



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

“LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE APIARIOS MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN LA REGIÓN XV DEL ESTADO DE MÉXICO”

T R A B A J O T E R M I N A L

PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN CARTOGRAFÍA AUTOMATIZADA,
TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA

P R E S E N T A

GEOG. CARLOS RAMÓN JÁUREZ ZARZA

D I R E C T O R

DR. NOEL B. PINEDA JAIMES



TOLUCA, MÉXICO

JULIO, 2017

ÍNDICE

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS	10
I. MARCO TEÓRICO	11
I.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
I.2 ANTECEDENTES APICULTURA	15
I.2.1 Especie Apis Mellifera.	15
I.2.2 Apicultura	16
I.2.3 Apicultura la Región.	21
I.3 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	22
I.3.1 Antecedentes de los SIG	23
I.3.2 Desarrollo y evolución de los SIG.	24
I.3.3 Funciones de los SIG	25
I.3.4 Estructura de los SIG	26
I.3.5 Antecedentes de los SIG en la Apicultura	26
I.4 EVALUACIÓN MULTICRITERIO	28
I.4.1 Componentes de la Evaluación Multicriterio.	29
II. METODOLOGÍA	32
II.1 BASE CARTOGRÁFICA	34
II.1.1 Información Cartográfica	34
II.1.2 Plataformas Tecnológicas	37
II.2 LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE APIARIOS	38
II.2.1 Identificación de criterios: Factores y Restricciones	40
II.2.2 Ponderación y Normalización	49
II.2.3 Evaluación	63
III. RESULTADOS	66
III.1 ZONAS ÓPTIMAS PARA LA INSTALACIÓN DE APIARIOS ESCENARIO ACTUAL	67
III.1.1 Validación	71
III.2 ESCENARIO AGRÍCOLA	73
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
IV.1 CONCLUSIONES	78
IV.2 RECOMENDACIONES	79
V. ANEXOS	81
VI. BIBLIOGRAFÍA	82

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS REGIÓN XV.	13
TABLA 2 HIDROLOGÍA REGIÓN XV.	14
TABLA 3 POBLACIÓN REGIÓN XV.	14
TABLA 4 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES.	30
TABLA 5 ESCALA DE MEDIDA DE JUICIOS DE VALOR.	30
TABLA 6 FUENTE DE CAPAS DE DATOS ESPACIALES.	34
TABLA 7 ACTORES CLAVES.	37
TABLA 8 PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS UTILIZADAS	37
TABLA 9 ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES.	38
TABLA 10 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS	41
TABLA 11 ESPECIES NