los detalles necesarios y no proporcionar análisis específicos.
- Resolución. Se define como el tamaño de los elementos más pequeños que integran el mapa y está relacionada directamente con la escala, los datos deben tener la resolución mínima necesaria para crear productos informativos (Tomlinson, 2008). Cuánto más pequeño sea el tamaño del pixel más información se tiene, y del mismo modo cuanto más grande sea menos información se puede obtener (Peña Llopis, 2009).

Las capas descargadas con información geográfica representan un tipo particular de entidades y son un nivel de información que muestra una determinada parte de la realidad, es decir, la suma de ciertas capas de información representan en conjunto la realidad presente.

La información recopilada se descargó de las diferentes plataformas digitales de instituciones a nivel nacional como lo son INEGI y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

La descarga de información consiste en una búsqueda meticulosa en diversas fuentes de información puesto que es importante obtener la información más acorde a los requerimientos necesarios para el estudio que se pretenda realizar. La Tabla 9 muestra los datos recopilados de las diferentes fuentes consultadas los cuales son considerados insumos necesarios para realizar el análisis multicriterio.



Tabla 9. Nombre y características de capas de información (Elaboración propia)

Capa	Nombre	Formato Original	Escala/ Pixel	Fuente	Sistema de coordenadas
Precipitación	Normal climatológica 1981-2010	XML	-	SMN, 1981-2010	-
Temperatura	Normal climatológica 1981-2010	XML	-	SMN, 1981-2010	-
CEM_V3	Continuo de elevaciones mexicano 3.0	Bil	15 m	INEGI, 2013	ITRF_1992
usv250S5_unio n	Uso de suelo y vegetación Serie V	Shape	1:250,000	INEGI, 2013	Cónica Conforme de Lambert D_ITRF_1992
vec_edaf_250k_ ser_11_CN	Conjunto de datos Vectorial Edafológico Serie II	Shape	1:250,000	INEGI, 2007	Cónica Conforme de Lambert Datum ITRF92

#### 2.4.1. Investigación y selección de estaciones climáticas

Las variables de precipitación anual y temperatura media anual corresponden a información derivada del clima. Es importante mencionar que esta información no fue descargada en formato vectorial debido a que la información disponible en este formato presentada por INEGI se encuentra a escala 1:1,000,000. La escala en la que se encuentra representada esta capa es una escala pequeña, la cual indica que la capa representa una porción grande de terreno (INEGI, 2006) esto provoca que la precisión de la información no sea la adecuada para este análisis, por consiguiente, se decidió no hacer uso de esta capa.

Se realizó una nueva búsqueda de información para obtener datos con una escala acorde a los requerimientos del análisis. El resultado a esta búsqueda fueron las estaciones climatológicas del SMN (2010) (Figura 11) que es el organismo encargado de registrar y proporcionar datos sobre el estado del tiempo que prevalece en México.



### Información Climatológica por Estado

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS													
ESTADO DE: HIDALGO	PERIODO: 1981-2010												
ESTACION: 00013060 ACTOPAN	LATITUD: 20°16'19" N.			LONGITUD: 098°56'30" W.				ALTURA: 1,955.0 MSNM.					
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA NORMAL	22.2	24.2	26.8	28.3	28.7	26.6	24.9	25.2	24.1	23.6	23.0	22.4	25.0
MAXIMA MENSUAL	25.0	28.2	30.1	31.3	36.9	32.2	28.7	30.3	27.7	26.7	27.2	26.3	
AÑO DE MAXIMA	1994	1993	2000	1984	1998	1998	1998	1998	1987	1993	1993	1994	
MAXIMA DIARIA	32.0	32.5	37.0	39.0	42.0	37.0	34.0	37.0	33.0	33.0	31.0	32.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	06/1999	19/1988	06/1999	02/1982	04/1998	01/1998	06/1998	06/1998	02/1998	15/1981	08/1989	19/1998	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	30	
TEMPERATURA MEDIA NORMAL	12.4	13.8	16.0	18.1	19.1	18.6	17.6	17.6	17.2	15.7	13.9	12.7	16.1
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	30	
TEMPERATURA MINIMA NORMAL	2.5	3.5	5.3	7.9	9.5	10.7	10.2	10.0	10.3	7.8	4.8	3.0	7.1
MINIMA MENSUAL	-0.6	-0.1	2.6	4.8	3.9	5.6	5.3	5.4	7.9	3.5	1.2	-1.7	
AÑO DE MINIMA	2006	2009	2000	2009	1998	2007	2007	2007	1999	2010	2010	2010	
MINIMA DIARIA	-7.0	-6.0	-4.0	-3.0	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	-3.0	-5.0	-8.0	
FECHA MINIMA DIARIA	24/1999	24/2005	06/1987	08/2009	14/2005	01/1998	13/2007	18/2000	19/1999	25/1999	30/1999	21/2003	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	30	
PRECIPITACION NORMAL	9.5	8.7	9.2	21.2	38.6	58.1	65.0	51.9	61.5	31.6	8.7	3.9	367.9
MAXIMA MENSUAL	57.3	67.0	41.5	76.6	135.6	163.0	166.0	175.2	203.9	131.1	56.4	19.4	
AÑO DE MAXIMA	1992	2010	1997	1997	1981	1998	2007	1999	1999	1994	1992	1995	
MAXIMA DIARIA	27.5	19.0	28.0	26.7	30.0	60.0	77.0	100.0	117.0	77.0	25.0	15.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	13/2002	03/2010	29/2004	28/1988	22/1997	09/2000	04/2007	22/2007	30/1999	06/1994	06/1992	15/2004	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	30	

Figura 11. Ficha de información de las normales 1981-2010 (SMN, 2010)

Para realizar la selección del periodo de tiempo adecuado de los datos de las estaciones climatológicas se revisó la Guía de Prácticas Climatológicas (OMM, 2011) elaborada por la Organización Meteorológica Mundial en la que se menciona que en los estudios en donde sea necesario hacer referencias del clima en un lugar dado al comparar observaciones o para predecir las condiciones futuras se debe considerar un período consecutivo de 30 años, nombrado normal climática.

Los datos de las normales climatológicas, descargadas del SMN fueron las normales para el periodo de tiempo de 1981 a 2010 por ser el periodo de tiempo con información más completa publicado por el SMN. Las normales se encuentran publicadas en una serie de fichas las cuales contienen datos de precipitación, temperatura, evaporación, niebla, granizo, entre otras. De estas fichas sólo se extrajeron los datos de temperatura media normal y precipitación normal que son los datos de interés en el análisis.

Con los datos descargados se generó una base de datos en Excel con la información más relevante de las estaciones. Un ejemplo se muestra en la Tabla 10. En ella se observa la información de la base de datos y la estructura que presenta.



Tabla 10. Base de datos de estaciones climatológicas de Tabasco (SMN, 2010)

ID	Clave	Estación	Municipio	Temperatura media anual	Precipitación media	Latitud	Longitud
1	TAB-00	Aquiles Serdán	Mucuspana	28.7	2233.5	17.804166	-92.4913888
2	TAB-01	Balancán de Domínguez (DGE)	Balancan	28.0	1686.5	17.805277	-91.5422222
3	TAB-02	Boca del cerro	Tenosique	26.7	2297.6	17.449444	-91.4913888
4	TAB-03	Campo experimental Puyacatengo	Teapa	25.7	3816	17.527222	-92.9319444
5	TAB-04	Cárdenas	Cárdenas	26.5	2052.6	18.001111	-93.3727777
6	TAB-05	Centro exp. w-75	Cárdenas	26.8	2050.7	18.001388	-93.6269444
7	TAB-06	Dos patrias	Tacotalpa	25.9	2823	17.613333	-92.7963888
8	TAB-07	El Pípila	Balancán	26.9	1682.6	17.968333	-91.6100000
9	TAB-08	El Triunfo	Balancán	27.2	1474.6	17.936666	-91.1694444
10	TAB-09	Emiliano Zapata	Emiliano Zapata	27.5	1828.9	17.741944	-91.7625000
11	TAB-10	Francisco Rueda	Huamanguillo	26.8	2317.6	17.836666 6667	-93.9488888
12	TAB-11	González	Centro	26.1	1960.4	17.973888	-93.7794444
13	TAB-12	Jalpa de Méndez	Jalpa de Méndez	26.8	1960.9	18.171666	-93.0338888
14	TAB-13	Jonuta	Jonuta	27.7	1888.2	18.091944	-92.1355555
15	TAB-14	La huasteca	Teapa	27.1	2443.3	17.520000	-92.9319444
16	TAB-15	Macultepec	Centro	26.9	2492.7	18.143611	-92.8641666
17	TAB-16	Macuspana (DGE)	Macuspana	27.4	2335.7	17.756666	-92.6100000
18	TAB-17	Macuspana (SMN)	Macuspana	27.5	2249.7	17.750000	-92.6100000
19	TAB-18	Nacajuca	Nacajuca	26.8	1776.5	18.165833	-93.0169444
20	TAB-19	Oxolotán (CFE)	Tacotalpa	26.6	3188.2	17.388888	-92.7455555
21	TAB-20	Paraíso	Paraíso	26.6	1984.4	18.395555	-93.2033333
22	TAB-21	Playas del rosario	Centro	26.7	2160.5	17.854444	-92.9319444
23	TAB-22	Poblado c-09	Cárdenas	27.7	1758.2	18.174722	-93.4913888
24	TAB-23	Poblado c-16	Cárdenas	27.4	2271.0	18.111111	-93.4913888
25	TAB-24	Poblado c-32	Huamanguillo	26.8	1555.1	17.967222	-93.5083333
26	TAB-25	Pueblo nuevo	Centro	26.8	2060.2	17.854166	-93.8811111
27	TAB-26	Samaria	Cunduacán	26.9	1964.7	17.997500	-93.2711111
28	TAB-27	San pedro	Balancán	27.2	1635.9	17.791666	-91.1525000
29	TAB-28	Tapijulapa	Tacotalpa	26.7	3527.2	17.461111	-92.7794444
30	TAB-29	Teapa (DGE)	Teapa	26.1	3242.6	17.548888	-92.9658333
31	TAB-30	Tenosique (SMN)	Tenosique	27.6	2131.0	17.472500	-91.4236111
32	TAB-31	Tequila	Jalapa	27.8	2117.0	17.720000	-92.8133333
33	TAB-32	Tres brazos	Centla	26.9	1565.6	18.384166	-92.6100000
34	TAB-33	Tulipán	Cunduacán	26.1	1894.9	18.108333	-93.3388888
35	TAB-34	Vicente guerrero	Centla	25.4	1516.6	18.390833	-92.8980555
36	TAB-35	Villahermosa (DGE)	Centro	27.3	1972.4	17.996666	-92.9319444

Debido a que la información recopilada de las bases de datos de las estaciones climatológicas no está en formato vectorial, se procedió a aplicar un proceso (que se detallará más adelante) en el SIG para obtener las capas de información referentes a precipitación y temperatura con los valores interpolados entre estaciones (Figura 12).

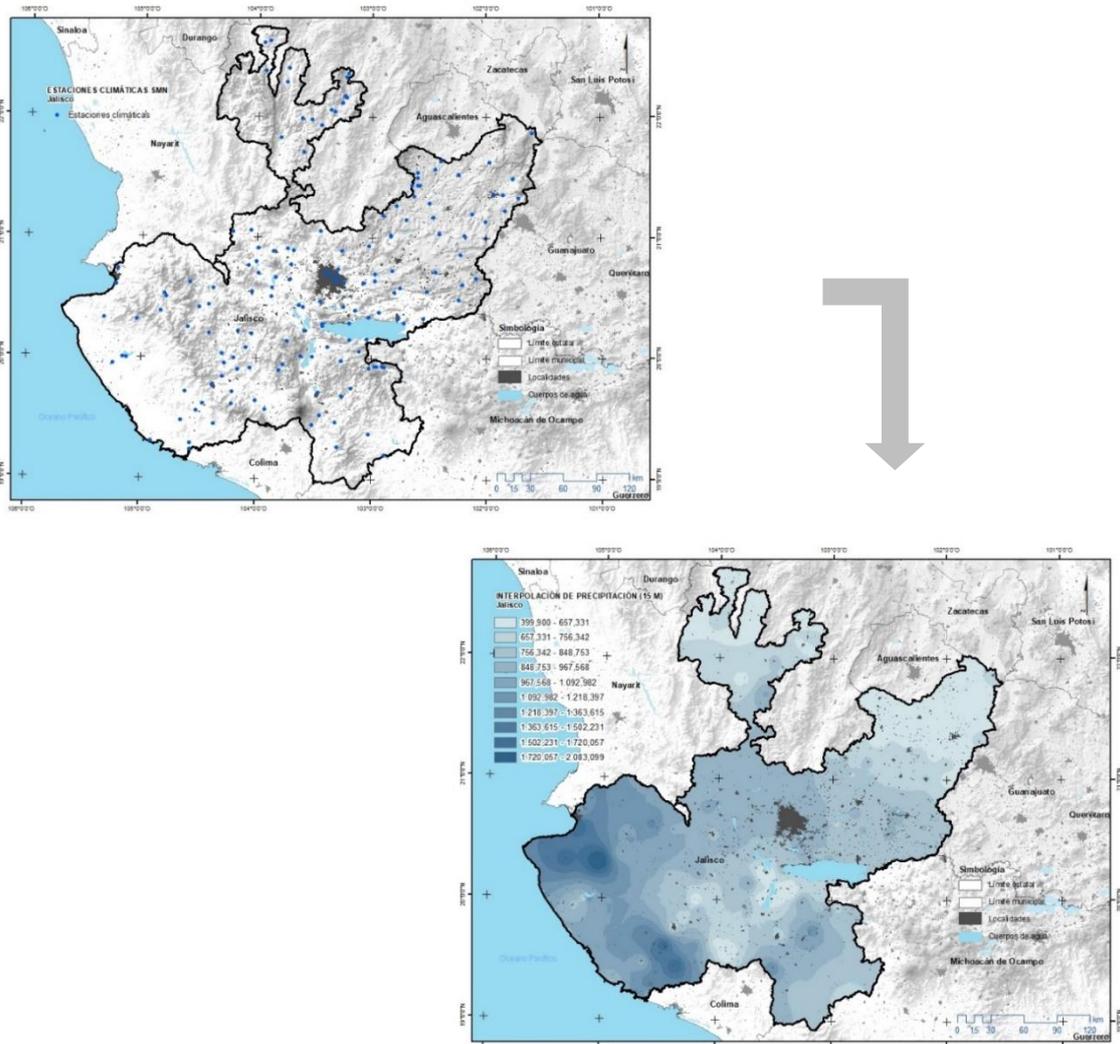


Figura 12. Puntos de ubicación de estaciones climáticas e interpolación de datos (Elaboración propia)

#### 2.4.2. Obtención del Modelo Digital de Elevación

La variable altitud fue obtenida del Continuo de Elevaciones Mexicano CEM (INEGI, 2013a) que es un modelo digital de elevación elaborado por INEGI que representa de manera visual y matemática los valores de la altura con respecto al nivel medio del mar, permitiendo caracterizar las formas del relieve y sus elementos (Figura 13).



Figura 13. CEM versión 3.0 (INEGI, 2013a)

El Continuo de Elevaciones Mexicano utilizado fue la versión 3.0, en una resolución de 15 m para todo el país. Esta selección se debió a que el tamaño de pixel en el que se presenta la información es el óptimo para la extensión de las áreas por zonificar. Los datos fueron generados por el INEGI en el año 2012 y puestos a disposición de los usuarios en el año 2013 (Tabla 11).

Tabla 11. Características del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (INEGI, 2013a)

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Año de publicación	2013
Resolución	15 m x 15 m
Unidades	Metros
Datos de referencia geodésica	El datum corresponde a ITRF92 época 1988.0, elipsoide GRS80, coordenadas geográficas.
Cobertura geográfica	Territorio continental de los Estados Unidos Mexicanos
Formato de distribución	Forma Ráster

### 2.4.3. Obtención de capa uso de suelo y vegetación

La variable de uso de suelo se obtuvo de la capa de Uso de Suelo y Vegetación producida por INEGI (2013b) dado que esta capa muestra la distribución de la vegetación natural e inducida, representa los diferentes tipos de vegetación existentes en México y muestra los diferentes usos agropecuarios que tiene la tierra. INEGI (2013b) menciona que esta capa es útil para conocer el estado actual en que se encuentran los diferentes tipos de vegetación y proporciona información para la enseñanza e investigación sobre recursos naturales (Figura 14).

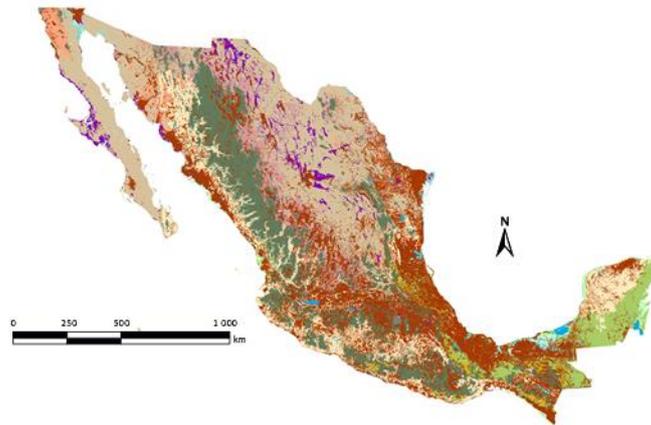


Figura 14. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (INEGI, 2013b)

La información descargada corresponde a los datos vectoriales escala 1:250,000 de la Serie V (Capa Unión). La selección de esta capa se realizó considerando que es la información más reciente publicada por el Instituto además de que está representada en una escala acorde a los requerimientos del análisis (Tabla 12).

Tabla 12. Formato de la información del Conjunto Nacional de Uso de suelo y vegetación (INEGI, 2013b)

Escala	1:250,000
Resolución	1 m
Cubrimiento	Nacional
Sistema Geodésico de Referencia	ITRF 92
Unidades	Metros
Tipo de datos	Vectoriales
Formato de transferencia	Shapefile

#### 2.4.4. Obtención la capa edafológica

Las variables tipo y textura de suelo se obtuvieron del conjunto de datos vectoriales de tipo edafológico generado por INEGI (2007) dado que esta capa es apropiada para aplicarse en el desarrollo de proyectos de cobertura regional (INEGI, 2007). La capa contiene información de los diferentes grupos de suelo existentes en el territorio nacional además de proporcionar información respecto a las características morfológicas, físicas y químicas que los componen. La información fue obtenida durante el periodo de tiempo 2002-2006 en donde se utilizó la clasificación de los suelos de acuerdo al sistema FAO/UNESCO 1968 (INEGI, 2004) adaptado por la Dirección General de Geografía para las condiciones ambientales de México (Figura 15).



Figura 15. Continuo Nacional de Unidades Edafológicas Serie II (INEGI, 2007)

La capa edafológica descargada está a escala 1: 250,000, pertenece a la Serie II (Continuo Nacional), es la capa de datos edafológicos más reciente publicada por el INEGI.

#### 2.4.5. Homogeneización geográfica de los datos

Los datos geográficos requieren estar representados en un sistema de coordenadas geográficas y tener seleccionado un tipo de proyección que transforme la superficie tridimensional de la tierra en una superficie plana. Estas son las características necesarias para lograr la correcta localización de diversos puntos en la superficie de la tierra (Moreno Jiménez et al., 2008).

La asignación de un mismo sistema de proyección para todas las capas de información da como resultado que la representación y la localización de los lugares en la superficie terrestre sean coincidentes.

La información descargada de las diferentes plataformas web presenta diferentes sistemas de coordenadas al que están referidas. Las diferencias son principalmente de nomenclatura debido a que los nombres de los datos asignados por INEGI difieren en la clasificación de los diferentes sistemas coordenados. Por esta razón, la homogeneización cartográfica consistió en la selección de un mismo sistema de coordenadas para todas las capas de información descargadas además de las capas elaboradas con las características del sistema de proyección seleccionado.



En Figura 16 se observa la ventana emergente que aparece en ArcMap cuando existe algún conflicto entre los sistemas de coordenadas de las capas que se desean agregar al marco de datos.

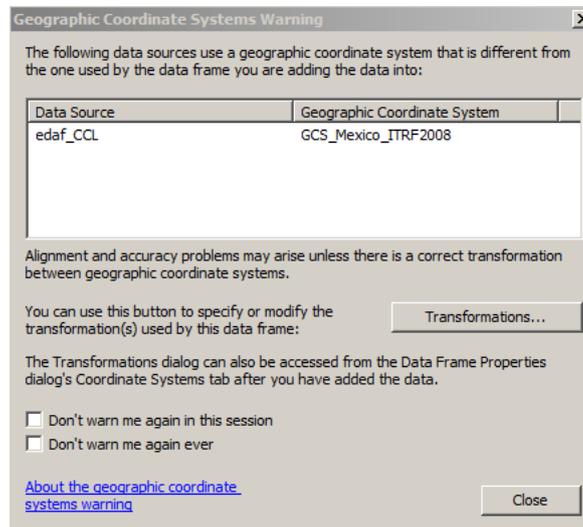


Figura 16. Ejemplo de ventana emergente al trabajar con capas con diferente sistema de coordenadas

A continuación, se muestran las características del sistema de proyección al cuál se trasladaron todos los datos geográficos:

### **Proyección Cartográfica:**

Proyección: Cónica Conforme de Lambert

Falso Este: 2500000.0

Falso Norte: 0.0

Meridiano Central: -102.0

Paralelo Estándar 1: 17.5

Paralelo Estándar 2: 29.5

Latitud de origen: 12.0

Unidad Lineal: Metro (1.0)

### **Sistema de Coordenadas Geográficas:**

GCS\_International Terrestrial Reference Frame 2008

Unidad angular: Grados (0.0174532925199433)

Meridiano Central: Greenwich (0.0)

Datum: ITRF2008, época 2010

Esferoide: GRS\_1980

Semieje Mayor: 6378137.0



Semieje Menor: 6356752.314140356

Inverso del factor de aplanamiento: 298.257222101

La homogeneización de datos es vital en todos los procesamientos llevados a cabo en los SIG puesto que la información geográfica referenciada debe manejarse en sólo un sistema de proyección para evitar posibles problemas de alineamiento y precisión que pudiesen afectar la calidad de los resultados.

## 2.5. Tratamiento de datos

Las capas representan la ubicación geométrica (información geográficamente referenciada) y los datos de las entidades geográficas almacenadas en tablas de atributos. Estas tablas almacenan todas las propiedades que integran el tema o capa geográfica (Arroyo González, 2015).

Toda la información geográfica descargada debe aparecer organizada en capas. Esta estructura admite acceder a los datos espaciales para visualizarlos, analizarlos y editarlos (Moreno Jiménez et al., 2008), además de que las capas de información se utilizan para generar nuevas capas, aplicando operaciones matemáticas entre ellas y se permite la edición de las ya existentes.

Con el fin de lograr que las capas de información adquirieran las características necesarias para realizar el análisis multicriterio, se realizaron algunas modificaciones en las tablas de atributos con el fin de lograr que cada capa estuviera ajustada a los valores asignados por la ponderación de la información presente en cada estado, la edición consistió en la eliminación de columnas de información innecesarias en el procesamiento del análisis y la inserción de una nueva columna con el valor de ponderación asignado. Además se realizó una delimitación del área de estudio en cada una de las capas de información descargadas con fin de evitar sobrecargar el procesamiento computacional.

### 2.5.1. Ponderación de variables

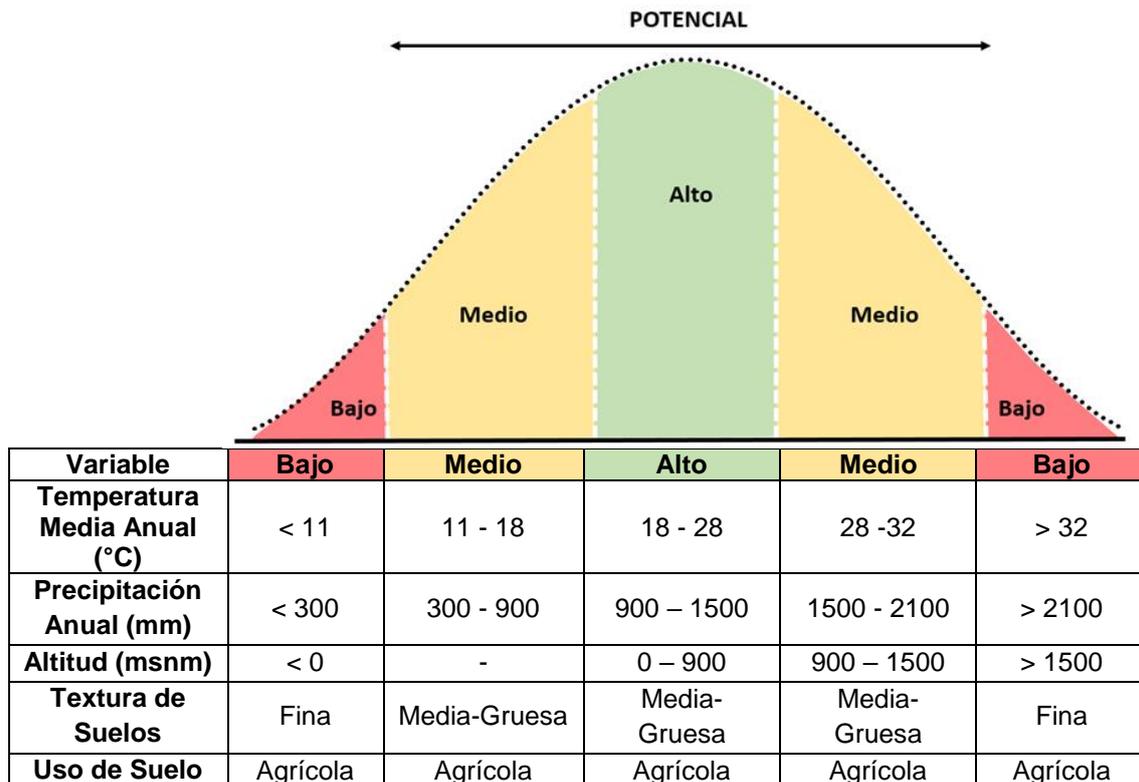
Como se mencionó en la Sección 2.3.4 Estrategia de análisis de información, la mejor organización que representa la relación entre los criterios

y las alternativas en un análisis multicriterio se concentra en una matriz. Por esta razón, la información descargada se colocó en la Tabla 4. Tabla de ponderaciones, en la que se insertaran los valores de las ponderaciones asignadas a los datos de la información de las variables de los requerimientos agroecológicos.

La Tabla de Ponderaciones tiene la información correspondiente a cada estado y es a partir de esta tabla que se realizaron las ediciones de la capa de información para realizar el análisis multicriterio.

Pese a que la determinación de zonas agrícolas para la producción de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* fue realizada en todos los estados de la República que cuentan con guía técnica, se determinó realizar el ejercicio de la asignación de valores de ponderación de las variables con base en la muestra en el estado de Guanajuato, con el fin de presentar la metodología empleada.

De acuerdo a la Guía técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas L.*) en Guanajuato (Hernández Martínez et al., 2012b) los requerimientos agroecológicos para el cultivo de esta especie se concentran en la Figura 17.



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Suelo	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas	Cambisoles y Feozems	Regosoles	Cambisoles y Feozems	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas

Figura 17. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas L.* en el estado de Guanajuato (Hernández Martínez et al., 2012b)

Los valores de ponderación asignados a los datos de las condiciones presentes en el estado se concentran en la Tabla 13. En esta tabla se puede observar que algunas de las condiciones presentes en el estado no cubren toda la clasificación de los rangos de potencial, es decir, existirán variables en algunos estados que solamente contengan datos para algunos de los rangos, sin embargo, esto no será una limitante para la metodología de la asignación de valores mencionada anteriormente.

Tabla 13. Tabla de valores de ponderación para *Jatropha curcas L.* en el estado de Guanajuato (Hernández Martínez et al., 2012b)

Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Temperatura Media Anual (°C)		13.4-14 1.70	18-19 10		
		14-15 3.36	19-20 10		
		15-16 5.02	20-21.09 10		
		16-17 6.68			
		17-18 8.34			
Precipitación Anual (mm)	225.2-300 0	300-400 1.42	900-1000 10	1500-1600 8.34	
		400-500 2.85	1100-1100 10	1600-1700 6.68	
		500-600 4.28	1100-1200 10	1700-1800 5.02	
		600-700 5.71	1200-1300 10	1800-1900 3.36	
		700-800 7.14	1300-1400 10	1900-1985.1 1.70	
		800-900 8.57	1400-1500 10		
Altitud (msnm)			610-700 10	900-1000 8.57	1500-1600 0
			700-800 10	1000-1100 7.14	1600-1700 0
			800-900 10	1100-1200 5.71	1700-1800 0
				1200-1300 4.28	1800-1900 0
				1300-1400 2.85	1900-2000 0
				1400-1500 1.42	2000-2100 0
					2100-2200 0
					2200-2300 0
					2300-2400 0
					2400-2500 0
					2500-2600 0
					2600-2700 0
				2700-2800 0	
				2800-2900 0	
				2900-3000 0	
				3000-3100 0	
				3100-3200 0	
				3200-3327 0	
Textura de Suelos	Fina 0		Media 10		Fina 0
			Gruesa 10		
Uso de suelo	Asentamiento urbano 0	Pastizal halófilo / Pastizal gipsófilo 1.25	Agricultura de temporal 10	Agricultura de riego 8.75	Asentamiento urbano 0
	Bosques 0	Pastizal inducido 2.5		Agricultura de humedad 7.5	Bosques 0
	Cuerpo de agua 0	Pastizal cultivado 3.75		Pastizal cultivado 6.25	Cuerpo de agua 0
	Matorrales 0	Sin vegetación aparente 5		Desprovisto de vegetación 5	Matorrales 0
	Mezquital 0	Desprovisto de vegetación 6.25		Sin vegetación aparente 3.75	Mezquital 0



Variable	Bajo		Medio		Alto		Medio		Bajo	
Pastizal natural	0	0	Agricultura de humedad	7.5			Pastizal inducido	2.5	Pastizal natural	
Selvas	0	0	Agricultura de riego	8.75			Pastizal halófilo / Pastizal gipsófilo	1.25	Selvas	0
Tular	0	0							Tular	0
Vegetación halófila xerófila	0	0							Vegetación halófila xerófila	0
Vegetación secundaria de bosque	0	0							Vegetación secundaria de bosque	0
Vegetación secundaria de selva	0	0							Vegetación secundaria de selva	0
Zona urbana	0	0							Zona urbana	0
Suelo	Acrisol	0	Cambisol	5.0	Regosol	10	Cambisol	5.0	Acrisol	0
	Andosol	0	Feozem	5.0			Feozem	5.0	Andosol	0
	Calcisol	0							Calcisol	0
	Castañozem	0							Castañozem	0
	Chernozem	0							Chernozem	0
	Durisol	0							Durisol	0
	Fluvisol	0							Fluvisol	0
	Gleysol	0							Gleysol	0
	Leptosol	0							Leptosol	0
	Luvisol	0							Luvisol	0
	Planosol	0							Planosol	0
	Rendzina	0							Rendzina	0
	Solonchak	0							Solonchak	0
Umbrisol	0							Umbrisol	0	
Vertisol	0							Vertisol	0	

### 2.5.2. Delimitación del área de trabajo y asignación de valores

El primer paso para la edición de las capas de información consistió en la delimitación del área de trabajo. El geoproceto consistió en el recorte de las capas de información con los límites estatales del Marco Geoestadístico Nacional con fecha de publicación en junio 2016 (INEGI, 2016). En la Figura 18 se muestra de manera esquemática en que consistió la delimitación del área de trabajo, esta delimitación se realizó en cada uno de los estados presentes en esta investigación en esta investigación.



Figura 18. Proceso de delimitación de área de trabajo

El segundo paso consistió en la eliminación de columnas con información, también denominados campos, innecesarias para el análisis, con el fin de evitar que el proceso del análisis se volviera lento por la cantidad de información contenida en cada capa (Figura 19).

FID	Shape *	CLAVE_WRB	GRUPO1	CALIFS_G1	CALIFP_G1	GRUPO2	CALIFS_G2	CALIFP_G2	GRUPO3	CALIFS_G3
0	Polygon	FLeu/1	FL	N	eu	N	N	N	N	N
1	Polygon	AReuPr+SCarg/1	AR	eu	pr	SC	ar	gl	N	N
2	Polygon	SCHuG+GLso/3	SC	hu	gl	GL	N	so	N	N
3	Polygon	FLeu/1	FL	N	eu	N	N	N	N	N
4	Polygon	AReuPr+SCarg/1	AR	eu	pr	SC	ar	gl	N	N
5	Polygon	SCHuG+GLso/3	SC	hu	gl	GL	N	so	N	N
6	Polygon	PHha+CMeu/2	PH	N	ha	CM	N	eu	N	N
7	Polygon	PHgl+GLEu/2	PH	N	gln	GL	N	eu	N	N
8	Polygon	ARsoWpr+SCarg/1	AR	sow	pr	SC	ar	gl	N	N
9	Polygon	SCHuG+GLso/3	SC	hu	gl	GL	N	so	N	N
10	Polygon	PHha+GLEu/2	PH	N	ha	GL	N	eu	N	N
11	Polygon	GLhuSo+SCHuso/2	GL	hu	so	SC	hu	so	N	N
12	Polygon	GLso+PHlvgl/2	GL	N	so	PH	lv	gl	N	N
13	Polygon	LVhuSow+CMeu/2	LV	hu	sow	CM	N	eu	N	N
14	Polygon	FLeu+PHha/1	FL	N	eu	PH	N	ha	N	N
15	Polygon	PHhulv+GLvrr/2	PH	hu	lv	GL	N	vr	N	N
16	Polygon	CMeu+RGeu/2	CM	N	eu	RG	N	eu	N	N
17	Polygon	PHha+CMeuCr+GLEu/2	PH	N	ha	CM	eu	cr	GL	N
18	Polygon	PHha+CMeu/2	PH	N	ha	CM	N	eu	N	N
19	Polygon	ARsoWpr/1	AR	sow	pr	N	N	N	N	N
20	Polygon	LVcr+CMeuCr/2	LV	N	cr	CM	eu	cr	N	N
21	Polygon	CMeuCr+PHha/3	CM	eu	cr	PH	N	ha	N	N
22	Polygon	GLsoh/2	GL	so	hi	N	N	N	N	N
23	Polygon	CMeu+FLmo/2R	CM	N	eu	FL	N	mo	N	N
24	Polygon	LVhuap+CMdy/3	LV	hu	ap	CM	N	dy	N	N
25	Polygon	SCarso+RGhuSo/2	SC	ar	so	RG	hu	so	N	N
26	Polygon	GLhuSo+SCglSo/2	GL	hu	so	SC	gl	so	N	N
27	Polygon	PHphu+CMeu+RGeu/2	PH	ph	hu	CM	N	RG	N	N

Figura 19. Ejemplo de tabla de atributos con columnas de información completas

Las columnas conservadas en cada capa fueron la columna FID, por ser la que contiene el número identificador de cada rasgo que integra la capa, y la columna referida al tema de interés en cada capa. La capa uso de suelo y vegetación conservó la columna de DESCRIPCIÓN en la que se menciona el uso de suelo presente en cada polígono, la capa edafológica conservó la columna N\_G1 donde se indica el tipo de suelo con mayor presencia en cada polígono además de la columna TEXTURA en donde se menciona la textura presente. En el modelo digital de elevación se conservó la columna VALUE que es el campo en donde se indica el dato referente a la elevación (Figura 20).



usv_CCL			con_nal_06-11-2013				cem		
FID	Shape	DESCRIPCIO	FID	Shape *	N_G1	TEXTURA	Rowid	VALUE	COUNT
0	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	0	Polygon	FLUVISOL	Gruesa	0	610	740
1	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	1	Polygon	ARENOSOL	Gruesa	1	625	2
2	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	2	Polygon	SOLOONCHA	Fina	2	626	4
3	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	3	Polygon	FLUVISOL	Gruesa	3	627	3
4	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	4	Polygon	ARENOSOL	Gruesa	4	628	8
5	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	5	Polygon	SOLOONCHA	Fina	5	629	5
6	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	6	Polygon	PHAEZEM	Media	6	630	6
7	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	7	Polygon	PHAEZEM	Media	7	631	4
8	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	8	Polygon	ARENOSOL	Gruesa	8	632	11
9	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	9	Polygon	SOLOONCHA	Fina	9	633	8
10	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	10	Polygon	PHAEZEM	Media	10	634	10
11	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	11	Polygon	GLEYSOL	Media	11	635	9
12	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	12	Polygon	GLEYSOL	Media	12	636	12
13	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	13	Polygon	LUVISOL	Media	13	637	14
14	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	14	Polygon	FLUVISOL	Gruesa	14	638	12
15	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	15	Polygon	PHAEZEM	Media	15	639	24
16	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	16	Polygon	CAMBISOL	Media	16	640	20
17	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	17	Polygon	PHAEZEM	Media	17	641	22
18	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	18	Polygon	PHAEZEM	Media	18	642	11
19	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	19	Polygon	ARENOSOL	Gruesa	19	643	20
20	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	20	Polygon	LUVISOL	Media	20	644	17
21	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	21	Polygon	CAMBISOL	Fina	21	645	20
22	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	22	Polygon	GLEYSOL	Media	22	646	28
23	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	23	Polygon	CAMBISOL	Media	23	647	56
24	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	24	Polygon	LUVISOL	Fina	24	648	66
25	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	25	Polygon	SOLOONCHA	Media	25	649	74
26	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	26	Polygon	GLEYSOL	Media	26	650	73
27	Polygon	ASENTAMIENTOS HUMANOS	27	Polygon	PHAEZEM	Media	27	651	2593

Figura 20. Ejemplo de tablas de atributos editadas para la elaboración del análisis

El tercer y último paso consistió en la inserción de un nuevo campo a la tabla de atributos al que se le asignó el nombre de P\_ como abreviación a la palabra ponderación seguida de las primeras letras del nombre que corresponde a cada variable (Tabla 14). La razón de la abreviatura del nombre de la nueva columna se debe a que el SIG no admite más de diez caracteres en el nombre del campo. En este nuevo campo se insertarán los valores definidos en la ponderación de cada variable.

Tabla 14. Asignación de nombres de columna de ponderación (Elaboración propia)

Nombre de la columna	Variable	Descripción
P_TEMP	Temperatura Media Anual (° C)	P_TEMP= Ponderación de la variable temperatura media anual
P_PRECI	Precipitación Anual (mm)	P_PRECI= Ponderación de la variable precipitación anual
P_ALTI	Altitud (msnm)	P_ALTI= Ponderación de la variable altitud
P_TEXT	Textura de Suelos	P_TEXT= Ponderación de la variable textura de suelos
P_USV	Uso de Suelo	P_USV= Ponderación de la variable uso de suelo
P_SUELO	Suelo	P_SUELO= Ponderación de la variable uso de suelo

Las propiedades del nuevo campo generado se seleccionaron considerando las características de los datos insertados, es decir, el tipo de dato al que corresponden los valores, ya fuesen datos numéricos enteros y/o fraccionarios, además de buscar ocupar el menor espacio de almacenamiento posible con la finalidad de mejorar el rendimiento del análisis.

En la Tabla 15 se describen las características de los diferentes tipos de datos numéricos que se pueden asignar en ArcGIS.

Tabla 15. Tabla de tipos de datos factibles a usar en ArcGIS (ESRI, 2017)

Tipo de datos	Rango de almacenamiento	Tamaño (Bytes)	Aplicaciones
Entero corto	-32.768 a 32.767	2	Valores numéricos sin valores fraccionales dentro de un rango específico; valores codificados
Entero largo	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	4	Valores numéricos sin valores fraccionales dentro de un rango específico
Flotante (número de punto flotante de precisión simple)	Aproximadamente -3,4E38 a 1,2E38	4	Valores numéricos con valores fraccionales dentro de un rango específico
Doble (número de punto flotante de precisión doble)	Aproximadamente -2,2E308 a 1,8E308	8	Valores numéricos con valores fraccionales dentro de un rango específico

El tipo de datos seleccionado atendiendo las características mencionadas anteriormente fue el Flotante ya que este formato admite insertar tanto números enteros como fraccionales y ocupa la mitad del tamaño de almacenamiento que el formato Doble que también admite este tipo de datos (Figura 21).

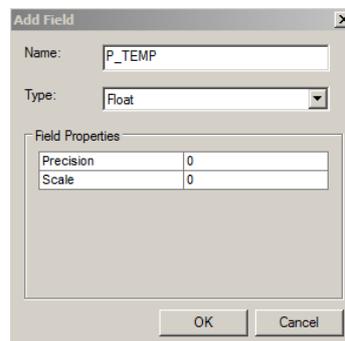


Figura 21. Formato seleccionado para la inserción de la columna de ponderación

### 2.5.3. Uso de suelo y vegetación

Uno de los principales objetivos de este estudio fue lograr que las zonas de potencial de producción identificadas no contribuyan al cambio de cobertura de uso de suelo y vegetación, es decir, que las zonas seleccionadas para la producción de las especies se encuentren clasificadas como lugares con aptitud agrícola y/o sin vegetación, con la finalidad de evitar que lugares con condiciones aptas para el cultivo pero con usos de suelo diferentes al agrícola o al desprovisto de vegetación cambien la cubierta vegetal que los integra, favoreciendo de esta manera la conservación de las agrupaciones vegetales que se presentan en México.



La asignación de valores de la capa de uso de suelo y vegetación consistió en la determinación de una ponderación igual para todos los estados de la República independientemente de las condiciones presentes en éstos. De esta forma, la ponderación se realizó en la capa unión de uso de suelo y vegetación, y a partir de ella se realizó la delimitación del área de estudio de cada uno de los estados con guía técnica.

La ponderación asignada empleó los siguientes criterios: las zonas consideradas con potencial alto fueron todas las tierras dedicadas al uso agrícola de temporal; estas zonas fueron seleccionadas debido a que en ellas la agricultura es una actividad que ya se realiza, por lo que el cambio de uso de suelo ya está hecho además de que las zonas que sean consideradas potenciales contarán con la precipitación adecuada sin necesidad de recurrir al riego artificial. Las zonas determinadas con potencial medio fueron aquellas tierras dedicadas a las diferentes variantes de uso agrícola, las zonas desprovistas de vegetación, las zonas sin vegetación aparente y algunos tipos de pastizales; la razón de su clasificación como zonas con potencial medio se debió a que en la mayoría de ellas el cambio de uso de suelo y vegetación ya está hecho por lo que la implementación de la actividad agrícola no generará un impacto ambiental alto. En el rango de potencial bajo quedaron situados todos los diferentes tipos de uso de suelo restantes evitando así el cambio de uso de suelo y vegetación actual de estas zonas, quedando dentro de estas coberturas las Áreas Naturales Protegidas.

Como se mencionó anteriormente, los datos pertenecientes a la capa de uso de suelo y vegetación son datos discretos. Sin embargo, fueron ponderados utilizando la metodología empleada para los datos continuos debido a que se consideró que dentro del rango de potencial medio se puede hacer una nueva clasificación determinando así usos de suelo más potenciales que otros.

El criterio a seguir para la determinación de la ponderación de zonas de potencial medio se aplicó la ecuación del valor de ponderación, Ecuación 1, donde tenemos:

$$\text{valor de ponderación} = 10/\text{no. de datos} \quad \text{Ecuación (1)}$$



*no. de datos = Pastizal halófilo/Pastizal gipsófilo, Pastizal inducido, Pastizal cultivado, Sin vegetación aparente, Desprovisto de vegetación, Agricultura de humedad, Agricultura de riego = 7 datos + 1 = 8 datos*

$$\text{valor de ponderación} = \frac{10}{8} = 1.25$$

Se asignaron los valores más altos a la agricultura de riego y humedad, a éstos se les asignó un valor de 8.75 y 7.5 respectivamente. Se asignó una mayor potencialidad a la agricultura de riego debido a que este tipo de agricultura puede fácilmente cumplir con el requerimiento de la precipitación de los cultivos. La agricultura de humedad fue considerada con menor potencialidad debido a que se desarrolla en zonas donde se aprovecha la humedad del suelo, independientemente del ciclo de lluvias por lo que cumplir adecuadamente con la cantidad de agua que necesita la planta será más difícil de cumplir.

El siguiente grupo de valores fue asignado a las zonas desprovistas de vegetación, debido a que uno de los objetivos es considerar estas zonas con alto potencial de producción, por esta razón se asignó una ponderación de 6.25, siendo un valor menor que el de la agricultura ya que el uso de suelo agrícola es el suelo con el potencial ideal. El valor de 5 se asignó a los polígonos sin vegetación aparente pues como su nombre lo dice su desertificación es aparente por lo que su potencialidad es menor que las zonas que verdaderamente están desprovistas de vegetación.

Finalmente se asignaron los valores de 3.75, 2.5 y 1.25 a los pastizales cultivados, inducidos y halófilos/gipsófilos respectivamente, estos valores de ponderación fueron asignados debido a que se consideró que dentro del grupo de los pastizales el pastizal cultivado es el más potencial para la producción, pues la actividad agrícola ya se practica en estas zonas. El pastizal inducido fue considerado con una potencialidad menor pues este tipo de pastizal aparece en diversas zonas como consecuencia del desmonte de cualquier tipo de vegetación o se establece en áreas agrícolas abandonadas (INEGI, 2014a) por lo que son zonas con un cambio de uso de suelo ya realizado por lo que la agricultura no generará un mayor impacto y finalmente los pastizales halófilos y gipsófilos fueron considerados como las zonas menos potenciales debido a que estas coberturas aún no presenta cambios realizados en el uso de suelo y



vegetación, INEGI (2014a) menciona que son coberturas naturales que se desarrollan frecuentemente en el fondo de cuencas cerradas de zonas áridas y semiáridas; y en algunas áreas próximas a las costas afectadas por el mar o por lagunas costeras. A pesar de ser coberturas naturales fueron consideradas dentro de las zonas con potencial medio debido a que la vegetación presente se compone principalmente de gramíneas y herbáceas.

La Tabla 16 muestra los valores de ponderación asignados a los datos pertenecientes a los diferentes rangos de potencial.

Tabla 16. Tabla de Ponderación asignada a la capa de Uso de suelo (Elaboración propia)

Variable	Bajo		Medio		Alto		Medio		Bajo	
Uso de suelo	Asentamiento urbano	0	Pastizal halófilo / Pastizal gipsófilo	1.25	Agricultura de temporal	10	Agricultura de riego	8.75	Asentamiento urbano	0
	Bosques	0	Pastizal inducido	2.5			Agricultura de humedad	7.5	Bosques	0
	Cuerpo de agua	0	Pastizal cultivado	3.75			Desprovisto de vegetación	6.25	Cuerpo de agua	0
	Matorrales	0	Sin vegetación aparente	5			Sin vegetación aparente	5	Matorrales	0
	Mezquital	0	Desprovisto de vegetación	6.25			Pastizal cultivado	3.75	Mezquital	0
	Pastizal natural	0	Agricultura de humedad	7.5			Pastizal inducido	2.5	Pastizal natural	0
	Selvas	0	Agricultura de riego	8.75			Pastizal halófilo / Pastizal gipsófilo	1.25	Selvas	0
	Tular	0							Tular	0
	Vegetación halófila xerófila	0							Vegetación halófila xerófila	0
	Vegetación secundaria de bosque	0							Vegetación secundaria de bosque	0
	Vegetación secundaria de selva	0							Vegetación secundaria de selva	0
Zona urbana	0							Zona urbana	0	

La asignación de valores se llevó a cabo a partir de un proceso de selección por atributos en el que se fueron seleccionando los diferentes tipos de uso del suelo y asignando el valor correspondiente a la ponderación (

Figura 22).

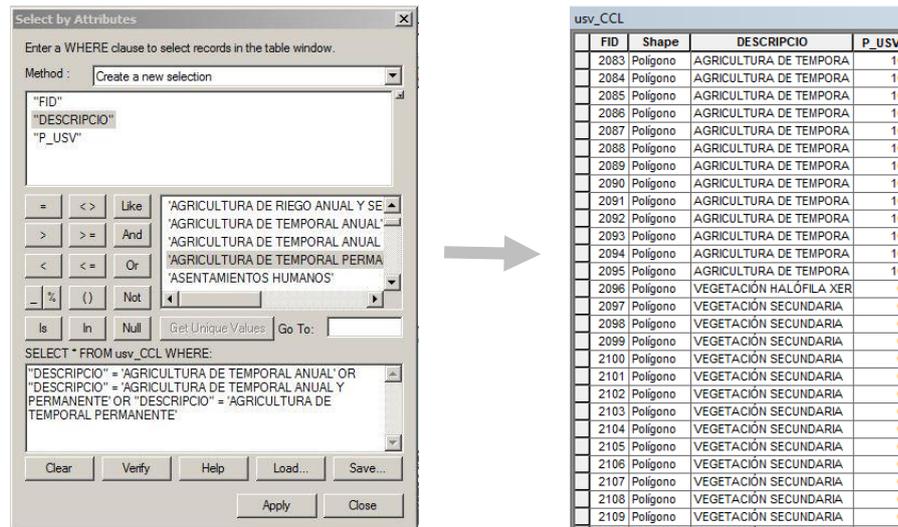


Figura 22. Proceso de asignación de valores de ponderación por medio de selección por atributos. Con la asignación de los valores de ponderación ya generada, se procedió a realizar el recorte de la capa unión de cada uno de los estados por mapear.

#### 2.5.4. Edafología

A partir de la capa de información edafológica se obtuvieron dos de las variables necesarias para el análisis: tipo y textura de suelo. Para la asignación de ponderaciones de esta capa fue necesario realizar una copia de la capa edafológica en la que se realizaron modificaciones a la tabla de atributos. Las modificaciones consistieron en la eliminación del campo que no corresponde a la variable de la capa, por consiguiente, una de las capas conservó el campo TEXTURA y la otra, que indica el tipo de suelo, conservó el campo correspondiente, es decir el N\_G1 (Figura 23).



edaf_CCL				textura_CCL			
FID	Shape	N_G1	P_SUELO	FID	Shape	TEXTURA	P_TEXT
0	Polygon	PHAEOZEM	0	0	Polygon	Media	0
1	Polygon	LUVISOL	0	1	Polygon	Media	0
2	Polygon	ANDOSOL	0	2	Polygon	Media	0
3	Polygon	VERTISOL	0	3	Polygon	Gruesa	0
4	Polygon	GLEYSOL	0	4	Polygon	Media	0
5	Polygon	LUVISOL	0	5	Polygon	Media	0
6	Polygon	PHAEOZEM	0	6	Polygon	Gruesa	0
7	Polygon	LUVISOL	0	7	Polygon	Fina	0
8	Polygon	VERTISOL	0	8	Polygon	Fina	0
9	Polygon	LEPTOSOL	0	9	Polygon	Media	0
10	Polygon	SOLONCHA	0	10	Polygon	Fina	0
11	Polygon	PHAEOZEM	0	11	Polygon	Media	0
12	Polygon	VERTISOL	0	12	Polygon	Fina	0
13	Polygon	VERTISOL	0	13	Polygon	Fina	0
14	Polygon	PHAEOZEM	0	14	Polygon	Media	0
15	Polygon	LEPTOSOL	0	15	Polygon	Media	0
16	Polygon	PHAEOZEM	0	16	Polygon	Media	0
17	Polygon	VERTISOL	0	17	Polygon	Fina	0
18	Polygon	VERTISOL	0	18	Polygon	Fina	0
19	Polygon	PHAEOZEM	0	19	Polygon	Media	0
20	Polygon	PHAEOZEM	0	20	Polygon	Media	0
21	Polygon	DURISOL	0	21	Polygon	Gruesa	0
22	Polygon	ANDOSOL	0	22	Polygon	Gruesa	0
23	Polygon	VERTISOL	0	23	Polygon	Fina	0
24	Polygon	UMBRISOL	0	24	Polygon	Media	0
25	Polygon	LEPTOSOL	0	25	Polygon	Media	0
26	Polygon	VERTISOL	0	26	Polygon	Fina	0
27	Polygon	PHAEOZEM	0	27	Polygon	Media	0
28	Polygon	VERTISOL	0	28	Polygon	Fina	0
29	Polygon	VERTISOL	0	29	Polygon	Fina	0
30	Polygon	VERTISOL	0	30	Polygon	Fina	0

Figura 23. Tabla de atributos de las variables tipo de suelo y textura del suelo

La asignación de valores fue bajo el mismo proceso de selección por atributos realizado con la capa de uso de suelo y vegetación.

### 2.5.5. Modelo digital de elevación

La asignación de valores de ponderación en la capa del modelo digital de elevación requirió una serie de pasos adicionales además de los realizados en otras capas. La capa del modelo digital de elevación se presenta en un formato ráster, el cual hay que convertir a formato vector, debido a que la herramienta que se utilizará para realizar la integración de todas las capas del análisis únicamente admite capas con este tipo de formato.

El primer paso para la asignación de valores de ponderación consistió en clasificar los valores de la capa utilizando intervalos de altitud de 100 metros, mediante el método de clasificación el Manual (Figura 24). Los nuevos valores de la clasificación de los datos de altitud se realizaron ingresando uno a uno los rangos establecidos en la Tabla de Ponderaciones.

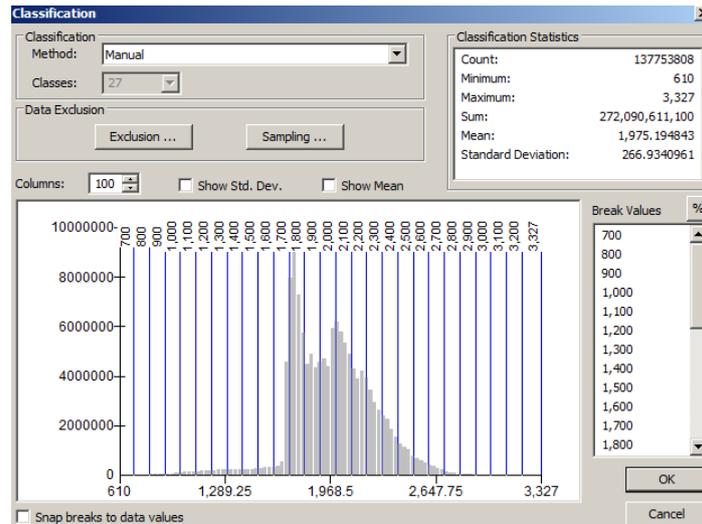


Figura 24. Clasificación manual del Modelo Digital de Elevación

El siguiente paso consistió en una reclasificación del modelo (Figura 25) que consiste en la asignación de un valor a cada intervalo de 100 m de altitud; esto es un paso fundamental para lograr la transformación de formato ráster a formato vector. En el proceso de reclasificación se recomienda conservar una copia de los nuevos valores asignados a los intervalos de altitud con la finalidad de recordar a que segmento hace referencia cada nuevo valor, haciendo así que la asignación de los valores de ponderación sea más sencilla.

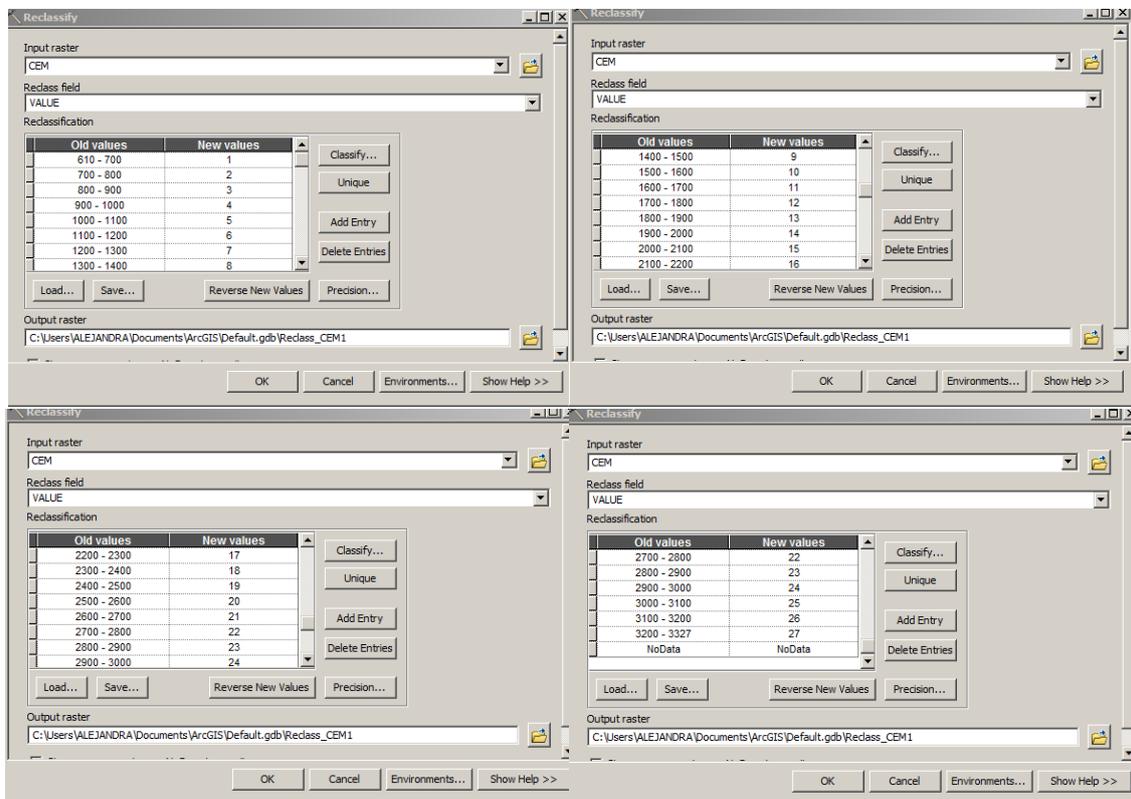


Figura 25. Valores de reclasificación asignados



Asignados los valores de reclasificación a los intervalos de altitud la tabla de atributos se modifica quedando como se presenta en la Figura 26. La nueva tabla de atributos se puede interpretar de la siguiente manera: la columna VALUE se refiere a los valores asignados a los intervalos de altitud, donde el valor 1 corresponde al segmento de 610 a 700 m, el 2 al segmento de 700 a 800 m y así sucesivamente hasta llegar al último segmento que va de 3,200 a 3,327 m al que se asignó el valor 27.

DEM_REC			
Rowid	VALUE	COUNT	
0	1	10331	
1	2	39543	
2	3	108418	
3	4	255608	
4	5	474357	
5	6	619305	
6	7	750970	
7	8	852277	
8	9	905727	
9	10	1117942	
10	11	6461428	
11	12	28612343	
12	13	16886371	
13	14	18780906	
14	15	20086903	
15	16	15167004	
16	17	11332002	
17	18	7328825	
18	19	4054386	
19	20	2174801	
20	21	1168756	
21	22	390142	
22	23	124978	
23	24	35674	
24	25	9771	
25	26	3950	
26	27	1090	

Figura 26. Tabla de atributos del modelo digital de elevación después de la reclasificación

El paso previo a la asignación de valores de ponderación es la conversión del formato ráster a formato vector, empleando como referencia el campo VALUE para lograr que la tabla de atributos de la capa del modelo digital de elevación se modifique para posteriormente agregar el campo de ponderación. Como resultado a las modificaciones realizadas a la capa del modelo digital de elevación finalmente se obtuvo la tabla de atributos que se observa en la Figura 27.

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	P_ALT
0	Polygon	1	19	0
1	Polygon	2	18	0
2	Polygon	3	20	0
3	Polygon	4	18	0
4	Polygon	5	17	0
5	Polygon	6	20	0
6	Polygon	7	17	0
7	Polygon	8	19	0
8	Polygon	9	18	0
9	Polygon	10	17	0
10	Polygon	11	19	0
11	Polygon	12	18	0
12	Polygon	13	18	0
13	Polygon	14	18	0
14	Polygon	15	18	0
15	Polygon	16	17	0
16	Polygon	17	19	0
17	Polygon	18	18	0
18	Polygon	19	19	0
19	Polygon	20	17	0
20	Polygon	21	20	0
21	Polygon	22	20	0
22	Polygon	23	20	0
23	Polygon	24	20	0
24	Polygon	25	20	0
25	Polygon	26	19	0
26	Polygon	27	18	0
27	Polygon	28	19	0
28	Polygon	29	19	0
29	Polygon	30	18	0

Figura 27. Tabla de atributos del modelo digital de elevación

El paso final consistió en la asignación de los valores de ponderación aplicando una selección por atributos y asignado el valor correspondiente a cada segmento de altitud.

### 2.5.6. Precipitación y temperatura

Para lograr la asignación de valores ponderación de los datos de temperatura y precipitación fue necesario generar las capas de información debido a que solo se contaba con hojas de cálculo en Excel donde se concentraban los datos de las normales climatológicas seleccionadas.

El primer paso para la elaboración de las capas fue visualizar en el marco de datos de ArcMap los puntos de las posiciones geográficas de las estaciones. El proceso consistió en desplegar los datos XY de la tabla de atributos correspondientes a las coordenadas geográficas (Figura 28).

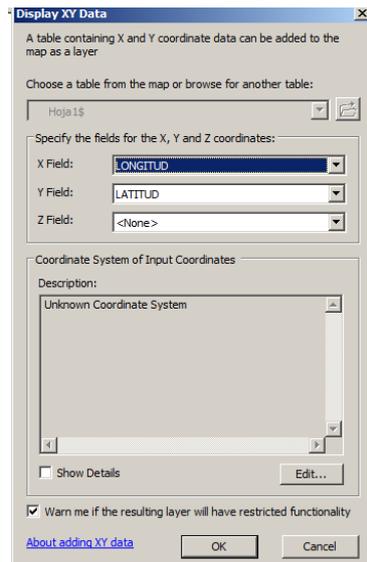


Figura 28. Proceso de despliegue de datos con coordenadas XY

El siguiente paso consistió en exportar los puntos a una capa en formato vector a la que se asignó el sistema de coordenadas International Terrestrial Frame 2008 (ITRF2008), debido a que las coordenadas de las ubicaciones de cada una de las estaciones climatológicas se encuentran definidas en forma de coordenadas geográficas.

Para asignar el sistema de coordenadas homologado se procedió a realizar la reproyección de la capa a un sistema de coordenadas equivalente. Esta reproyección se realizó en el Mapa Digital de México para escritorio versión 6.1.0 (INEGI, 2014b), en el que se asignó como sistema de coordenadas de origen el datum ITRF2008, que fue asignado previamente, y como sistema de coordenadas de destino la proyección Cónica Conforme de Lambert manteniendo el mismo datum de origen: ITRF08 (Figura 29).

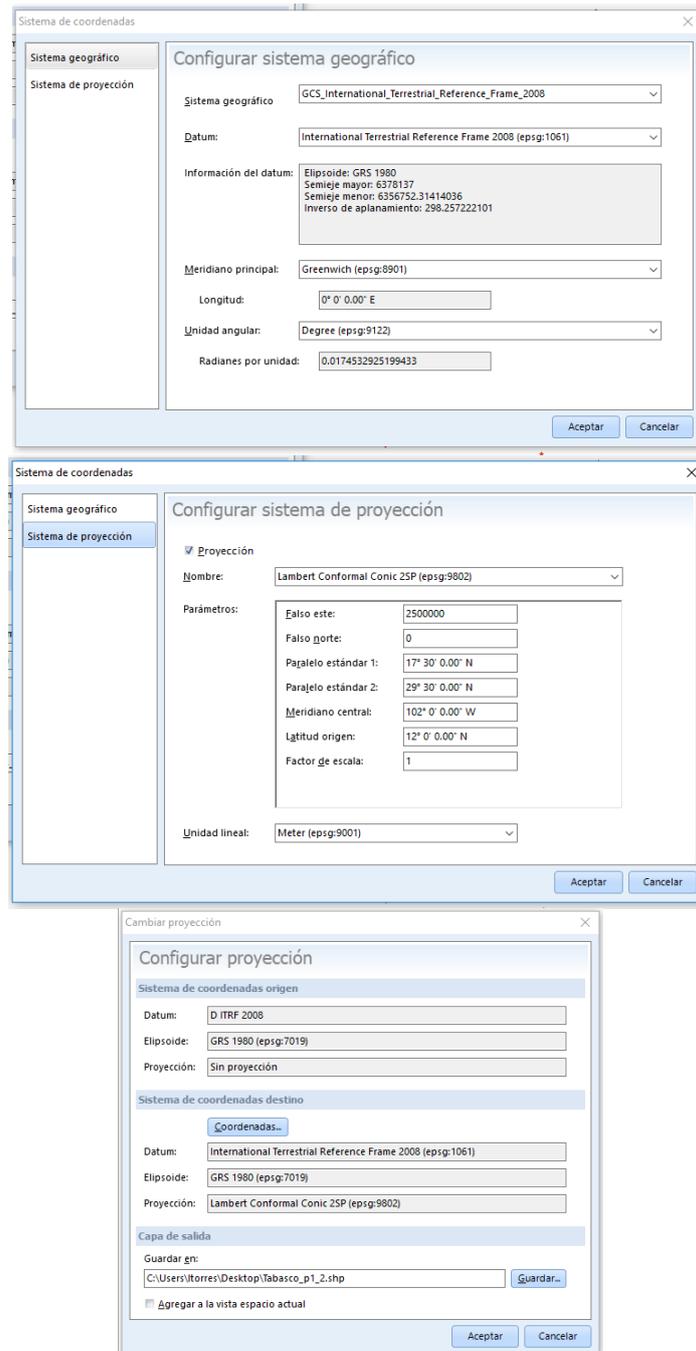


Figura 29. Proceso de reproyección en Mapa Digital de México

El procedimiento final para la creación de las capas de precipitación y temperatura fue un proceso de interpolación, que se llevó a cabo con la herramienta IDW de las herramientas de interpolación disponibles en ArcMap

La interpolación se puede definir como un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio, conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (Bosque Sendra, 1992). La finalidad de las técnicas de interpolación es generar superficies continuas de fenómenos como la temperatura y la precipitación.

La técnica de interpolación seleccionada fue mediante Distancia Inversa Ponderada, (IDW por sus siglas en inglés). Esta técnica asume que las cosas que están más cerca son más parecidas que las que están más lejos. El procedimiento consiste en utilizar los datos de los lugares que se encuentran alrededor del lugar que se va a predecir. Los valores que se encuentran más próximos al que se va a predecir muestran mayor influencia contra los que están más lejos. El IDW es un interpolador exacto donde los valores máximo y mínimo en la superficie interpolada pueden ocurrir solamente en los puntos de valores conocidos (Moreno Jiménez et al., 2008).

El método IDW fue seleccionado porque relaciona la semejanza entre vecinos. Se considera que pronostica valores más adecuados con la cercanía de eventos conocidos. El IDW nunca predice valores mayores a un máximo o menores a un mínimo valor conocido, lo cual garantiza que los nuevos valores se encuentran dentro del rango de datos conocido.

Como se observa en Figura 30 el proceso de interpolación se generó para cada variable de temperatura y precipitación utilizando en cada uno de ellos las opciones sugeridas por defecto por el programa y se consideró un tamaño de pixel de 15 metros para hacerlo consistente con las características de las demás fuentes de información.

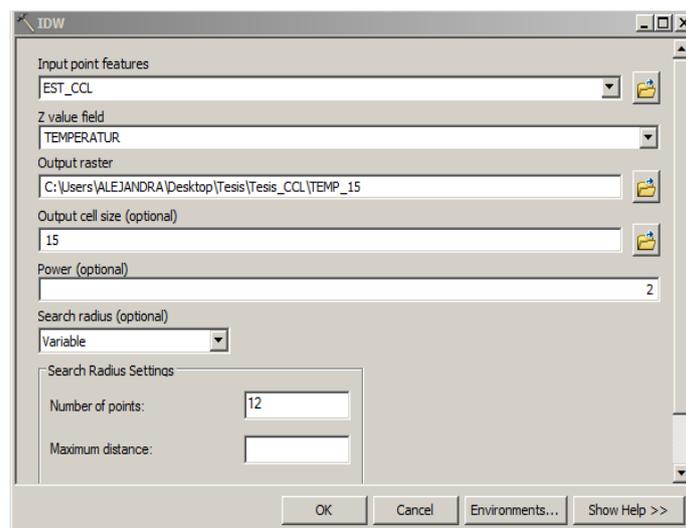


Figura 30. Herramienta IDW de interpolación

Para lograr que la interpolación cubriese la totalidad del estado, se ajustó la extensión del proceso indicando que la nueva capa raster cubriera la misma

extensión de área que la capa del Marco Geoestadístico correspondiente a cada estado (Figura 31).

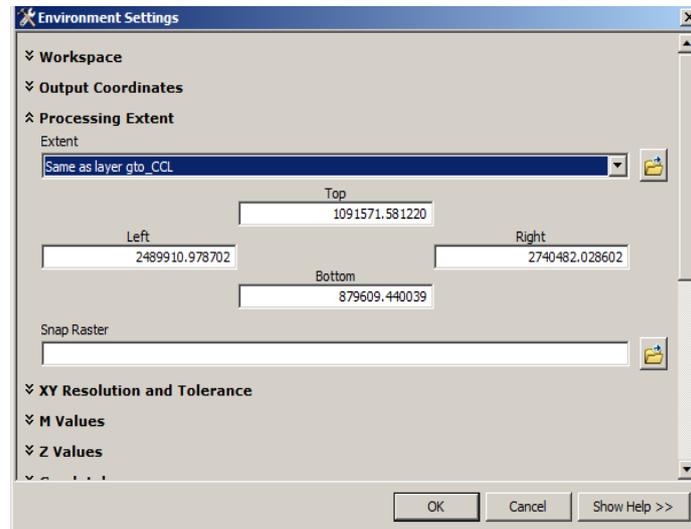


Figura 31. Ajustes de la extensión del proceso

Con el fin de que la capa ráster por generarse no se extendiera más allá de los límites del estado se indicó que se realizara un recorte por medio de una máscara, utilizando la capa del Marco Geoestadístico para cada estado (Figura 32).

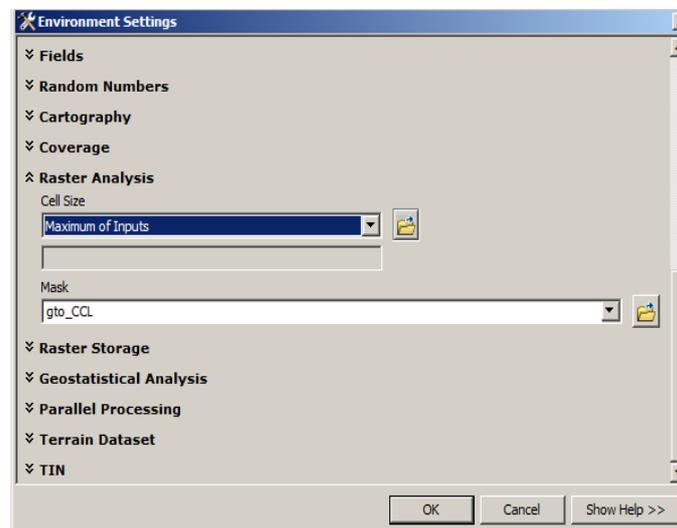


Figura 32. Ajustes en el análisis del ráster

La nueva capa generada se encuentra en formato ráster y, como se había mencionado anteriormente, es necesario contar con archivos en formato vector para el proceso del análisis. Por esta razón, se realizó una reclasificación de valores en cada una de las capas generadas para posteriormente realizar la transformación de la capa a formato vector. La reclasificación se realizó con el mismo método implementado en el modelo digital de elevación. Los rangos

considerados para la reclasificación fueron: segmentos de 100 mm de lluvia en la capa precipitación y segmentos de 1°C para la capa temperatura (Figura 33). Es importante recordar que es necesario conservar una copia de los nuevos valores asignados a los nuevos segmentos de precipitación y temperatura.

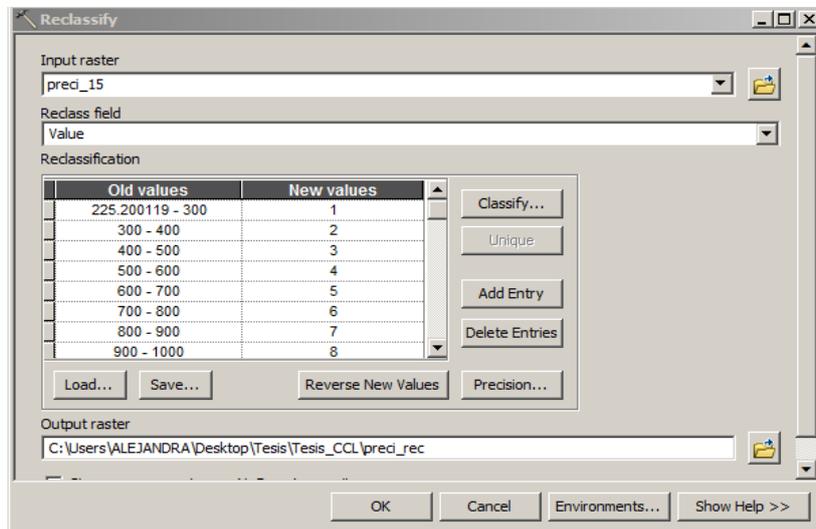


Figura 33. Proceso de reclasificación de capa de precipitación

Con la intención de contar con las capas de precipitación y temperatura en formato vector se realizó una conversión de estas capas de formato ráster a polígono utilizando el campo VALUE como referencia para las transformaciones para las dos capas (Figura 34).

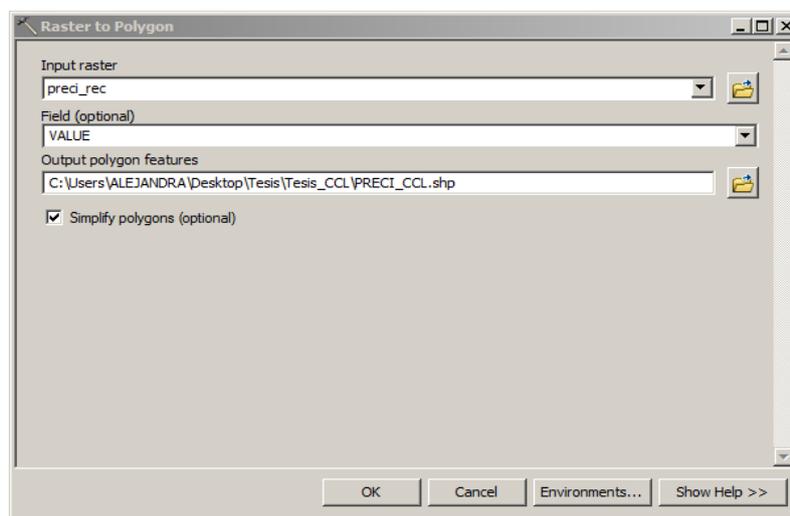


Figura 34. Proceso de conversión de formato ráster a polígono

Con el fin de realizar la asignación de valores de ponderación a las capas de precipitación y temperatura se agregó el nuevo campo para contener los valores. Los nuevos campos de cada una de las capas adquirieron el nombre correspondiente a la variable a la que pertenecen.

La asignación de valores a las capas de precipitación y temperatura se realizó haciendo una selección por atributos en la que se fueron seleccionando los segmentos de los datos correspondientes a cada rango y asignando el valor indicado en la Tabla de Ponderaciones.

## 2.6. Unión de capas de información

El último paso llevado a cabo en el análisis multicriterio consistió en la sobreposición de todas las variables ponderadas con su valor correspondiente a partir de la herramienta de geoproceso Unión de ArcMap. El resultado de la unión contiene una combinación espacial de la información de los atributos de todas las capas de entrada, permitiendo realizar múltiples evaluaciones (Moreno Jiménez et al., 2008). En la Figura 35 se representa el proceso de unión entre capas para formar una sola capa de salida.

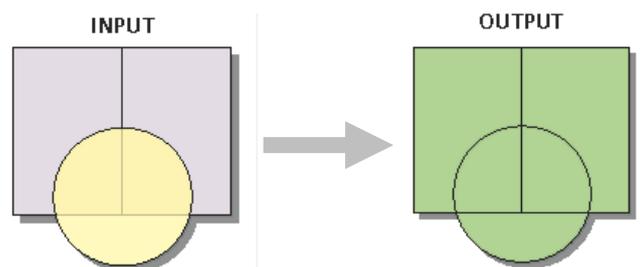


Figura 35. Geoproceso Unión

La unión de capas tiene una gran utilidad, pues permite generar mapas a partir de capas de información que han sido manipuladas independientemente. Como se mencionó anteriormente todas las capas de información fueron manejadas en formato vectorial debido a que el proceso Unión se aplica únicamente a capas vectoriales con geometría de polígonos, además de que éste resulta particularmente útil para representar entidades geográficas discretas, que fueron tres de las variables de los requerimientos agroecológicos (uso de suelo, tipo de suelo y textura de suelo), mientras que las tres variables restantes (temperatura media anual, precipitación media y altitud) fueron manipuladas para posteriormente convertirlas a este formato.

Una de las ventajas por las que se consideró utilizar el formato vector fue debido a que este tipo de formato permite hacer modificaciones a las tablas de atributos de los datos geográficos además de que no utiliza gran volumen de datos, es

decir, ocupa muy poca capacidad de disco duro lo cual es muy importante debido a que la cantidad de información manejada en este tipo de análisis es muy grande logrando así que no existan inconvenientes en el tiempo de procesamiento. La Tabla 17 muestra las ventajas que presenta trabajar con el formato vector.

Tabla 17. Ventajas de la estructura vector (Peña Llopis, 2009)

ESTRUCTURA VECTOR	
Ventajas	
• Buena representación en los modelos de datos.	
• Estructura de datos compacta.	
• La topología puede ser descrita explícitamente, por tanto es favorable para un análisis de redes.	
• La transformación sencilla de coordenadas (georreferenciación) y georrectificación.	
• La representación gráfica es precisa a todas las escalas.	
• La recuperación, actualización y generación de los gráficos y atributos es posible.	

En cuanto al geoproceso Unión se agregaron las seis capas correspondientes a las variables a analizar. Las tablas de atributos conservaron únicamente los campos de interés para el análisis. En la Figura 36 se muestran los valores que se asignaron al geoproceso.

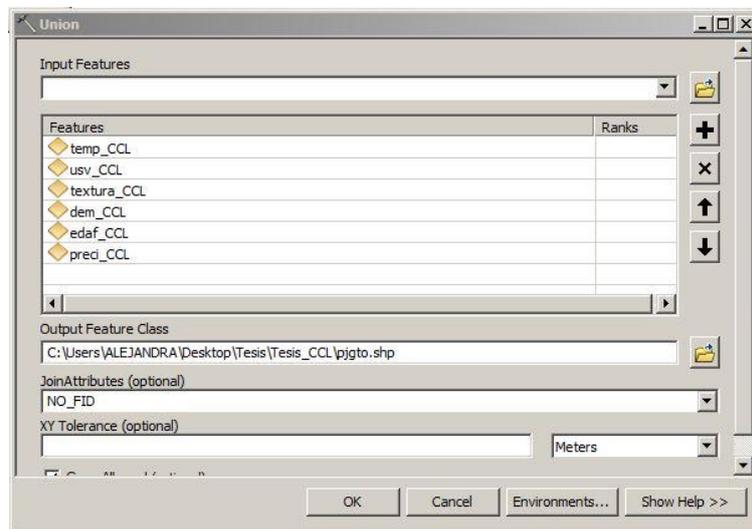


Figura 36. Proceso de herramienta unión

El resultado es una capa en formato vector, llamada Capa de Potencial, en la que se concentran la totalidad de los polígonos de las seis variables generándose una tabla de atributos con los campos seleccionados de cada una de las capas ingresadas (Figura 37).

FID	Shape	ID	P_ALT	P_SUELO	P_PRECI	P_TEMP	P_USV	P_TEXT
956	Polygon	957	10	0	0	0	0	0
957	Polygon	958	0	0	0	0	0	0
958	Polygon	959	0	0	0	0	0	0
959	Polygon	960	0	0	0	0	0	0
960	Polygon	961	0	0	0	0	0	0
961	Polygon	962	0	0	0	0	0	0
962	Polygon	963	0	0	0	0	0	0
963	Polygon	964	0	0	0	0	0	0
964	Polygon	965	10	0	0	0	0	0
965	Polygon	966	4.28	0	0	0	0	0
966	Polygon	967	0	0	0	0	0	0
967	Polygon	968	4.28	0	0	0	0	0
968	Polygon	969	10	0	0	0	0	0
969	Polygon	970	0	0	0	0	0	0
970	Polygon	971	0	0	0	0	0	0
971	Polygon	972	4.28	0	0	0	0	0
972	Polygon	973	10	0	0	0	0	0
973	Polygon	974	0	0	0	0	0	0
974	Polygon	975	10	0	0	0	0	0
975	Polygon	976	10	0	0	0	0	0
976	Polygon	977	4.28	0	0	0	0	0
977	Polygon	978	10	0	0	0	0	0
978	Polygon	979	4.28	0	0	0	0	0
979	Polygon	980	1.42	0	0	0	0	0
980	Polygon	981	10	0	0	0	0	0
981	Polygon	982	0	0	0	0	0	0
982	Polygon	983	0	0	0	0	0	0
983	Polygon	984	2.85	0	0	0	0	0
984	Polygon	985	0	0	0	0	0	0

Figura 37. Tabla de atributos de la nueva capa de potencial

Finalmente para conocer la capacidad de acogida de cada uno de los polígonos que integran la capa de potencial, éstos fueron evaluados a partir de la sumatoria de los valores de ponderación. El valor máximo que puede obtener cada polígono asciende a 60 pues el valor máximo que se asignó a cada variable corresponde a 10. Además de considerar que el número de variables relacionadas al cultivo de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* son seis.

Se agregó un nuevo campo a la capa de potencial que recibió el nombre de POTENCIAL (Figura 38). Ese campo fue creado con las características de datos de tipo flotante pues los valores que se asignaron fueron tanto números enteros como decimales.

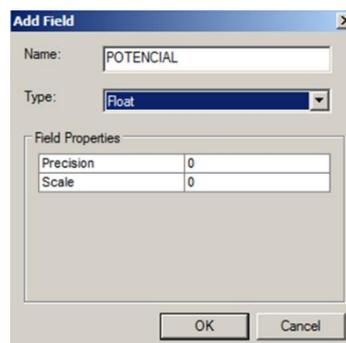


Figura 38. Características asignadas al campo de POTENCIAL

En el nuevo campo generado se realizó, mediante la calculadora de campo, la suma de los valores de las columnas referentes a cada una de las variables. En la Figura 39 se muestra la operación realizada y las columnas que formaron parte del análisis.

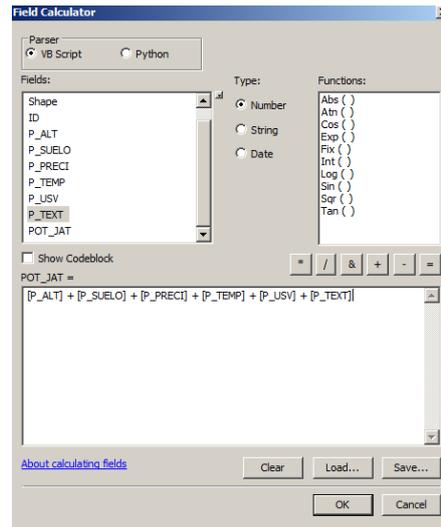


Figura 39. Suma de valores de las variables agroclimáticas

La tabla de atributos de la capa de potencial se muestra en la Figura 40 en donde se observa que el nuevo campo de potencial concentra la sumatoria de los valores de ponderación asignados a cada variable.

potencial									
FID	Shape *	ID	P_ALT	P_PRECI	P_TEMP	P_USV	P_TEXT	P_SUELO	POTENCIAL
1003	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1008	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1009	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1010	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1011	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1014	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1015	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1016	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1017	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1018	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1020	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1024	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1025	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1026	Polygon	0	0	0	0	10	0	0	10
1066	Polygon	105	5.71	0	0	10	0	0	15.71
1067	Polygon	105	7.14	0	0	10	0	0	17.14
1069	Polygon	108	10	0	0	10	0	0	20
1070	Polygon	108	10	0	0	10	0	0	20
1071	Polygon	141	8.57	0	0	10	0	0	18.57
1082	Polygon	167	0	0	0	10	0	0	10
1089	Polygon	176	0	0	0	10	0	0	10
1091	Polygon	181	0	0	0	10	0	0	10
1094	Polygon	184	0	0	0	10	0	0	10
1096	Polygon	189	0	0	0	10	0	0	10
1097	Polygon	190	0	0	0	10	0	0	10
1100	Polygon	192	8.57	0	0	10	0	0	18.57
1107	Polygon	193	0	0	0	10	0	0	10
1109	Polygon	194	0	0	0	10	0	0	10
1111	Polygon	196	7.14	0	0	10	0	0	17.14

Figura 40. Ejemplo de tabla de atributos de la capa de potencial

## 2.7. Interpretación de capa resultante

La determinación del rango de potencialidad al que pertenece cada polígono depende del valor que adquiera en la sumatoria de las variables, pues como se mencionó anteriormente, el valor más alto que se puede obtener es de 60, lo cual indica que mientras más cerca esté el valor de un polígono a 60 más potencial tendrá y de igual manera, mientras más cerca esté del 0 menor potencial tendrá.

### 2.7.1. Determinación de grados de potencial

Se agregó una nueva columna a la capa de potencial con el nombre de GRADO\_P utilizando como tipo de datos texto con una longitud de 10 caracteres. (Figura 41). La columna contenía el grado de potencial al que corresponde cada polígono de la capa

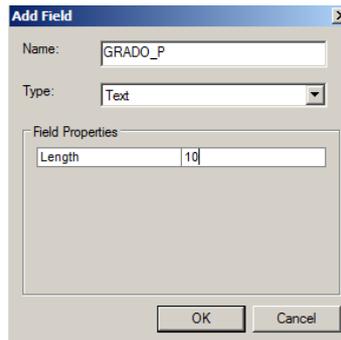


Figura 41. Características asignadas al campo de grado de potencial

Como menciona Gómez Orea (2002) la evaluación de capacidad de acogida suele representarse en tres a cinco grados de capacidad con una semántica del tipo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Por esta razón, los grados de potencial de la tierra fueron determinados en cinco, respetando la semántica propuesta, además de agregar un grado más para asignar las zonas con valores nulos.

Para determinar el grado de potencial al que pertenece cada polígono se realizó una segmentación del rango de valores para hacerlos corresponder a cada nuevo grado que se generará.

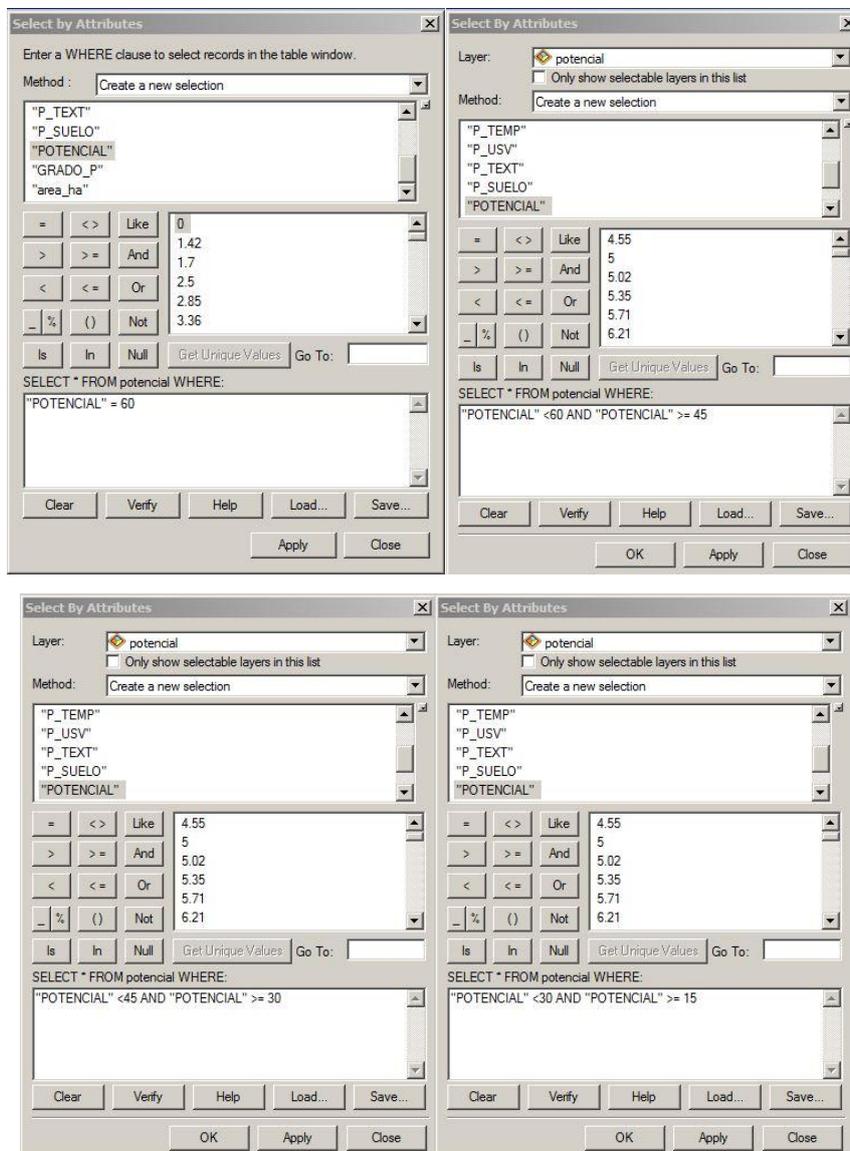
Para el grado de potencial muy alto se consideraron únicamente aquellos polígonos que cuentan con un valor de 60 en la sumatoria de las variables, pues se tomó en cuenta que estas zonas son las únicas que cumplen con el cien por ciento de los requerimientos agroecológicos. A partir de la determinación del grado de potencial muy alto se realizó una división de los valores restantes, que van de  $>0$  a  $<60$ , para determinar los grados restantes. La división realizada generó un factor de rango de 14.75, el cual fue utilizado para realizar la separación de los grados de potencial. La Tabla 18 muestra los grados de potencial determinados y el rango de valores correspondiente a cada uno de ellos.



Tabla 18. Clasificación de rangos de potencial (Elaboración propia)

Grado de potencial	Rango	Factor de rango
Muy alto	60	15
Alto	60 > rango >= 45	
Medio	45 > rango >= 30	
Bajo	30 > rango >= 15	
Muy bajo	15 > rango > 0	
Nulo	0	

La asignación de los grados de potencial se realizó mediante una selección por atributos en la que se fueron determinando los rangos y asignando los potenciales correspondientes. La Figura 42 muestra la asignación de los rangos utilizada en ArcMap



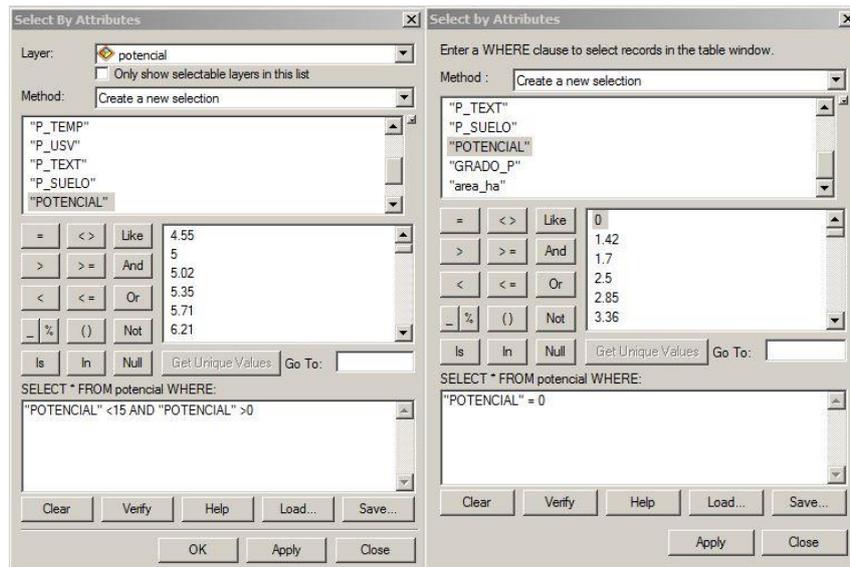


Figura 42. Proceso de asignación de grados de potencial

### 2.7.2 Exclusión de zonas

Como se indicó anteriormente, uno de los objetivos de este trabajo es lograr que las zonas de potencial identificadas no contribuyan al cambio de cobertura de uso de suelo y vegetación. Debido a esto, se determinó que en los polígonos donde la variable de uso de suelo y vegetación tuviera un valor de ponderación de 0 automáticamente se les asignaría un grado de potencial nulo. Esto se hizo con la finalidad de evitar que lugares que cumplan con las condiciones necesarias para el cultivo, pero debido a su uso de suelo, diferente al agrícola, no deberían cambiar la cubierta vegetal que los integra.

Se realizó una selección por atributos en la que se seleccionaron los valores de 0 pertenecientes a la columna de uso de suelo, es decir, todos los polígonos con valor de 0 en uso de suelo fueron categorizados en el potencial de producción nulo (Figura 43).

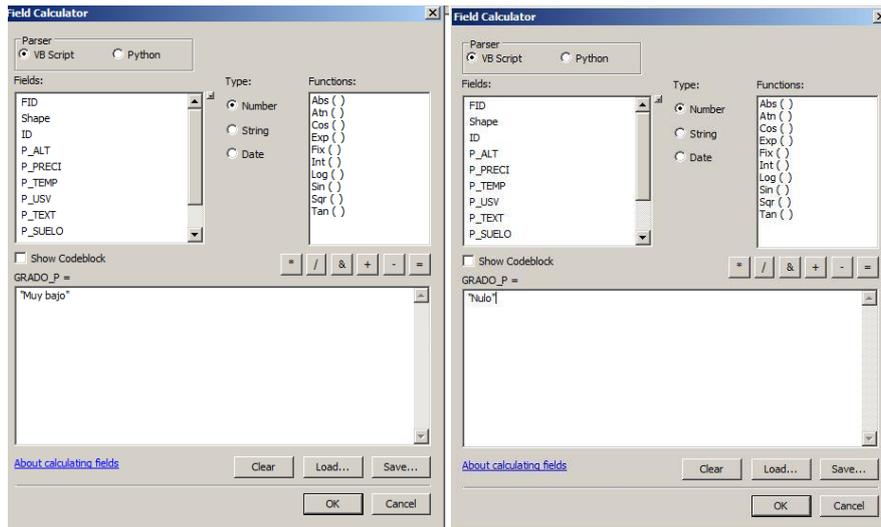


Figura 43. Proceso para la determinación de zonas de exclusión

El proceso final para la determinación de los grados de potencialidad de producción consistió en la generación de una simbología adecuada para representar de forma clara cada potencial, en donde se asignaron los colores mostrados en la Figura 44.

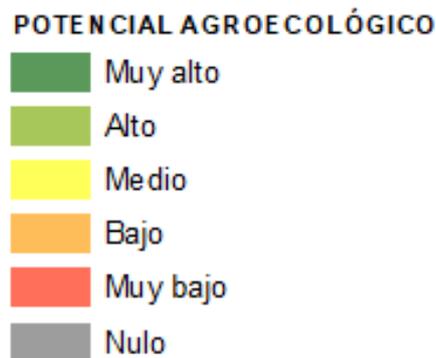


Figura 44. Simbología asignada a los grados de potencial

### 3. Resultados

Los siguientes mapas muestran los resultados obtenidos a partir del análisis multicriterio generado para cada especie en los estados con guía técnica. Como se mencionó al principio de la investigación no todos los estados de la República cuentan con guía técnica, en la Tabla 1 de la Sección 2 se muestra la lista de trece estados incluidos en esta investigación.

#### 3.1 *Ricinus communis L.*

##### 3.1.1. Chiapas

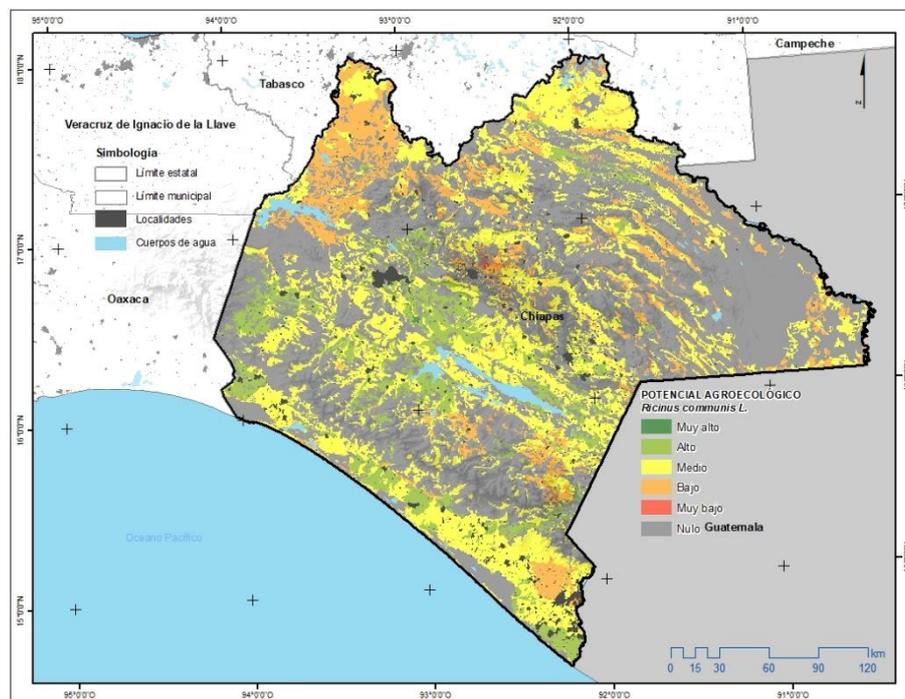


Figura 45. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Ricinus communis L.* en el estado de Chiapas. Generación propia con datos de INIFAP (2011)

El mapa de potencial de *Ricinus communis L.* del estado de Chiapas (Figura 45) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. En el mapa se observa que las zonas categorizadas con potencial de producción nulo corresponden a lugares donde el uso de suelo no es el adecuado, debido a que el estado presenta un gran número de Áreas Naturales Protegidas que fueron descartadas, además de corresponder a zonas donde ninguna de las variables agroecológicas es favorable. El potencial de producción muy bajo se localiza en una pequeña porción del centro-norte del estado, siendo el uso y tipo de suelo las únicas variables favorecedoras. El potencial bajo se encuentra en zonas



donde las variables de precipitación y el tipo de suelo, principalmente, no son las adecuadas, localizándose al centro-norte del estado. Las zonas con potencial medio son zonas donde la principal desventaja es el tipo de suelo y la precipitación, pues el estado presenta precipitaciones muy por encima de la precipitación requerida, estas zonas se ubican en su mayoría al norte del estado. Las zonas con potencial alto se localizan en lugares donde la precipitación y el tipo de suelo son los principales limitantes para la producción. Finalmente el potencial muy alto se encuentra en zonas muy pequeñas localizándose al centro-occidente del estado.

Tabla 19. Clasificación de la superficie total del estado de Chiapas para el cultivo de *Ricinus communis L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	1,860.248	0.025
Alto	614,864.836	8.351
Medio	2,001,633.687	27.187
Bajo	749,691.993	10.183
Muy Bajo	2,425.570	0.033
Nulo	3,991,944.326	54.221
Total	7,362,420.660	100.000

La Tabla 19 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que las zonas con potencial de producción muy alto corresponden al 0.025% de la superficie estatal, siendo ésta la de menor presencia en el estado. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 8.351% de la totalidad del estado. El potencial de producción medio se localiza en el 27.187% del territorio estatal y el potencial bajo en el 10.183%. El potencial de producción muy bajo se distribuye en una pequeña porción del estado, representado por el 0.033% de superficie estatal. Las zonas con potencial de producción nulo se distribuyen en la mayoría del estado, presentándose en el 54.221% de la superficie estatal.

### 3.1.2. Guanajuato

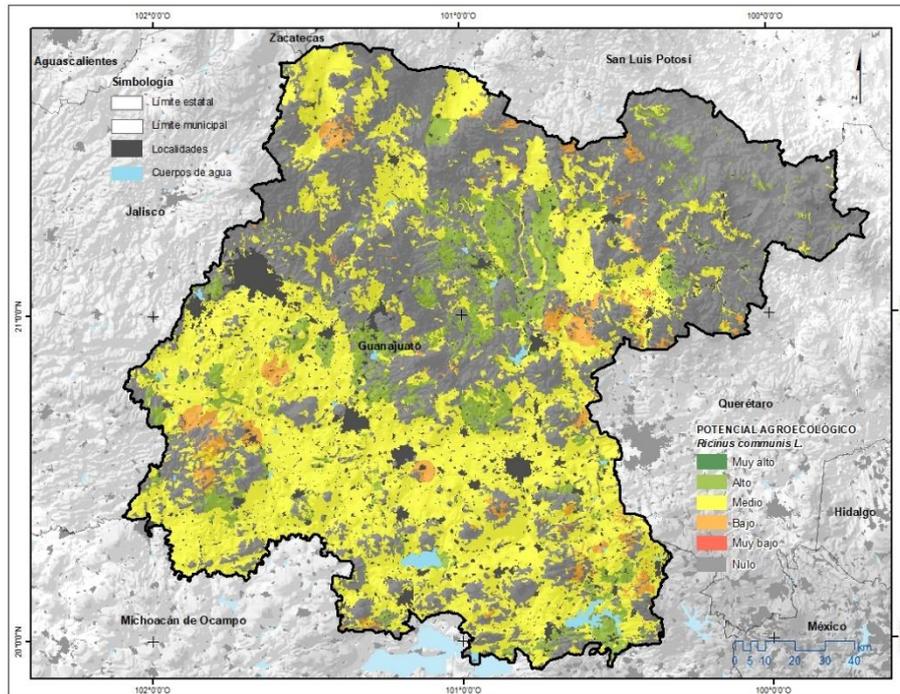


Figura 46. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Ricinus communis* L. en el estado de Guanajuato. Generación propia con datos de INIFAP (2012a)

El mapa de potencial de *Ricinus communis* L. del estado de Guanajuato (Figura 46) muestra la distribución de los rangos de potencial para el estado. El resultado señala que las zonas categorizadas como zonas de potencial de producción nulo se localizan en zonas donde el uso de suelo no es el adecuado, pues se distribuyen en donde se localizan las Áreas Naturales Protegidas, además de presentarse las principales zonas montañosas. Las zonas con potencial de producción muy bajo se localizan en el perímetro del estado, principalmente en la parte sur, donde el uso de suelo y la altitud presentan condiciones favorables al cultivo. El potencial de producción bajo se encuentra en pequeñas porciones de tierra distribuidas en toda la entidad, en las que las variables tipo y textura del suelo no son las óptimas para la producción. El potencial de producción medio se localiza principalmente en toda la zona del Bajío, en donde el uso de suelo fue considerado como el ideal para la producción, pues representa la zona agrícola del estado, siendo las variables de tipo y textura de suelo las de mayor efecto negativo en el crecimiento de la especie. Las zonas con potencial de producción alto se distribuyen en todo el estado, mostrándose una mayor concentración en la porción centro-norte, siendo la variable de tipo de suelo la limitante para la producción. El potencial de producción muy alto es casi



inexistente en el estado, pues solo existen dos pequeñas porciones de tierra con las condiciones aptas para la producción.

Tabla 20. Clasificación de la superficie total del estado de Guanajuato para el cultivo de *Ricinus communis L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	0.681	0.00002
Alto	288,482.564	9.506
Medio	1,318,476.035	43.445
Bajo	94,553.924	3.116
Muy Bajo	19.440	0.001
Nulo	1,333,300.686	43.933
Total	3,034,833.330	100.000

La Tabla 20 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que las zonas con potencial de producción muy alto corresponden únicamente al 0.00002% de la superficie estatal, lo que corresponde a menos de una hectárea dentro de todo el estado. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 9.506% de la superficie. Guanajuato presenta un potencial de producción medio en el 43.445% de su superficie. El 3.116% corresponde al potencial de producción bajo. El potencial de producción muy bajo solamente se presenta en el 0.001% de la superficie estatal y finalmente el 43.934% representa las zonas donde no existe potencial de producción del cultivo.

### 3.1.3. Hidalgo

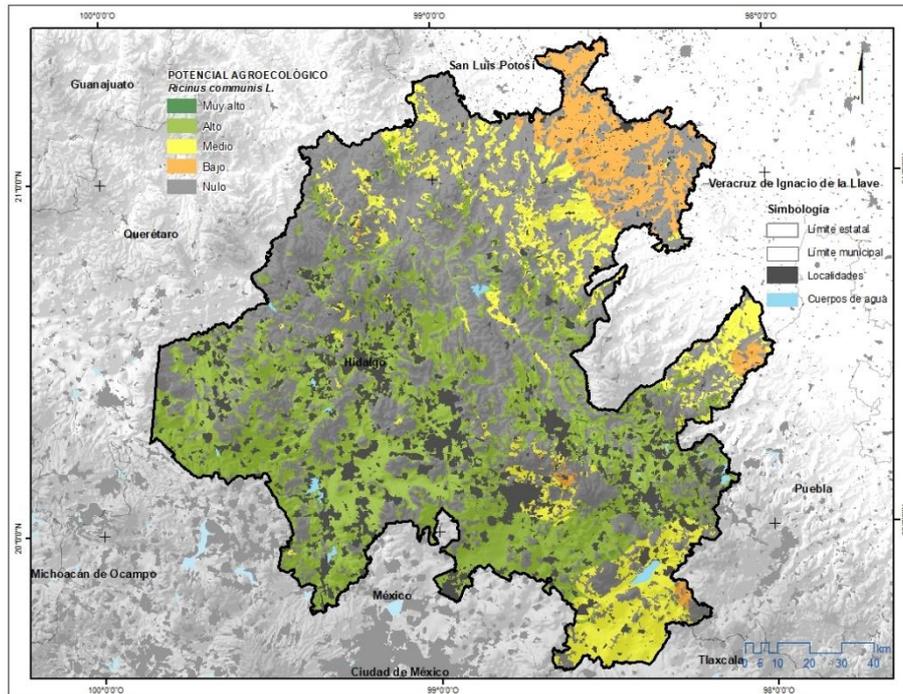


Figura 47. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Ricinus communis L.* en el estado de Hidalgo. Generación propia con datos de INIFAP (2014)

El mapa de potencial de *Ricinus communis L.* del estado de Hidalgo (Figura 47) muestra la distribución de los rangos de potencial. El resultado arroja que las zonas con potencial nulo para la producción del cultivo se distribuyen a lo largo de todo el estado, ubicándose principalmente en la porción centro-norte. Hidalgo no cuenta con zonas con potencial de producción muy bajo. El potencial bajo se localiza principalmente al norte del estado en donde la altitud es la principal variable no apta para la producción, además de la precipitación y la temperatura presentes en esas zonas. El potencial medio se distribuye al norte y sur del estado en donde la precipitación y la altitud no presentan los valores requeridos. El potencial de producción alto se distribuye al centro y sur del estado en donde la altitud es la principal limitante para la producción. Las zonas con potencial muy alto se localizan al sur del estado siendo mínimas las zonas con este potencial.

Tabla 21. Clasificación de la superficie total del estado de Hidalgo para el cultivo de *Ricinus communis L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	1,434.231	0.069
Alto	762,599.405	36.917
Medio	248,185.924	12.015
Bajo	120,888.262	5.852

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Bajo	0.000	0.000
Nulo	932,595.082	45.147
Total	2,065,702.904	100.000

La Tabla 21 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que Hidalgo presenta las zonas con potencial de producción muy alto en el 0.069% de su superficie, siendo zonas con muy poca presencia en el estado. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 36.917% de la superficie. El 12.015% de la superficie del estado está conformada por zonas con potencial de producción medio y el 5.852% por zonas con potencial bajo. Hidalgo no cuenta con zonas de potencial de producción muy bajo. La mayor superficie del estado se encuentra formada por zonas sin potencial de producción siendo el 45.147% del total estatal.

### 3.1.4. Jalisco

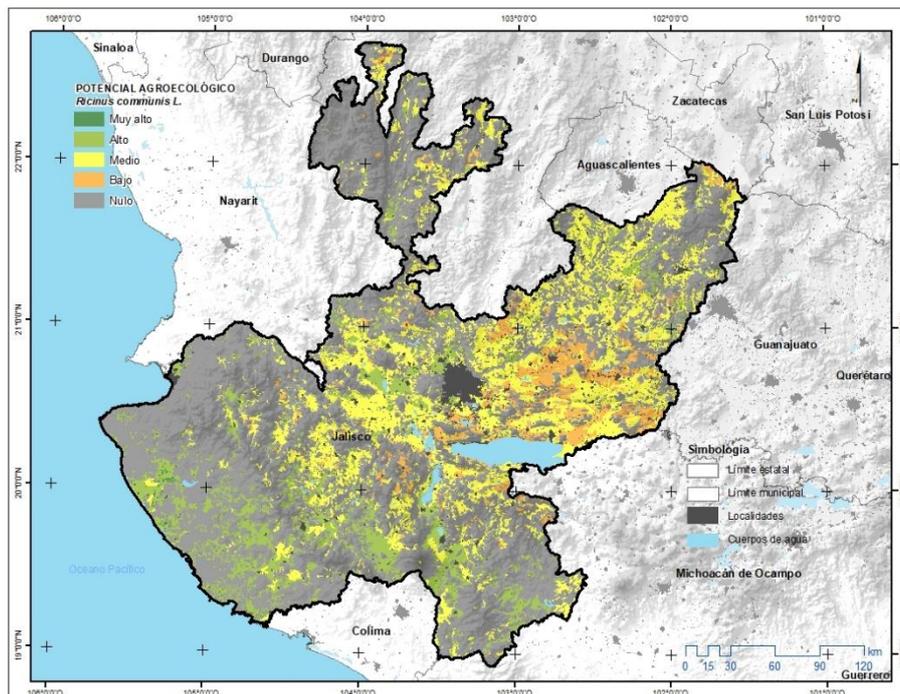


Figura 48. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Ricinus communis* L. en el estado de Jalisco. Generación propia con datos de INIFAP (2011)

El mapa de potencial de *Ricinus communis* L. del estado de Jalisco (Figura 48) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. Las zonas de potencial de producción nulo se localizan a lo largo de todo el estado. Jalisco no cuenta con zonas de potencial de producción muy bajo. El potencial bajo se



localiza alrededor de todo el estado, siendo la precipitación y la temperatura las variables que restringen la producción. Las zonas de potencial medio se distribuyen especialmente en el centro del estado en donde la altitud y la precipitación no son favorables. El potencial alto se localiza en pequeñas porciones del estado, en donde la variable altitud es la que reduce su potencial. El estado de Jalisco no presenta zonas con potencial de producción muy alto, evidenciando así que en el estado no existen zonas con todas las condiciones aptas para la producción de higuera.

Tabla 22. Clasificación de la superficie total del estado de Jalisco para el cultivo de *Ricinus communis* L. (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	0.000	0.000
Alto	1,370,982.039	17.583
Medio	1,427,764.511	18.311
Bajo	61,637.856	0.791
Muy Bajo	0.000	0.000
Nulo	4,936,754.432	63.315
Total	7,797,138.838	100.000

La Tabla 22 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se puede observar que Jalisco no cuenta con zonas con potencial de producción muy alto ni muy bajo, distribuyéndose la tierra entre los cuatro potenciales restantes. Las zonas con alto potencial para el cultivo de higuera conforman el 17.583% de la superficie estatal. El estado presenta el 18.311% de su superficie con potencial de producción medio. El potencial de producción bajo se encuentra únicamente en el 0.791% de la superficie estatal. Finalmente el 63.315% de la superficie estatal corresponde a zonas con potencial de producción nulo.

### 3.1.5. Michoacán

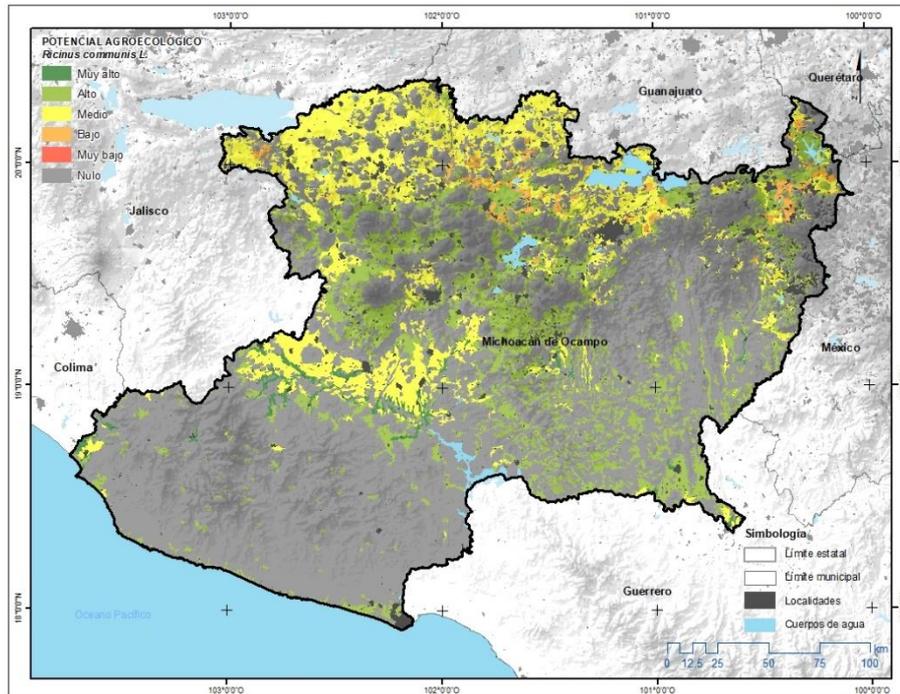


Figura 49. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Ricinus communis L.* en el estado de Michoacán. Generación propia con datos de INIFAP (2011)

El mapa de potencial de *Ricinus communis L.* del estado de Michoacán (Figura 49) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. Las zonas sin potencial de producción se distribuyen en la mayoría del estado. El potencial de producción muy bajo se localiza en el noreste del estado, donde únicamente el uso de suelo es el adecuado para el cultivo. El potencial medio se localiza en pequeñas porciones al norte del estado en donde se carece de principalmente de la temperatura y el tipo de suelo ideales. Las zonas con potencial medio se ubican en el centro y norte siendo las variables de textura de suelo y temperatura no aptas. El potencial alto de producción se concentra en el centro, norte y algunas porciones al sur. Es en estas zonas donde principalmente el uso de suelo afecta el potencial de producción. El potencial muy alto se concentra al centro-oeste del estado y una pequeña porción en la costa norte, siendo estas zonas las ideales para el cultivo de la higuera.

Tabla 23. Clasificación de la superficie total del estado de Michoacán para el cultivo de *Ricinus communis L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	69,940.061	1.200
Alto	1029148.440	17.652
Medio	807,791.681	13.855
Bajo	75,996.984	1.304

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Bajo	5.252	0.0001
Nulo	3,847,243.091	65.989
Total	5,830,125.510	100.000

La Tabla 23 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que en Michoacán las zonas con grado de potencial muy alto corresponden al 1.200% de la superficie estatal, siendo ésta la de menor presencia en el estado. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 17.652% de la superficie estatal. El potencial de producción medio se localiza en el 13.855% de la superficie. Sólo el 1.304% corresponde al potencial bajo. El potencial de producción muy bajo se localiza únicamente en el 0.0001% de la superficie estatal. La mayor superficie del estado corresponde a zonas que no presentan ningún potencial de producción, formando así el 65.989% de la superficie.

### 3.1.6. Valles Centrales de Oaxaca

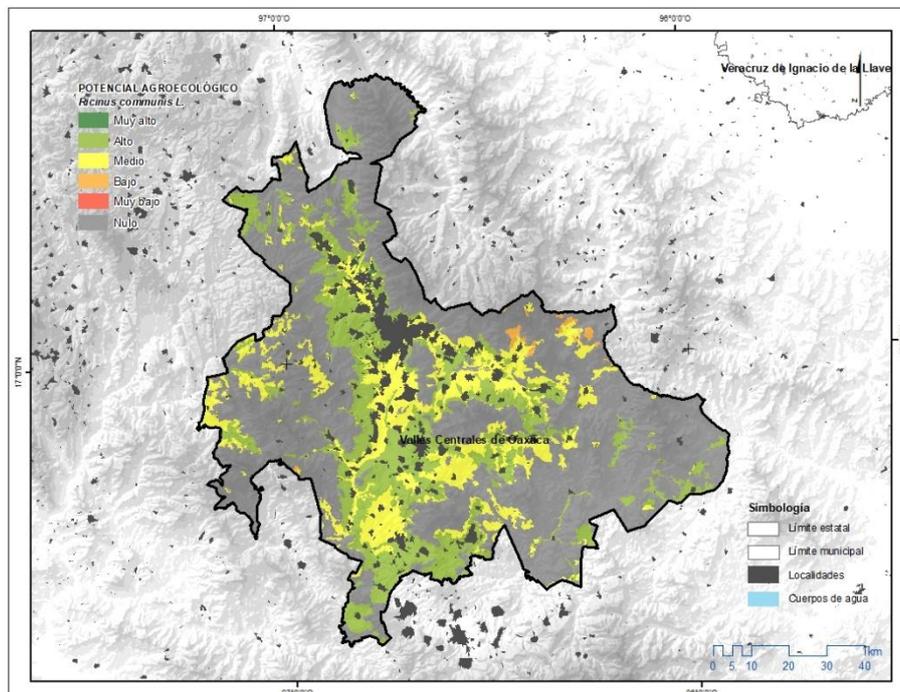


Figura 50. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Ricinus communis L.* en los Valles Centrales de Oaxaca. Generación propia con datos de INIFAP (2013)

Es importante mencionar que en Oaxaca no se trabajó la totalidad del estado debido a que la guía técnica publicada por INIFAP únicamente se aplica



para la región de Los Valles Centrales de Oaxaca, siendo que aún no existe información para la totalidad del estado. El mapa de potencial de *Ricinus communis L.* de Los Valles Centrales de Oaxaca (Figura 50) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. El resultado muestra que el potencial de producción nulo se localiza en la mayoría de la región. La región no presenta zonas con potencial de producción muy bajo. El potencial bajo se distribuye en el centro-este de la región, siendo estas zonas lugares donde la textura y el tipo de suelo no son aptos. El potencial medio se localiza en el centro de la región, en donde se presentan tipos de suelo diferentes al necesario para la producción del cultivo. El potencial alto muestra un gran número de polígonos en los que las variables que presentan algún inconveniente para la producción son la altitud y la temperatura. Existen pequeñas zonas distribuidas en la región con potencial de producción muy alto, mostrándose una concentración en la porción centro-norte de la región.

Tabla 24. Clasificación de la superficie total de los Valles Centrales de Oaxaca para el cultivo de *Ricinus communis L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	2,379.847	0.254
Alto	205,625.415	21.978
Medio	145,708.842	15.574
Bajo	4,709.216	0.503
Muy Bajo	0.000	0.000
Nulo	577,189.480	61.691
Total	935,612.800	100.000

La Tabla 24 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en la región. Se observa que en Los Valles Centrales de Oaxaca las zonas con potencial de producción muy alto corresponden al 0.254% de la superficie regional, siendo ésta la de menor presencia en la región. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 21.978% de la superficie. El 15.574% de la superficie corresponde a zonas con potencial de producción medio y el 0.503% al potencial de producción bajo. Como se mencionó anteriormente en la región no existen zonas con potencial de producción muy bajo. Finalmente se observa que el 61.691% de la superficie se encuentra conformado por zonas que no cuentan con potencial de producción para el cultivo.

### 3.2. *Jatropha curcas L.*

#### 3.2.1. Chiapas

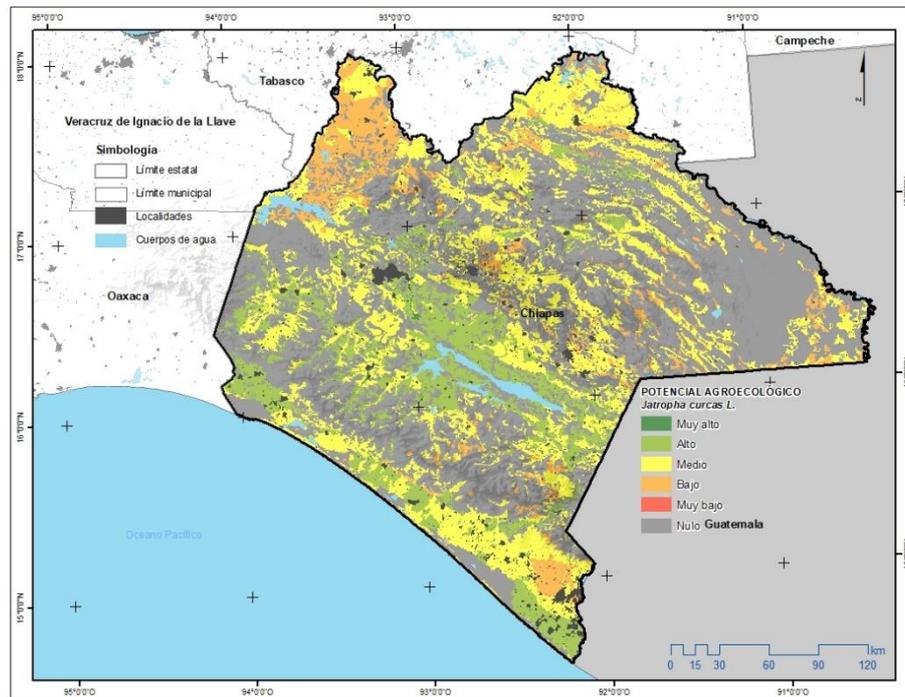


Figura 51. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas L.* en el estado de Chiapas. Generación propia con datos de INIFAP (2011)

El mapa de potencial de *Jatropha curcas L.* del estado de Chiapas (Figura 51) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. Los requerimientos agroecológicos para la producción de *Jatropha curcas L.* en Chiapas son muy similares a los de *Ricinus communis L.* por lo que los mapas resultantes son muy similares, mostrándose solo algunas diferencias en el potencial alto, pues para la *Jatropha* aumenta el área categorizada con este potencial siendo el tipo de suelo la variable condicionante para la producción del cultivo.

Tabla 25. Clasificación de la superficie total del estado de Chiapas para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	4,268.471	0.058
Alto	938,372.591	12.745
Medio	1,858,345.446	25.241
Bajo	569,477.695	7.735
Muy Bajo	11.750	0.0002
Nulo	3,991,943.550	54.221
Total	7,362,419.503	100.000

La Tabla 25 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que Chiapas presenta en un 0.058% de la superficie estatal zonas con potencial de producción muy alto, siendo ésta la de menor presencia en el estado. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 12.745% de la superficie total. El potencial medio se encuentra en el 25.241% de la superficie. El 7.735% se encuentra constituido por zonas con un potencial bajo de producción. El potencial de producción muy bajo se presenta en el 0.0002% de la superficie. Finalmente las áreas con potencial de producción nulo se presentan en el 54.221% de la superficie estatal.

### 3.2.2. Guanajuato

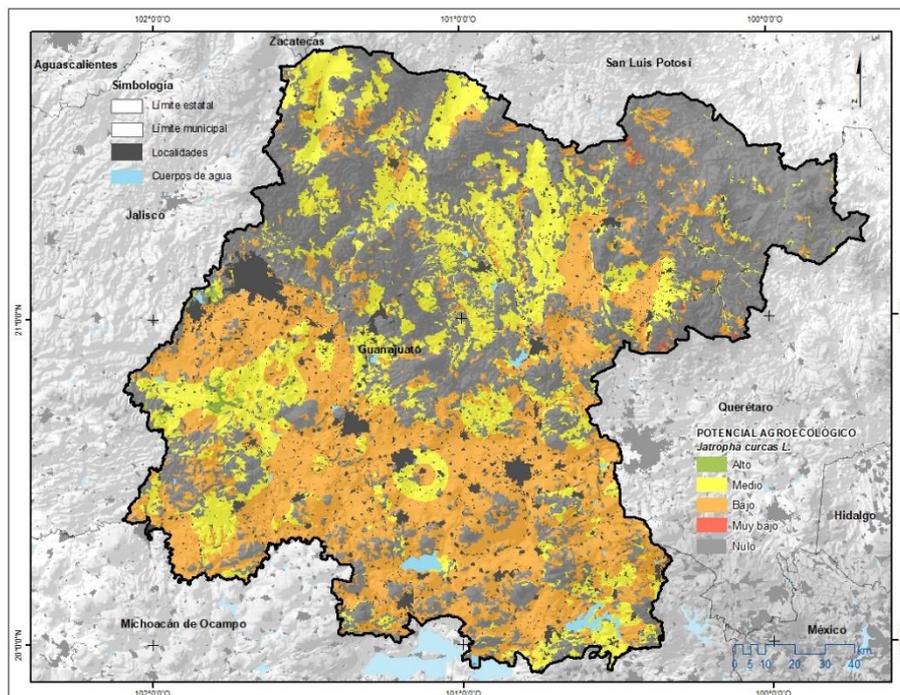


Figura 52. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas L* en el estado de Guanajuato. Generación propia con datos de INIFAP (2012b)

El mapa de potencial de *Jatropha curcas L.* del estado de Guanajuato (Figura 52) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. En este mapa se observa el potencial de producción nulo se localiza en la parte norte y el perímetro sur del estado. El potencial de producción muy bajo se localiza en el noreste del estado, donde el uso de suelo es la principal variable que beneficia a la especie. El potencial de producción bajo se localiza en la mayor parte de la zona del Bajío siendo las variables de altitud y tipo de suelo las que en su mayoría afectan el crecimiento de la *Jatropha*. El potencial de producción medio



se localiza mayoritariamente en el norte-este del estado, siendo la altitud la variable que limita la producción. El potencial de producción alto se localiza al este del estado, siendo estas zonas las que presentan el mejor potencial de producción de *Jatropha* en el estado. En resumen la variable que afecta en mayor proporción la producción de *Jatropha* es la altitud presente en el estado.

Tabla 26. Clasificación de la superficie total del estado de Guanajuato para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	0.000	0.000
Alto	12,807.816	0.422
Medio	645,380.043	21.465
Bajo	1,038,197.933	34.209
Muy Bajo	2,536.646	0.084
Nulo	1,335,958.052	44.020
Total	3,034,833.329	100.000

La Tabla 26 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que Guanajuato no cuenta con zonas de potencial muy alto. El potencial alto de producción se encuentra únicamente en el 0.422% de la superficie estatal. El 21.465% de la superficie corresponde al potencial de producción medio. El potencial bajo se localiza en el 34.209% de la superficie estatal. El potencial de producción muy bajo representa únicamente el 0.084% de la superficie estatal. Finalmente el 44.020% corresponde a zonas con un potencial de producción muy bajo.

### 3.2.3. Hidalgo

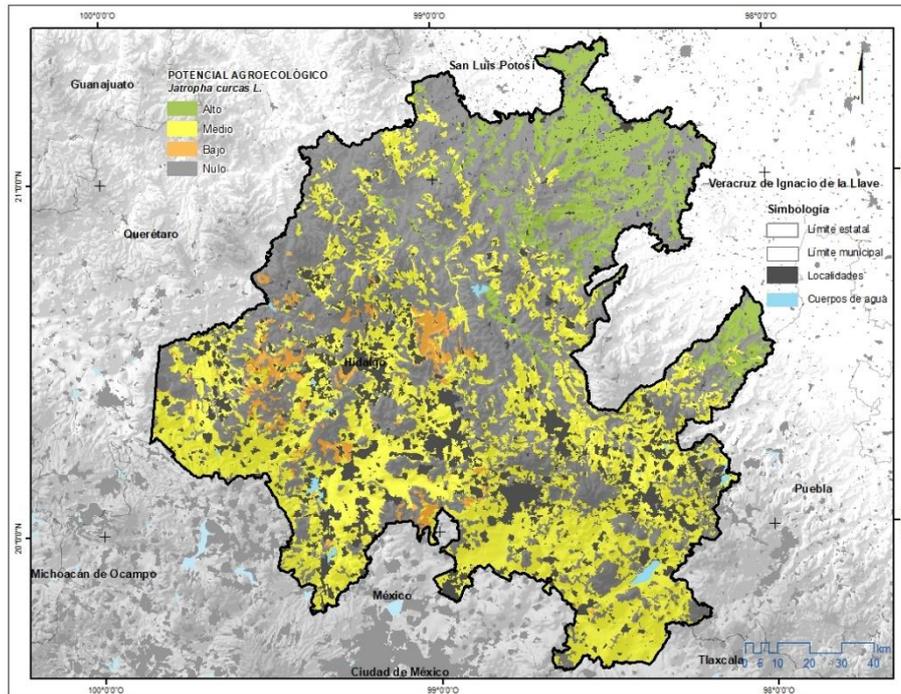


Figura 53. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas L.* en el estado de Hidalgo. Generación propia con datos de INIFAP (2013)

El mapa de potencial de *Jatropha curcas L.* del estado de Hidalgo (Figura 53) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. Las zonas con potencial de producción nulo se distribuyen en todo el estado concentrándose principalmente en la porción centro-norte en donde el uso de suelo no es el adecuado para la producción de *Jatropha*. El estado no presenta potencial de producción muy bajo. El potencial bajo se distribuye en pequeñas zonas a lo largo del estado, siendo la precipitación, la temperatura y la altitud no aptas para la producción. Las zonas de potencial medio se distribuyen en todo el sur del estado, en donde la altitud y la temperatura no son las adecuadas. El potencial alto se localiza en el norte del estado siendo la precipitación y la altitud las variables que limitan la producción. El estado no presenta zonas con potencial de producción muy alto, pues no se encuentran polígonos en donde confluyan las características ideales para la producción.

Tabla 27. Clasificación de la superficie total del estado de Hidalgo para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	0.000	0.000
Alto	206,764.086	10.009
Medio	871,998.806	42.213
Bajo	54,344.930	2.631

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Bajo	0.000	0.000
Nulo	932,595.082	45.147
Total	2,065,702.904	100.000

La Tabla 27 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que Hidalgo no cuenta con zonas de potencial de producción muy alto ni muy bajo. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 10.009% de la superficie estatal. El potencial de producción medio se encuentra distribuido en el 42.213% de la superficie estatal, siendo el segundo potencial con más presencia en el estado. El 2.631% corresponde al potencial de producción bajo. Finalmente el 45.147% corresponde zonas con potencial de producción nulo.

### 3.2.4. Jalisco

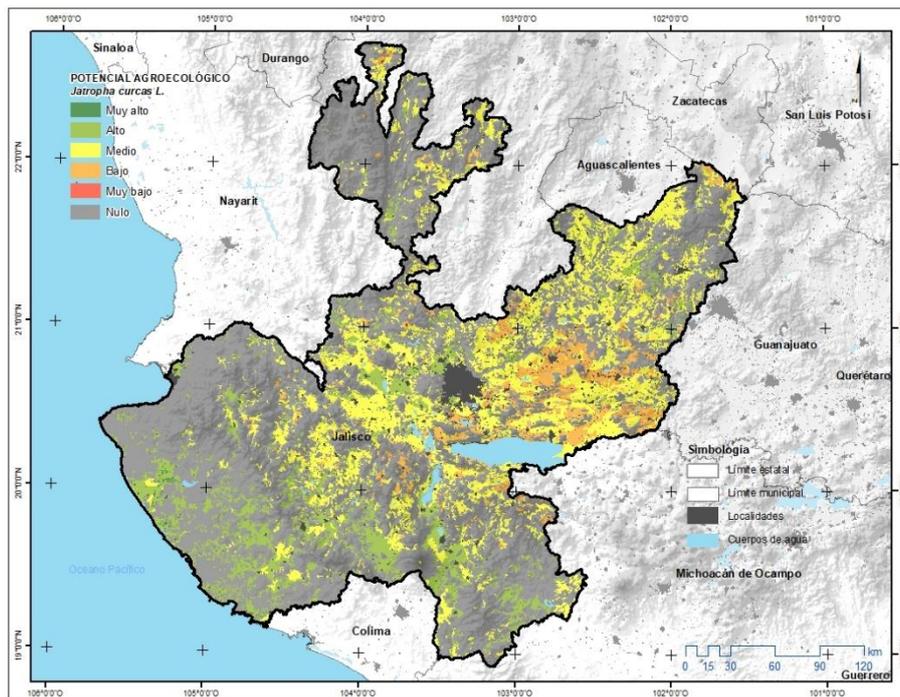


Figura 54. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas L.* en el estado de Jalisco. Generación propia con datos de INIFAP (2011)

El mapa de potencial de *Jatropha curcas L.* del estado de Jalisco (Figura 54) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. Las zonas de potencial de producción muy bajo se localizan en una gran porción del estado, en donde el uso de suelo no es el adecuado para la producción de *Jatropha*. El potencial de producción nulo se distribuye a lo largo de todo el estado. El



potencial de producción muy bajo se encuentra en el perímetro este del estado, siendo el uso y tipo de suelo las variables favorables. El potencial de producción bajo se localizan en el este del estado, es en estas zonas donde la temperatura y la altitud afectan el crecimiento del cultivo. El potencial medio se localiza en el centro y este del estado, siendo las variables de altitud y tipo de suelo no aptas para la producción. Las zonas con potencial alto se localizan en el centro y sur del estado. Las zonas categorizadas con este potencial presentan la mayoría de las condiciones aptas para la producción del cultivo siendo la altitud la variable limitante. Las zonas con potencial muy alto se ubican en la cercanía de la costa y algunas porciones más al centro de la entidad.

Tabla 28. Clasificación de la superficie total del estado de Jalisco para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	9,149.475	0.117
Alto	828,958.987	10.632
Medio	1,628,169.098	20.882
Bajo	394,081.504	5.054
Muy Bajo	25.342	0.0003
Nulo	4,936,754.431	63.315
Total	7,797,138.837	100.000

La Tabla 28 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que en Jalisco las zonas con grado de potencial muy alto corresponden al 0.117% de la superficie estatal, siendo ésta la de menor presencia en el estado. El potencial de producción alto corresponde al 10.632% de la superficie total. El 20.882% se compone por el potencial de producción alto, siendo éste el segundo potencial con mayor distribución. El potencial de producción bajo ocupa el 5.054% y únicamente el 0.0003% de la superficie ocupa el potencial de producción muy bajo. Finalmente las zonas con potencial de producción nulo se encuentran en el 63.315% de la superficie estatal.

### 3.2.5. Michoacán

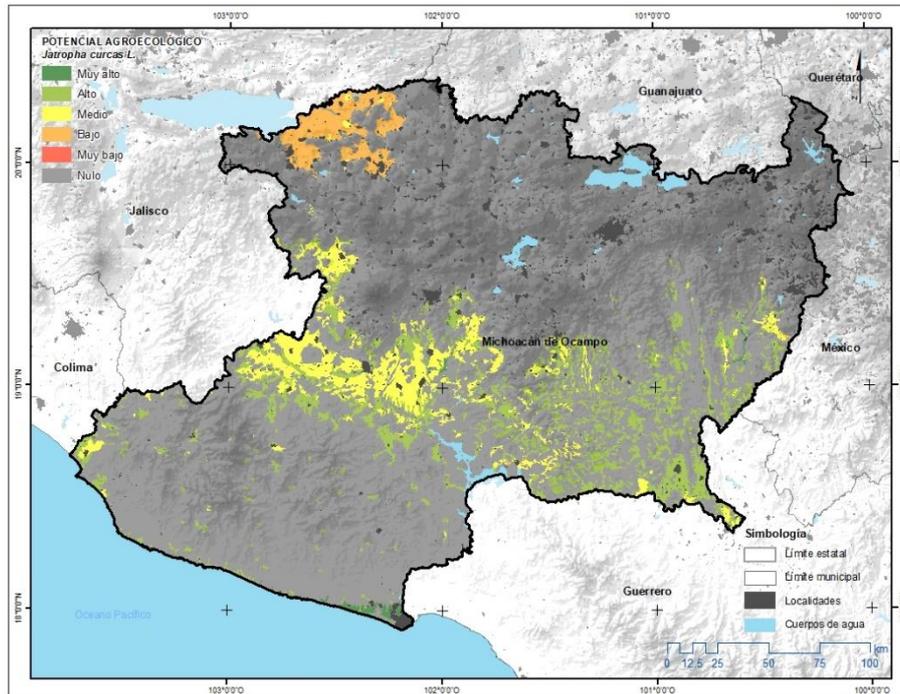


Figura 55. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas L.* en el estado de Michoacán. Generación propia con datos de INIFAP (2011)

El mapa de potencial de *Jatropha curcas L.* del estado de Michoacán (Figura 55) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. Las zonas que fueron determinadas con potencial nulo se encuentran en la mayoría del estado, en estas zonas se ubican principalmente zonas de conservación como bosques. El potencial de producción muy bajo se localiza en el noroeste del estado, siendo el uso de suelo la variable favorable. Localizadas al norte del estado se encuentran las zonas determinadas con potencial de producción bajo en las que la textura del suelo y la altitud no son adecuadas para la producción. El potencial de producción medio se localiza al centro y norte del estado siendo la textura del suelo la principal condicionante. Las zonas con potencial alto se ubican en el centro del estado en donde la altitud no es muy favorable para el cultivo pues se presentan elevaciones más altas que las requeridas. El potencial muy alto se ubica en tres grupos: uno en la costa sur, otro en el centro y otro más al este del estado; presentándose en estas zonas las condiciones ideales para el cultivo de la especie.

Tabla 29. Clasificación de la superficie total del estado de Michoacán para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	17,524.424	0.301

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Alto	493,133.997	8.458
Medio	280,470.226	4.811
Bajo	114,291.786	1.960
Muy Bajo	6.299	0.0001
Nulo	4,924,844.464	84.470
Total	5,830,271.195	100.000

La Tabla 29 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que las zonas con grado de potencial muy alto corresponden al 0.301% de la superficie estatal. El potencial de producción alto corresponde al 8.458% de la superficie estatal. El 4.811% corresponde al potencial de producción medio. El potencial de producción muy bajo ocupa una pequeña parte de extensión territorial estatal presentándose únicamente en el 1.960%. El potencial de producción muy bajo se encuentra únicamente en el 0.0001% de la superficie, siendo éste el de menor presencia en el estado. Finalmente el potencial de producción nulo ocupa el 84.470% de la superficie del estado.

### 3.2.6. Sinaloa

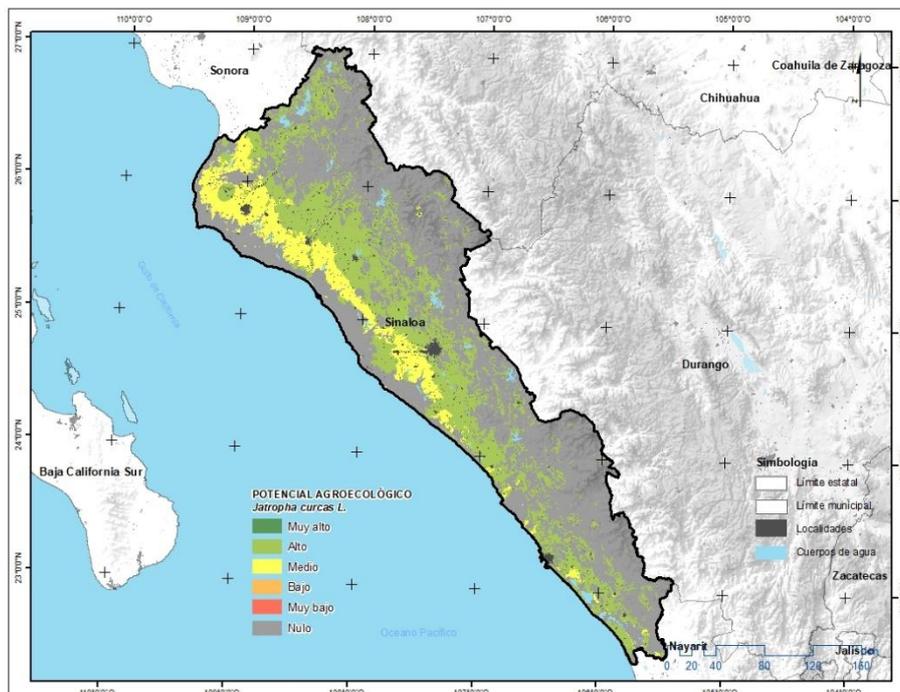


Figura 56. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas* L. en el estado de Sinaloa. Generación propia con datos de Compendio *Jatropha* (2013)



El mapa de potencial de *Jatropha curcas L.* del estado de Sinaloa (Figura 56) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. Las zonas con potencial nulo se encuentran distribuidas en toda la zona este del estado correspondiente a la zona montañosa y la porción cercana a la costa, pues es en estos lugares donde se encuentra la zona de manglar. El potencial de producción muy bajo se localiza en el perímetro del estado. El potencial bajo se localiza en pequeñas porciones a lo largo de la costa en donde la altitud, el tipo y textura del suelo no son adecuadas. El potencial medio se localiza en toda la zona agrícola del estado cumpliendo con la mayoría de las variables agroecológicas pero la altitud a la que se encuentran esas tierras no es la adecuada. El potencial alto se localiza a lo largo de una franja central que recorre el estado, cumpliendo con todas las variables excepto la variable precipitación, en la mayoría de los casos. El potencial muy alto se localiza en pequeñas porciones principalmente en el norte y sur del estado.

Tabla 30. Clasificación de la superficie total del estado de Sinaloa para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	2,674.031	0.047
Alto	1,632,580.298	28.740
Medio	554,676.565	9.764
Bajo	633.950	0.011
Muy Bajo	0.027	0.0000005
Nulo	3,490,008.953	61.438
Total	5,680,573.824	100.000

La Tabla 30 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Se observa que las zonas con grado de potencial muy alto corresponden al 0.047% de la superficie estatal. Las zonas con alto potencial para el cultivo conforman el 28.740% de la superficie estatal. El 9.764% de la superficie estatal corresponde al potencial de producción medio. El potencial de producción bajo corresponde al 0.011% de la superficie estatal. El potencial de producción muy bajo se distribuye en el 0.0000005% de la superficie, siendo el de menor presencia en el estado. Finalmente las zonas con potencial nulo de producción se presentan en el 61.438% de la superficie de todo el estado.

### 3.2.7. Tabasco

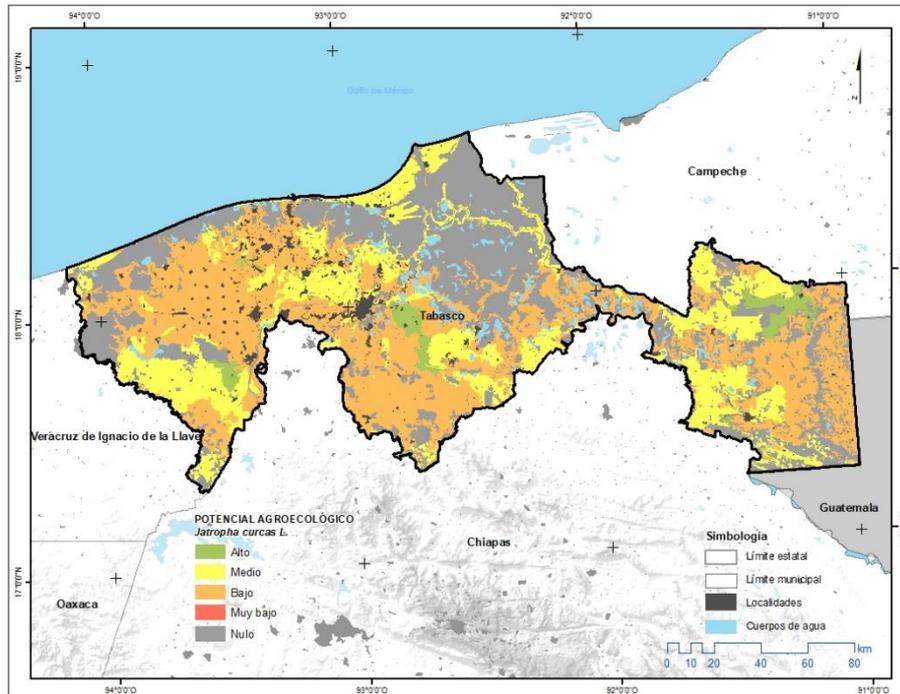


Figura 57. Mapa de identificación de zonas territoriales potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas L.* en el estado de Tabasco. Generación propia con datos de la UNAM (2014)

El mapa de potencial de *Jatropha curcas L.* del estado de Tabasco (Figura 57) muestra la distribución de los rangos de potencial obtenida. En este mapa se observa que las zonas clasificadas con potencial de producción nulo corresponden principalmente zonas de conservación de manglar y tular, las cuales fueron descartadas por el objetivo de conservación de uso de suelo actual. Las zonas del estado caracterizadas con potencial de producción muy bajo se localizan en el perímetro del estado, es en estas zonas donde la altitud es la única variable adecuada para la producción de la especie. La precipitación y la temperatura presentes en el estado son ideales para la producción de *Jatropha* por lo que la mayoría de las áreas que fueron clasificadas con potencial de producción alto corresponden a zonas donde la variable que limita el potencial de producción es la altitud. El estado de Tabasco no presenta zonas con potencial de producción muy alto, mostrando así que en el estado no existen zonas en donde converjan todas las condiciones aptas para la producción de higuierilla.

Tabla 31. Clasificación de la superficie total del estado de Tabasco para el cultivo de *Jatropha curcas L.* (Elaboración propia)

Grado de potencial	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	0.000	0.000



<b>Grado de potencial</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Alto	67,733.244	2.743
Medio	559,985.156	22.675
Bajo	967,307.323	39.168
Muy Bajo	32.436	0.001
Nulo	874,609.258	35.414
Superficie Total	2,469,667.417	100.000

La Tabla 31 muestra las superficies correspondientes a cada grado de potencial en el estado. Como se mencionó anteriormente Tabasco no cuenta con zonas de potencial muy alto, el potencial alto se localiza en el 2.743% de la superficie total. El 22.675% de la superficie estatal corresponde al potencial medio de producción, mientras que el potencial bajo es el que tiene mayor presencia en el estado representado por el 39.168%. El potencial de producción muy bajo se localiza en el 0.001% de la superficie estatal. Finalmente el potencial nulo representa el 35.414% de la superficie.



#### 4. Conclusiones

La evaluación llevada a cabo a través de Sistemas de Información Geográfica y la metodología del análisis multicriterio aplicados a la determinación de zonas agrícolas de potencial de *Ricinus communis L.* y *Jatropha curcas L.* arroja resultados que permiten a todos los tomadores de decisiones seleccionar de manera concreta cuál será el plan de acción a llevar a cabo para determinar las zonas de cultivo que cumplan de la mejor manera con los requerimientos necesarios.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica como una herramienta para la elaboración de los análisis multicriterio es un instrumento útil que ha mostrado su eficacia en los buenos resultados arrojados por los análisis efectuados; pues estos sistemas no solo se limitan a visualizar y representar información geográfica referenciada, demostrando que las herramientas de análisis espacial tienen amplia capacidad para auxiliarnos en el manejo de grandes cantidades de datos, generación de información y sobre todo facilitar el conocimiento del territorio en estudio.

Dentro de los análisis multicriterio es importante mencionar que la identificación de variables agroecológicas es un aspecto crucial para lograr identificar las zonas ideales para la producción de las especies seleccionadas. Dicha identificación causó ciertas dificultades pues a nivel nacional existen pocas instituciones dedicadas a la elaboración de documentos con información técnica de cultivos utilizados como biomasa.

El diseño de la Tabla de Ponderaciones logró que las variables agroecológicas involucradas en el análisis multicriterio se integrarán de manera eficiente a la matriz de evaluación necesaria para llevar a cabo la elaboración del análisis. Es importante mencionar que los criterios y las alternativas implicados en cualquier análisis deben ajustarse de manera eficiente a la matriz de evaluación para que a partir de ésta se pueda realizar la ponderación de los datos necesaria para lograr que el análisis genere los mejores resultados de acuerdo a la realidad.

Uno de los objetivos en materia ambiental propuestos en este trabajo fue lograr que las zonas de potencial colaboraran con la conservación del uso de suelo actual que presenta la tierra. Para realizar la exclusión de zonas con coberturas consideradas de conservación fue necesario realizar la selección de dichas



zonas para posteriormente asignar nuevos valores de ponderación. Este procedimiento tuvo como consecuencia que muchas de las zonas consideradas como aptas para el cultivo fueran desechadas del análisis aun siendo las óptimas para la producción de los cultivos.

La Priorización de áreas de uso agrícola y desprovistas de vegetación como zonas de potencial fue llevada a cabo con facilidad pues se asignaron los valores necesarios para poder determinar que esto sucediera. No obstante, es importante reconocer que las áreas de uso agrícola como zonas dedicadas al cultivo de las especies seleccionadas puede generar un conflicto entre los cultivos dedicados a la producción de biomasa y los cultivos dedicados a la alimentación humana lo que requiere una buena planeación en la que se determine la metodología de cultivo óptima en la que no interfiera un cultivo con otro. Evidentemente con la producción de biomasa de segunda generación se debe mantener cierto cuidado en cuanto a las zonas de producción que ocupan, pues de no ser así, existirá una problemática que dará paso a una disputa entre las zonas para cultivar. Como consecuencia, existirá un aumento inminente tanto en los biocombustibles generados a partir de biomasa como de los alimentos.

Es importante señalar que la representación temática de la información debe realizarse de modo que los resultados obtenidos ocupen una posición prioritaria de visualización y que los datos que procesados puedan localizarse en el mapa con un nivel de transparencia de despliegue que no interfiera con el objetivo de representar resultados del análisis llevado a cabo.

Como se mostró en la sección 2.4 Capas de información es importante considerar el nivel de detalle de información representado por la escala de los datos, pues la calidad del análisis está asociada a ello; de acuerdo al análisis realizado aún es posible alcanzar un nivel de escala mayor y así tener resultados más precisos.

Indiscutiblemente la metodología diseñada puede ser modificada con el fin de aumentar la exactitud de los resultados, siendo uno de estas modificaciones la generación de nueva información geográfica tal es el caso de información de reciente generación o información con más detalle.



Queda demostrado que el uso de los Sistemas de Información Geográfica como una herramienta para el desarrollo de los análisis multicriterio aplicados a la zonificación de las actividades humanas permite integrar la información generada por otros campos de conocimiento, para presentarlos de manera clara a cualquier individuo con participación en la toma de decisiones.

Un trabajo de análisis espacial como este requiere además de un proceso de validación de campo. Si no se conoce la incertidumbre o error que entrañan los resultados, la toma de decisiones se puede ver comprometida.

De acuerdo a los resultados obtenidos la metodología diseñada cumplió eficientemente con el objetivo principal de identificar las zonas aptas para la producción de biomasa. Esta metodología mostró como la integración de las dos herramientas empleadas presenta grandes aciertos en los resultados arrojados por el análisis.

En lo que respecta a los resultados del análisis, es pertinente señalar que en todos los estados el nivel de potencial de producción nulo se encuentra distribuido en la mayoría de la superficie. Por tanto, las zonas con potencial de producción para el cultivo de *Ricinus communis* L. y *Jatropha curcas* L. representan porcentajes pequeños de distribución. Aún con estas restricciones, se observa que todos los estados mostraron zonas con muy alto y alto potencial, en algunos casos solo alto.

Los estados con mayor superficie con muy alto potencial agroecológico para el cultivo de *Ricinus communis* L. son: Michoacán, la región de Los Valles Centrales de Oaxaca y Chiapas; y con alto potencial tenemos a: Jalisco, Michoacán e Hidalgo. Para el cultivo de *Jatropha curcas* L. los estados con mayor superficie con muy alto potencial son: Michoacán, Jalisco y Chiapas; y los que presentan alto potencial agroecológico son: Sinaloa, Chiapas y Michoacán.

Es importante mencionar que los estados que cuentan con la ZAE para los dos cultivos deben tomar la decisión de cuál será la especie a cultivar, tomando en cuenta las condiciones presentes en el estado y cuáles son las variables que afectan o maximizan el crecimiento de cada una de las plantas.

Como se mencionó anteriormente la escala en la que se trabajó la información, fue una escala adecuada para el proceso, sin embargo, esta puede ser



perfectible lo cual nos permitirá un mejor detalle de los resultados obtenidos y se comprobará si verdaderamente la metodología cumplió con todos los criterios aplicados. Por tanto, para lograr determinar la viabilidad ecológica y económica de los cultivos, utilizando la metodología llevada a cabo, aún es necesario realizar una depuración de polígonos y eliminar todas las zonas presentan diferente potencial de producción al muy alto y alto, posteriormente manejar las capas de potencial a una menor escala que nos permita modificar visualmente el perímetro de éstos polígonos, tomando en cuenta que éstos no ocupen zonas que fueron descartadas en el análisis, como podría ser, zonas con cobertura vegetal a preservar, áreas urbanas, cuerpos de agua, entre otros.

Con el inicio del cultivo de biomasa destinada a la producción de bioturbosina se dará un gran empuje a la producción de los biocombustibles, pues existirá la materia prima necesaria que cubra la demanda para su producción, otra ventaja de estos cultivos, es que los sitios que sean productores generarán nuevas fuentes de empleo lo que conlleva en una mejora para la economía de estos sitios.

Esta conclusión, a su turno abre la puerta a nuevas preguntas relacionadas con los objetivos y el alcance de la aplicación de la metodología propuesta. Entre ellas, y sólo a modo de ejemplo, cómo mejorar la escala de los productos descargados de las plataformas de información y cuál es el potencial de producción de Higuierilla y *Jatropha* en todos los estados de la República. Estos problemas, entre otros, deberán ser objeto de nuevas investigaciones, para lograr que los resultados obtenidos sean aún más exactos y se adquiera una ZAE en Todo México.

En esta investigación se ha diseñado una metodología según nuestros intereses. Sin embargo, ésta es susceptible de volver a ser modificada, introduciendo nuevas alternativas y criterios que la completen y mejoren, pero siempre utilizando las facilidades y ventajas que nos ofrecen los SIG en el análisis y tratamiento de los datos.



## 5. Bibliografía

- Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA). (2015a). Bioturbosina. Retrieved from [http://bioturbosina.asa.gob.mx/es\\_mx/BIOturbosina/Biocombustibles\\_en\\_el\\_futuro](http://bioturbosina.asa.gob.mx/es_mx/BIOturbosina/Biocombustibles_en_el_futuro)
- Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA). (2015b). Bioturbosina. Retrieved from [http://bioturbosina.asa.gob.mx/es\\_mx/BIOturbosina/Que\\_son\\_los\\_biocombustibles](http://bioturbosina.asa.gob.mx/es_mx/BIOturbosina/Que_son_los_biocombustibles)
- Arroyo González, J. A. (2015). *Alcances de la geomática y la evaluación multicriterio para el ordenamiento ecológico del territorio*. Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/7394>
- Bonis Martín, V. (2011). *Decisión multicriterio booleana, probabilística y posibilística borrosa de la distribución de abies pinsapo boiss. Sierra*. Universidad Complutense de Madrid. Retrieved from [http://eprints.ucm.es/13982/1/Distribución\\_pinsapo.pdf](http://eprints.ucm.es/13982/1/Distribución_pinsapo.pdf)
- Bosque Sendra, J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, España: Rialp.
- Bosque Sendra, J., & García, R. C. (2000). El uso de los sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, (July), 49–67. Retrieved from <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC0000110049A/31281>
- Bruciaga, W. (2016). Proyecto FSE. Retrieved from <http://proyectorfse.mx/2016/03/09/bioturbosina-en-mexico/>
- Buenrostro Domínguez, T. (2013). Biocombustibles Sustentables de Aviación en México, (Biocombustibles Sustentables), 21. Retrieved from [https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/Env-Seminars-Lima-Mexico/Mexico/15\\_Mexico\\_SustainableBiofuels.pdf](https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/Env-Seminars-Lima-Mexico/Mexico/15_Mexico_SustainableBiofuels.pdf)
- Colson, G., & De Bruyn, C. (Eds.). (1989). *Models and Methods in Multiple Objective Decision Making* (Primera). [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(89\)90362-2](https://doi.org/10.1016/0895-7177(89)90362-2)
- Davies, R. G., Orme, C. D. L., Storch, D., Olson, V. A., Thomas, G. H., Ross, S. G., ... Gaston, K. J. (2007). Topography, energy and the global distribution of bird species richness. *Proceedings of the Royal Society*, 274(1614), 1189–1197. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.0061>
- Díaz González, A. C. (2016). *Administración de Proyectos. Modelos PERT/CPM*. Provincia de Mérida. Retrieved from



<https://documents.mx/documents/administracion-de-proyectos-modelos-pertcpm.html>

- Dorado Martín, G., García García, M. J., & Nicolás Zabala, J. M. (2015). *Calidad de los datos geográficos. PhD Proposal* (Vol. 1). Madrid, España. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P. A. K., & Toledano, J. (1993). Proceedings, International Workshop on GIS. In *An Algorithm for Multi-Objective Land Allocation Using GIS* (pp. 261–270). Beijing: Chinese Academy of Sciences.
- Escoto, L. G., Contreras Andrade, I. C., & Angulo, M. Á. (2013). *Compendio de paquetes tecnológicos para el establecimiento de la cadena agroindustrial de Jatropha curcas en el noroeste de México*. Retrieved from [http://www.codesin.mx/wp-content/uploads/2015/03/compendio\\_jatropha.pdf](http://www.codesin.mx/wp-content/uploads/2015/03/compendio_jatropha.pdf)
- Espinosa Paz, H., Rodríguez Hernández, R., & Bravo Mosqueda, E. (2013). *Guía para cultivar higuera en condiciones de temporal, en los Valles Centrales de Oaxaca*. Etna, Oaxaca: INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3452>
- ESRI. (2016). ArcMap. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>
- ESRI. (2017). ArcGIS Desktop. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/arcgis-field-data-types.htm>
- Faba, L., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2014). Transformación de biomasa en biocombustibles de segunda generación. *Madera Bosques*, 20(3), 11–24. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.203148>
- FAO. (1997). *Zonificación agro-ecológica. Guía general*. Roma, Italia. Retrieved from <https://www.mpl.ird.fr/crea/taller-colombia/FAO/AGLL/pdfdocs/aezs.pdf>
- Franco Maass, S. (2003). *Sistema de Información Geográfica para la localización de los residuos peligrosos*. Toluca, Estado de México: Cuadernos de investigación. Universidad Autónoma del Estado de México. Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?id=0-aU\\_PBrgVYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=0-aU_PBrgVYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Galacho Jiménez, F. B., & Arrebola Castaño, J. A. (2013). Modelo de evaluación de la



- capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. *Investigaciones Geográficas*, (60), 69–85. <https://doi.org/10.14198/INGEO2013.60.04>
- Gómez Delgado, M., & Barredo Cano, J. I. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio* (Segunda). Madrid, España: RA-MA.
- Gómez Mercado, R., Hernández Martínez, M., Morales Díaz, P., Martínez Cruz, E., & Zarazúa Delgadillo, M. A. (2013). *Tecnología para la producción de jatropha en el estado de Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo: INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3913>
- Gómez Mercado, R., Martínez Cruz, E., & Zarazúa Delgadillo, M. A. (2014). *Tecnología de producción de higuera en el estado de Hidalgo*. Hidalgo: INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4295>
- Gómez Orea, D. (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental* (Segunda). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- González Ávila, A., García Mariscal, K. de la P., Hernández García, M. A., Rico Ponce, H. R., Hernández Martínez, M., Solís Bonilla, J. L., & Zamarripa Colmenero, A. (2011). *Guía para cultivar Higuera en (Ricinus communis L.) en Jalisco*. Tepatitlán de Morelos, Jalisco: INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3447>
- González Ávila, A., García Mariscal, K. de la P., Hernández García, M. A., Teniente Oviedo, R., Solís Bonilla, J. L., & Zamarripa Colmenero, A. (2011). *Guía para cultivar Piñón Mexicano ( Jatropha curcas L.) en Jalisco*. Tepatitlán de Morelos, Jalisco: INIFAP. <https://doi.org/ISBN:978-607-425-644-4>
- González Ávila, M. E. (2009). Producción de bioenergía en el norte de México: Tan lejos y tan cerca... *Frontera Norte*, 21(41), 177–184. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73722009000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722009000100008)
- González Mancillas, R., Juárez López, J. F., Aceves Navarro, L. A., Rivera Hernández, B., & Guerrero Peña, A. (2014). Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 13. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1450/rig.39936>
- Goodchild, M. F. (2000). New horizons for the social sciences: geographic information systems. In *Social Sciences for a Digital World Building Infrastructure and*



- Databases for the Future* (pp. 163–172). París: Organization for Economic Cooperation and Development. <https://doi.org/10.1787/9789264082137>
- Green, R. E. (2010). An overview of the effects of climate change on birds. In *Climate Change and Birds* (pp. 1–3). Cambridge. <https://doi.org/10.2989/00306525.2011.628443>
- Hernández Martínez, M., Zamarripa Colmenero, A., Teniente Oviedo, R., González Ávila, A., & Solís Bonilla, J. L. (2012a). *Guía técnica para la producción de higuierilla (Ricinus communis L.) en Guanajuato*. Celaya, Guanajuato. Retrieved from <http://studyres.es/doc/3202020/guia-tecnica-para-la-produccion-de-higuierilla--ricinus>
- Hernández Martínez, M., Zamarripa Colmenero, A., Teniente Oviedo, R., González Ávila, A., & Solís Bonilla, J. L. (2012b). *Guía técnica para la producción de piñón mexicano (Jatropha curcas L.) en Guanajuato*. Celaya, Guanajuato: INIFAP.
- INEGI. (2004). *Guías para la Interpretación de Cartografía Edafología*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- INEGI. (2006). *Clasificación de los mapas*. Aguascalientes, México. Retrieved from [http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/Clasificación de los mapas.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/Clasificación%20de%20los%20mapas.pdf)
- INEGI. (2007). Conjunto de datos vectoriales edafológicos. Retrieved from [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/edafologia/vectorial\\_serieii.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/edafologia/vectorial_serieii.aspx)
- INEGI. (2013a). CEM 3.0. Retrieved from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>
- INEGI. (2013b). Uso de suelo y vegetación. Retrieved from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/usosuelo/>
- INEGI. (2014a). *Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación Escala 1:250 000 Serie V*. Aguascalientes, México: INEGI. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- INEGI. (2014b). Mapa Digital de México. Retrieved from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>
- INEGI. (2014c). *Sistema de información geográfica. Sistema de Información Geográfica*. Aguascalientes, México. Retrieved from <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>
- INEGI. (2016). Marco Geoestadístico Nacional. Retrieved from



<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825217341>

- INIFAP. (2002). Biblioteca Digital INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx/portal/index.php/2013-09-28-00-33-52>
- Kreakie, B. J., Fan, Y., & Keitt, T. H. (2012). Enhanced migratory waterfowl distribution modeling by inclusion of depth to water table data. *PLoS ONE*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030142>
- Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E., & Jiguet, F. (2010). Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology*, 151(4), 857–866. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0523-y>
- Masera Cerutti, O. R. (2006). La bioenergía en México. Un catalizador del desarrollo sustentable. *Red Mexicana de Bioenergía*, 1, 95. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Masera Cerutti, O. R., Coralli, F., García Bustamante, C., Riegelhaupt, E., Arias Chalico, T., Vega Gregg, J., ... Cecotti, L. (2011). *LA BIOENERGÍA EN MÉXICO Situación actual y perspectivas de Bioenergía. Cuaderno Temático sobre la Bioenergía* (Vol. 4). REMBIO. Retrieved from <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>
- Moreno Jiménez, A., Cañada Torrecilla, R., Cervera Cruañes, B., Fernández García, F., Gómez García, N., Martínez Suárez, P., ... Vidal Domínguez, M. de J. (2008). *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica* (Segunda). Madrid, España: Alfa Omega.
- OMM. (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial. Retrieved from [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo\\_100\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf)
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2013). *Resoluciones adoptadas por el 38º periodo de sesiones de la asamblea*. Montreal, Canadá. Retrieved from <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Caep.aspx>
- Peña Llopis, J. (2009). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio*. San Vicente, Alicante: Club Universitario.
- Pineda Jaimes, N. B. (2013). *Evaluación multicriterio y sistemas de de información geográfica como herramienta para el ordenamiento territorial*. Querétaro. Retrieved from [http://www.cudi.edu.mx/primavera\\_2013/presentaciones/c\\_tierra\\_noel\\_pineda.pdf](http://www.cudi.edu.mx/primavera_2013/presentaciones/c_tierra_noel_pineda.pdf)



- PROYECTO FSE. (2016). Proyecto FSE. Retrieved from <http://proyectorfse.mx/2016/03/16/cemie-bio-cluster-bioturbosina-mision-objetivos-estrategicos/>
- Ramírez, M. S., Negrelli, M. M., & Salinas, L. I. (2011). *Determinación de la capacidad de acogida del Distrito Minero los Berros, San Juan, Argentina. Tiempo y Espacio* (Vol. 867). Chillán, Chile. Retrieved from <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/222/Tiempo/2011/%2327.02.pdf>
- Regil García, H. H., & Franco Maass, S. (2009). Nivel de adecuación del territorio para el desarrollo de especies forestales y agrícolas en el parque nacional Nevado de Toluca (PNNT). *Economía, Sociedad Y Territorio*, IX(31), 803–830. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11111830008>
- Rico Ponce, H. R., Tapia Vargas, L. M., Teniente Oviedo, R., González Ávila, A., Hernández Martínez, M., Solís Bonilla, J. L., & Zamarripa Colmenero, A. (2011). *Guía para cultivar higuierilla (Ricinus communis L.) en Michoacán*. Apatzingán, Michoacán: INIFAP. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-71095-0\\_8936](https://doi.org/10.1007/978-3-540-71095-0_8936)
- Ríos Gallego, S. Y. (2014). *Determinación de la capacidad de acogida del territorio a usos complementarios y compatibles con la protección en la zona de influencia directa de los embalses*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/12761/>
- Romero Izquierdo, A., Gómez de la Cruz, A., & Gutiérrez-Antonio, C. (2016). Bioturbosina: retos y oportunidades. *Revista Ciencia*, 1–7. Retrieved from <http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/>
- Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., González Acuña, I. J., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Ortiz Trejo, C., ... Martínez Parra, R. A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), centro de investigación regional del pacífico centro, campo experimenta centro Altos de jalisco* (Segunda). Tepatitlán de Morelos, Jalisco. <https://doi.org/978-607-37-0188-4>
- SENER. (2015). Atlas de BIOMASA. Retrieved from <https://dgel.energia.gob.mx/atlasbiomasa/>
- SMN. (2010). Normales Climatológicas. Retrieved from <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado>
- Solís Bonilla, J. L., Zamarripa Colmenero, A., González Ávila, A., Rico Ponce, H. R., Tapia Vargas, L. M., Teniente Oviedo, R., ... Hernández Martínez, M. (2011). *Guía*



*técnica para la producción de higuera (Ricinus communis L.) en Chiapas.* Tuxtla Chico, Chiapas. Retrieved from <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000052663>

Teniente Oviedo, R., Tapia Vargas, L. M., Zamarripa Colmenero, A., González Ávila, A., Martínez Valencia, B. B., & Hernández Martínez, M. (2011). *Guía técnica para la producción de piñón mexicano (Jatropha curcas L.) en Michoacán.* Apatzingán, Michoacán: INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3052>

Tomlinson, R. (2008). *Pensando en SIG* (Tercera). Estados Unidos: Esri Press.

UNIVERSITAM. (2010). El crecimiento poblacional aumentará emisión de CO2 en los próximos 40 años. Retrieved from <https://universitam.com/academicos/noticias/el-crecimiento-poblacional-aumentara-emision-de-co2-en-los-proximos-40-anos/>

Voogd, J. H. (1982). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional planning.* Groningen. <https://doi.org/10.6100/IR102252>

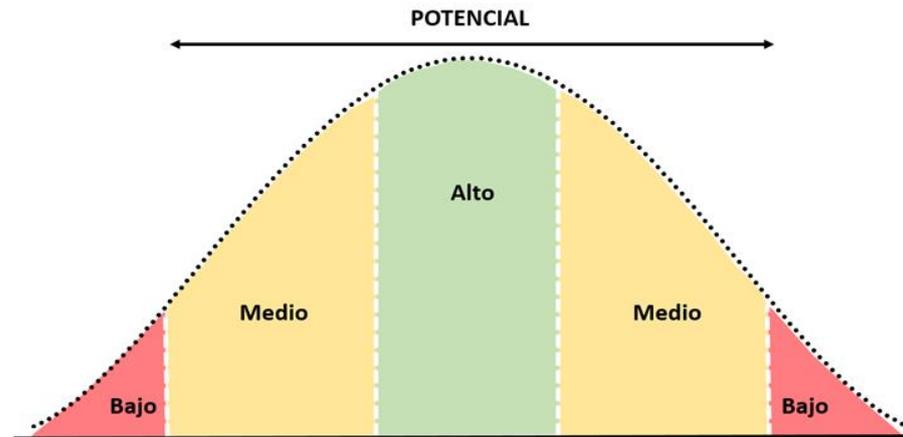
Zamarripa Colmenero, A. (2011). *Estudio de Insumos para la obtención de biocombustibles en México.* Tuxtla Chico, Chiapas.

Zamarripa Colmenero, A., López Guillén, G., Rodríguez Hernández, R., González Jiménez, A., Basulto Graniel, J. A., & Rico Ponce, H. R. (2014). *Tecnología para la producción de piñón (Jatropha curcas L.) en México.* Distrito Federal, México.

Zamarripa Colmenero, A., Ruiz Cruz, P. A., Solís Bonilla, J. L., Martínez Herrera, J., Olivera de los Santos, A., & Martínez Valencia, B. B. (2009). *Biocombustibles: perspectivas de Producción de biodiesel con jatropha* (Primera). Tuxtla Chico, Chiapas: INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3428>

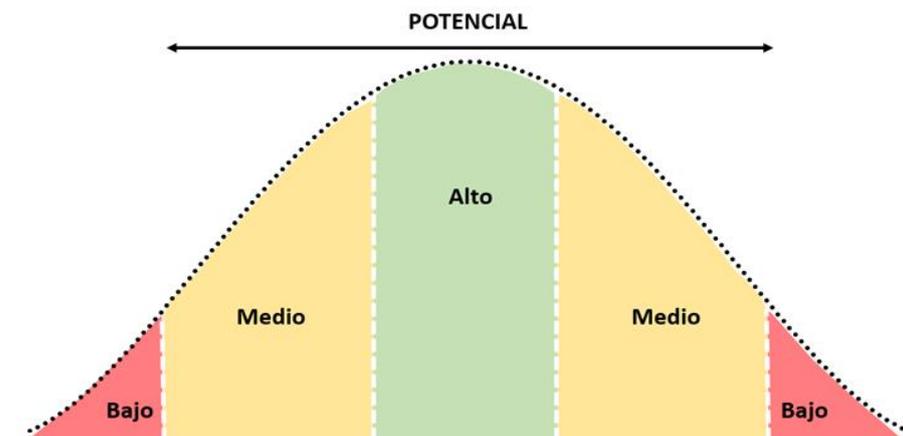
Zamarripa Colmenero, A., Solís Bonilla, J. L., González Ávila, A., Teniente Oviedo, R., Martínez Valencia, B. B., & Hernández Martínez, M. (2011). *Guía técnica para la producción de piñón mexicano (Jatropha curcas L.) en Chiapas.* Tuxtla Chico, Chiapas. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3557>

### Anexo No. 1 Requerimientos Agroecológicos de *Ricinus communis* L.



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Temperatura Media Anual (°C)	< 15	15 - 19	19 - 30	30 - 35	> 35
Precipitación Anual (mm)	< 400	-	400 - 1000	1000 - 1500	> 1500
Altitud (msnm)	< 0	-	0 - 1800	1800 - 2500	> 2500
Textura de Suelos	Fina	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Fina
Uso de Suelo	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Agrícola
Suelo	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas	Cambisoles y Feozems	Regosoles	Cambisoles y Feozems	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas

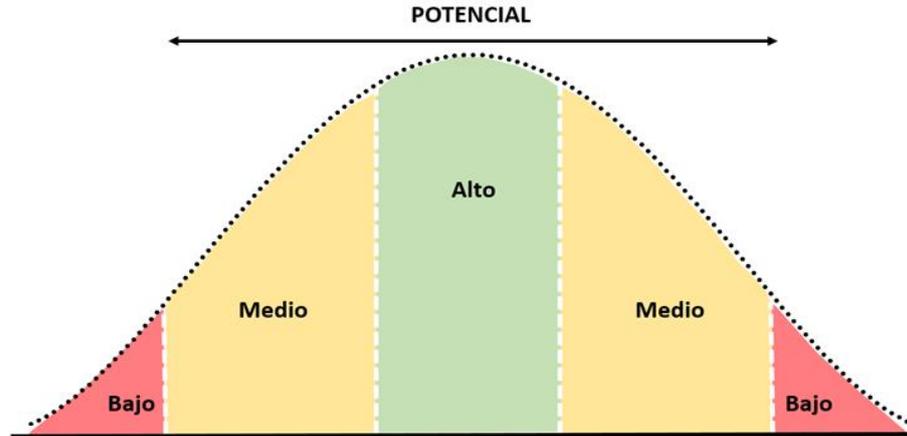
Figura 58. Requerimientos Agroecológicos para *Ricinus communis* L. en el estado de Chiapas



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Temperatura Media Anual (°C)	< 15	15 - 19	15 - 30	30 - 35	> 35
Precipitación Anual (mm)	< 400	-	400 - 1000	1000 - 1500	> 1500
Altitud (msnm)	< 0	-	0 - 1800	1800 - 2500	> 2500
Textura de Suelos	Fina	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Fina
Uso de Suelo	Agrícola de Temporal				

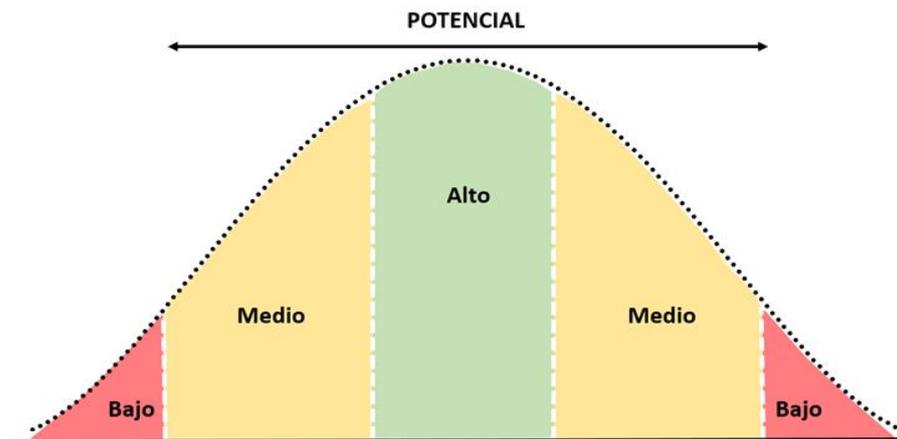
Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Suelo	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas	Cambisoles y Feozems	Regosoles	Cambisoles y Feozems	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas

Figura 59. Requerimientos Agroecológicos para *Ricinus communis* L. en el estado de Guanajuato



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Temperatura Media Anual (°C)	< 14	-	14 - 18	18 - 22	> 22
Precipitación Anual (mm)	< 400	400 - 500	500 - 800	-	> 800
Altitud (msnm)	< 1300	1300 - 1700	1700 - 2000	2000 - 2400	> 2400
Textura de Suelos			Fina Media Gruesa		
Uso de Suelo	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal

Figura 60. Requerimientos Agroecológicos para *Ricinus communis* L. en el estado de Hidalgo



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Temperatura Media Anual (°C)	< 15	15 - 19	19 - 30	30 - 35	> 35
Precipitación Anual (mm)	< 400	-	400 - 1000	1000 - 1500	> 1500
Altitud (msnm)	< 0	-	0 - 1800	1800 - 2500	> 2500
Textura de Suelos	Fina	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Fina

Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Uso de Suelo	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal
Suelo	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas	Cambisoles y Feozems	Regosoles	Cambisoles y Feozems	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas

Figura 61. Requerimientos Agroecológicos para *Ricinus communis L.* en el estado de Jalisco

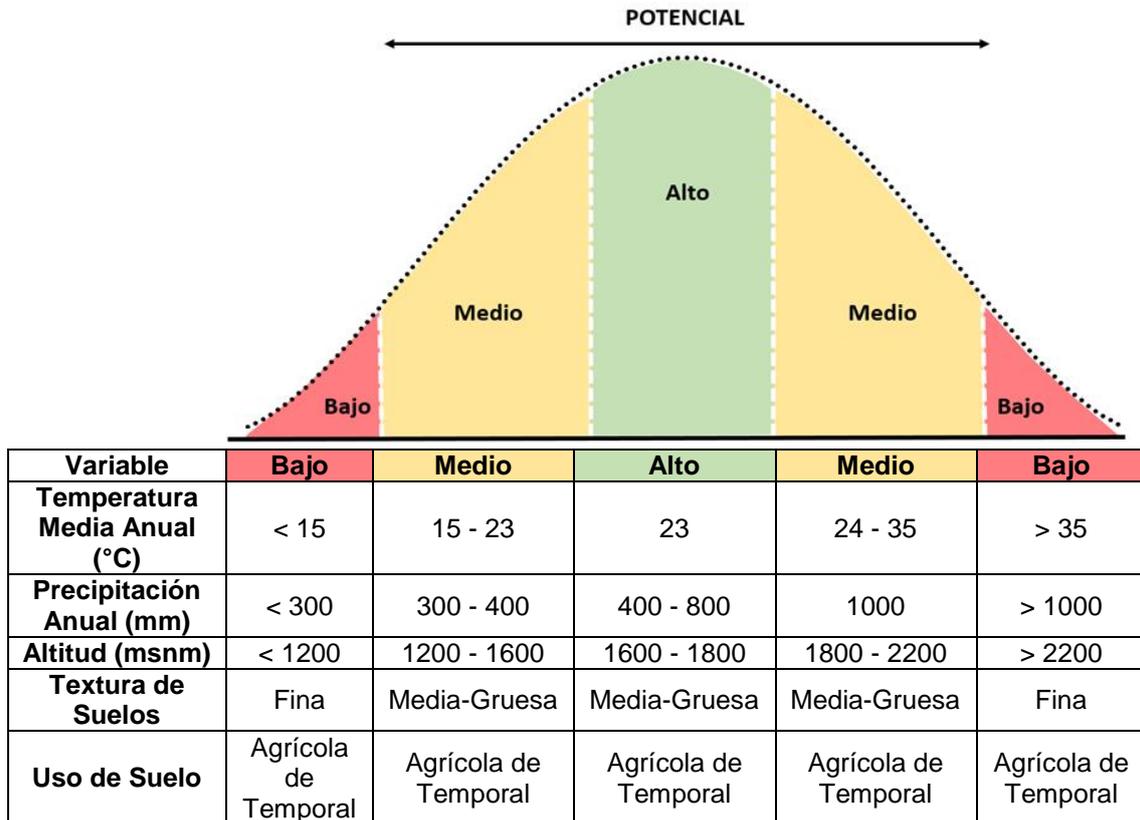
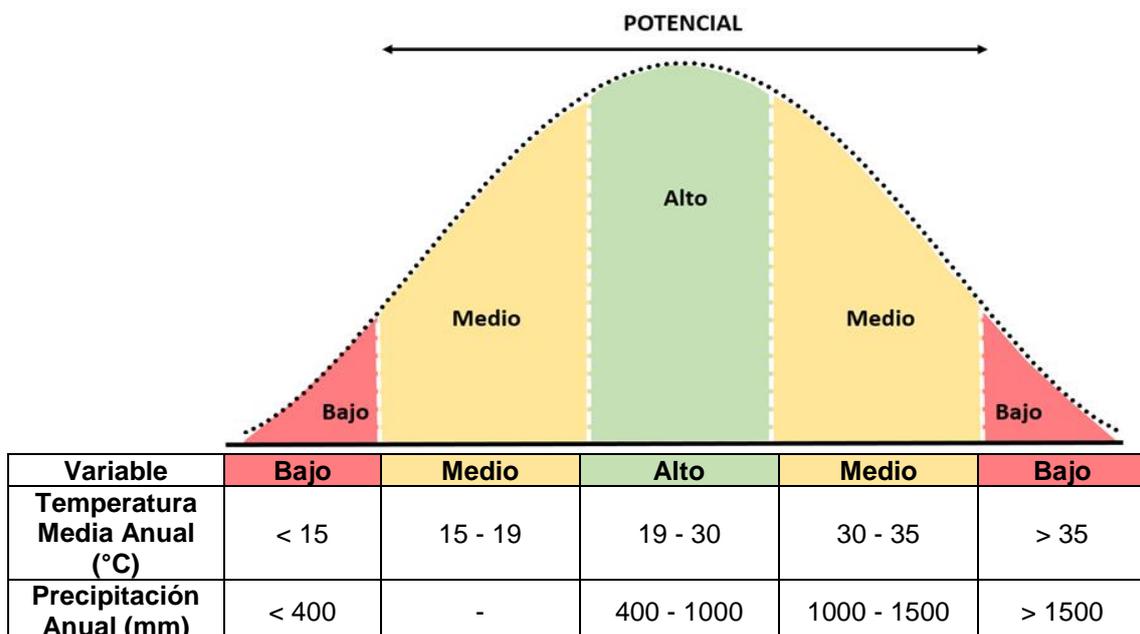


Figura 62. Requerimientos Agroecológicos para *Ricinus communis L.* en el estado de Michoacán





Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
<b>Altitud (msnm)</b>	< 0	-	0 - 1800	1800 - 2500	> 2500
<b>Textura de Suelos</b>	Fina	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Fina
<b>Uso de Suelo</b>	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal	Agrícola de Temporal
<b>Suelo</b>	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas	Cambisoles y Feozems	Regosoles	Cambisoles y Feozems	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas

Figura 63. Requerimientos Agroecológicos para *Ricinus communis L.* en los Valles Centrales de Oaxaca

## Anexo No. 2 Requerimientos Agroecológicos de *Jatropha curcas* L.

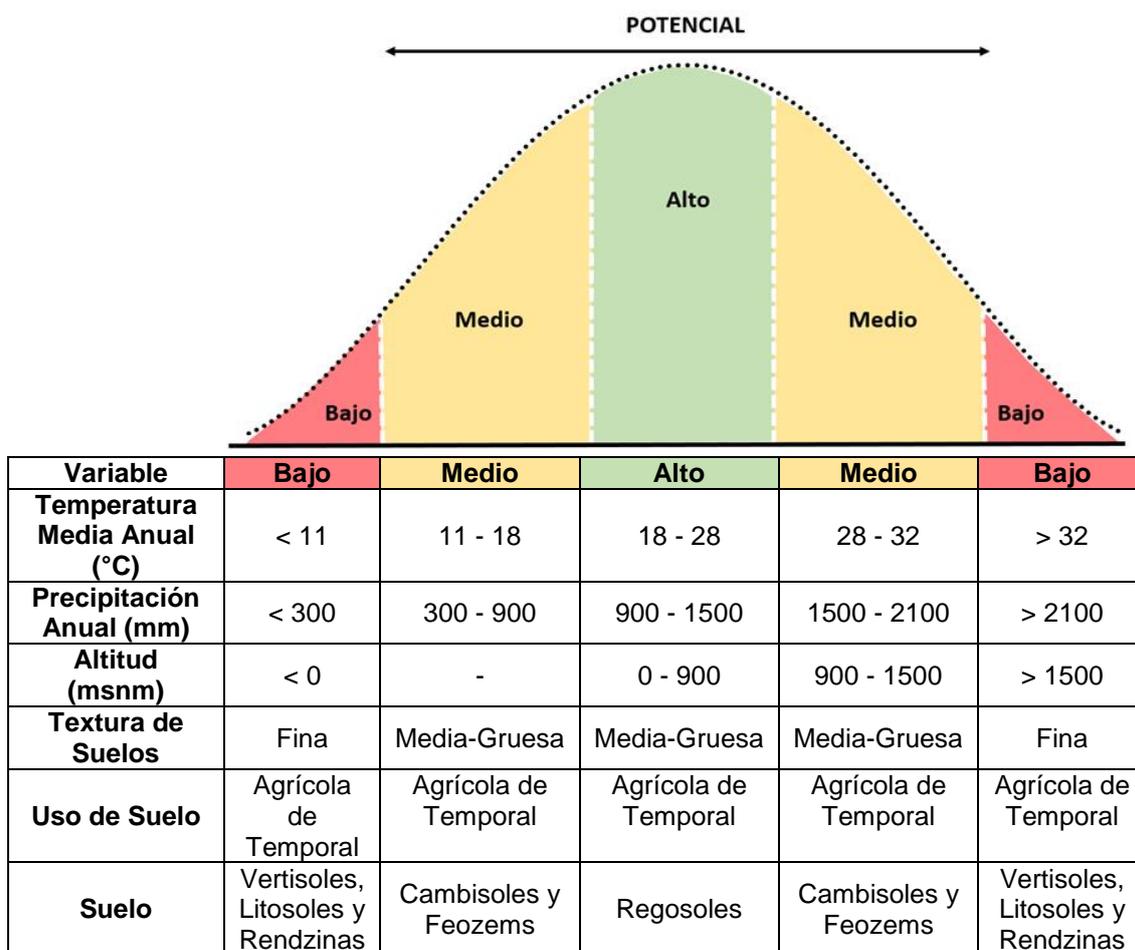
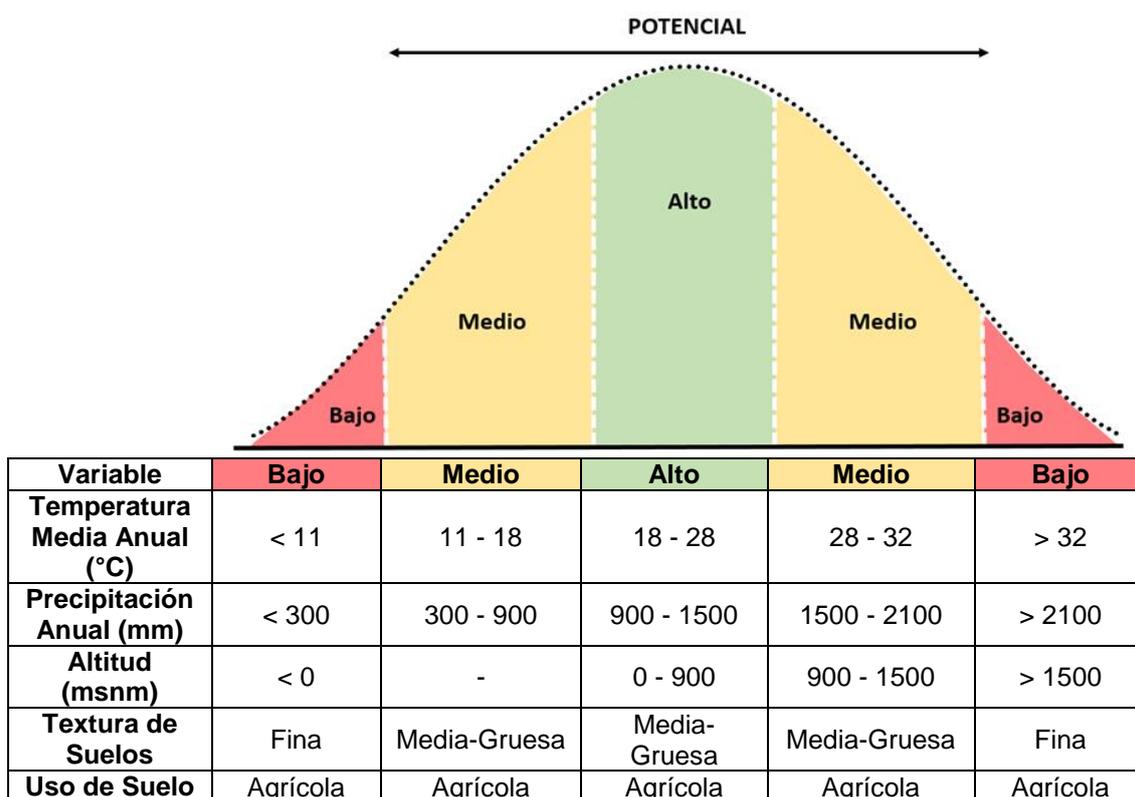


Figura 64. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas* L. en el estado de Chiapas



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Suelo	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas	Cambisoles y Feozems	Regosoles	Cambisoles y Feozems	Vertisoles, Litosoles y Rendzinas

Figura 65. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas L.* en el estado de Guanajuato

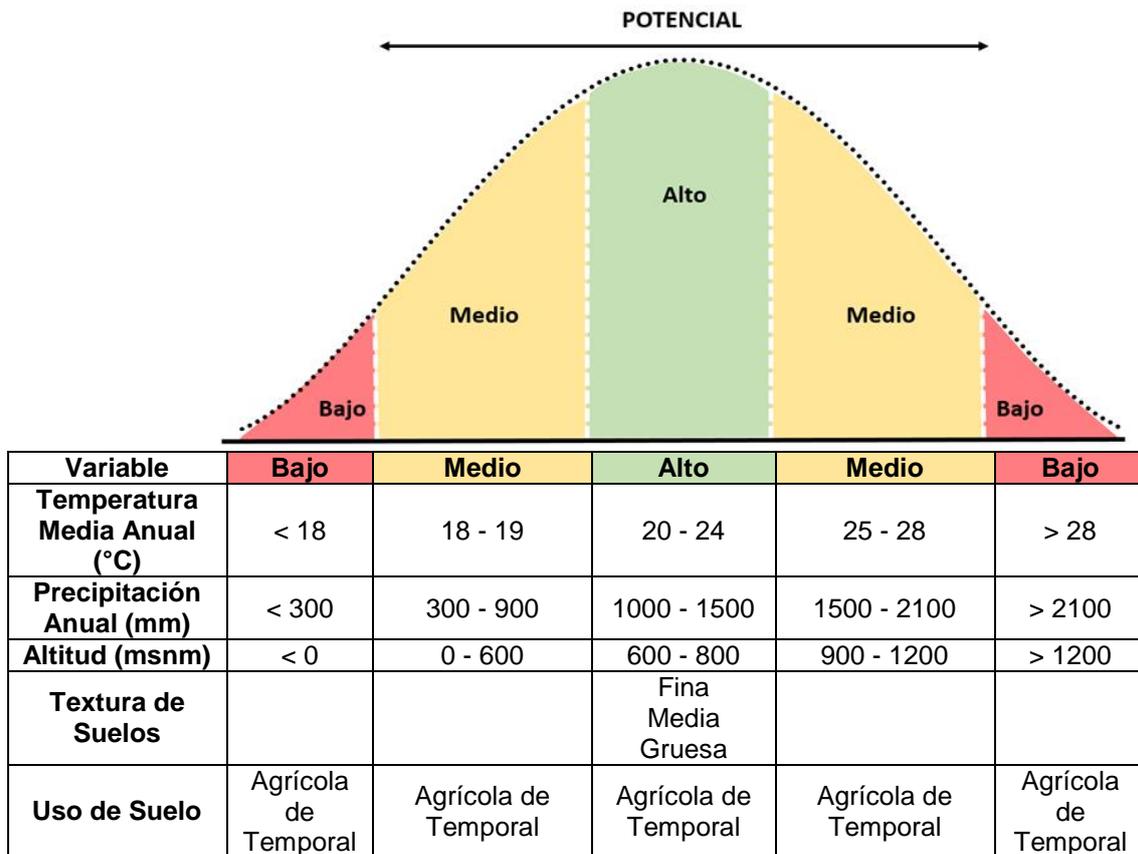
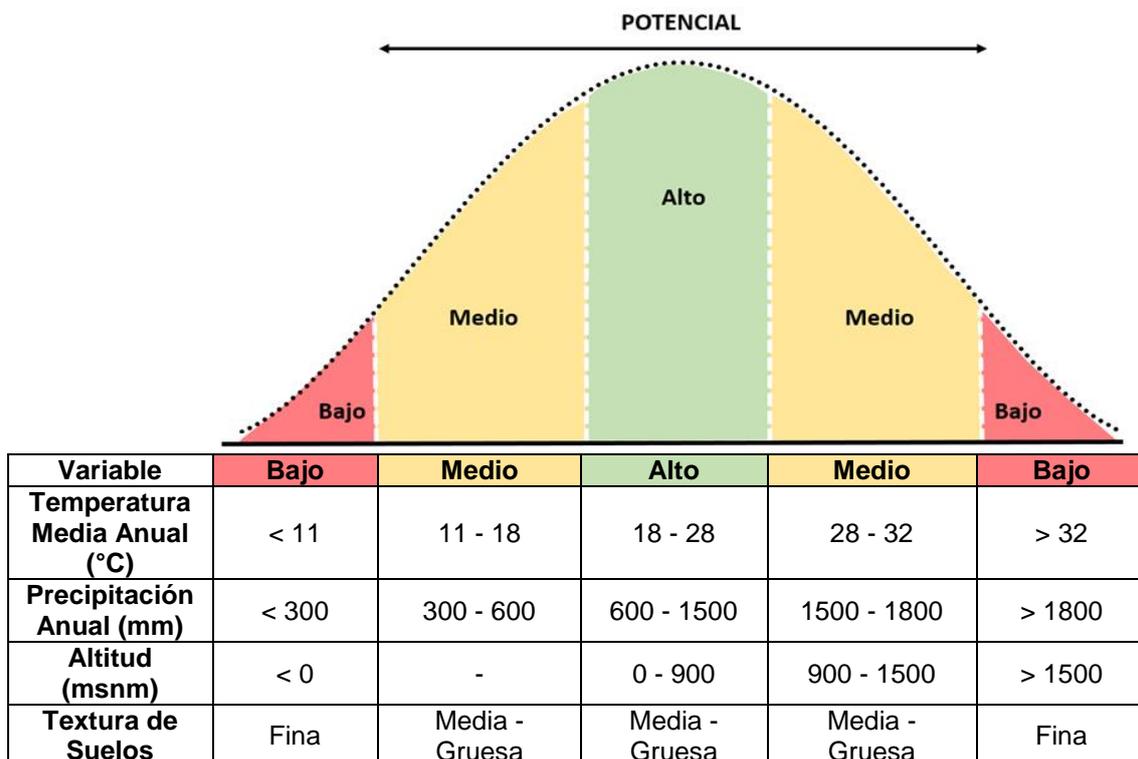
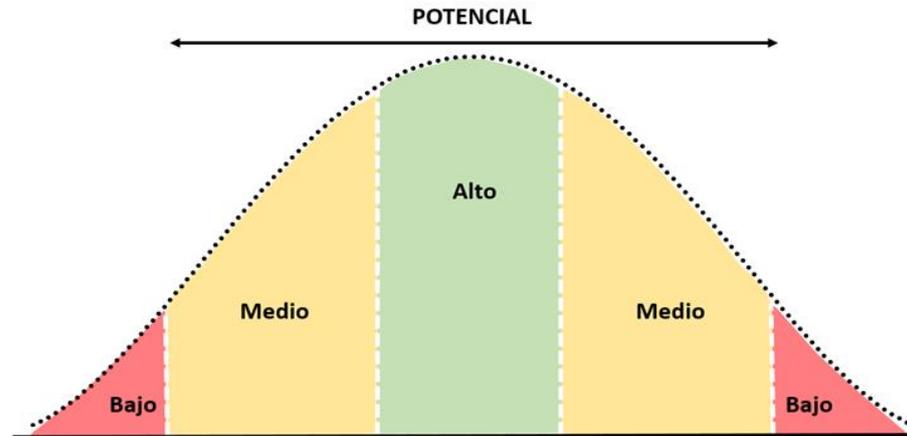


Figura 66. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas L.* en el estado de Hidalgo



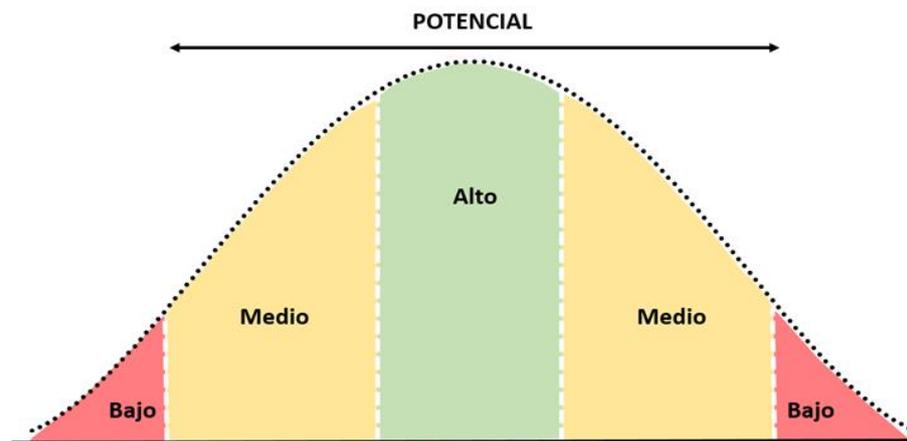
Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Uso de Suelo	Agrícola de Temporal				
Suelo		Cambisoles y Feozems	Regosoles	Cambisoles y Feozems	

Figura 67. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas* L. en el estado de Jalisco



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Temperatura Media Anual (°C)	< 11	11 - 18	18 - 28	28 - 32	> 32
Precipitación Anual (mm)	< 300	300 - 900	900 - 1500	1500 - 2100	> 2100
Altitud (msnm)	< 0	-	0 - 900	900 - 1500	> 1500
Textura de Suelos	Fina	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Fina
Uso de Suelo	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Agrícola
Suelo	Vertisol				Vertisol

Figura 68. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha Curcas* L. en el estado de Michoacán



Variable	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Temperatura Media Anual (°C)	< 0	0 - 18	18 - 28	28 - 40	> 40
Precipitación Anual (mm)	< 300	300 - 600	600 - 1200	1200 - 1800	> 1800
Altitud (msnm)	0 - 20	20 - 150	150 - 900	900 - 1200	> 1200
Textura de Suelos	Fina	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Media-Gruesa	Fina
Uso de Suelo	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Agrícola

Figura 69. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas* L. en el estado de Sinaloa

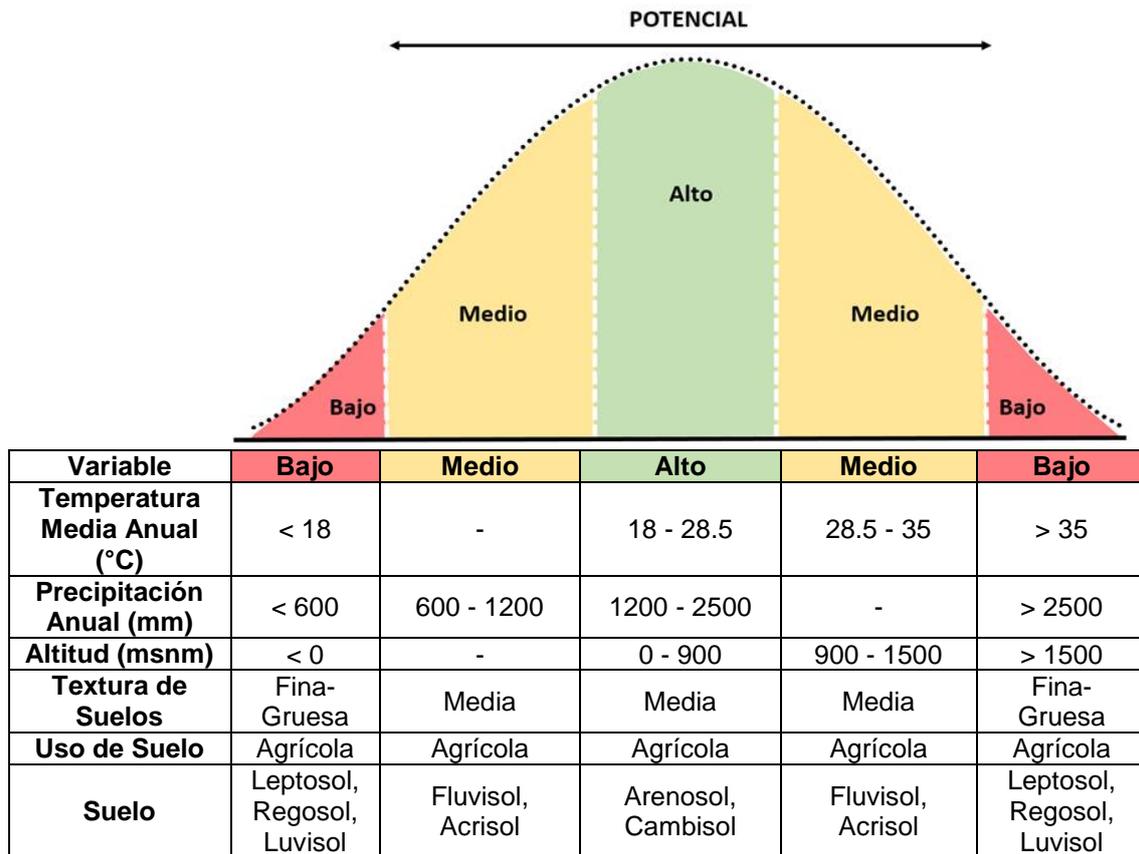


Figura 70. Requerimientos Agroecológicos para *Jatropha curcas* L. en el estado de Tabasco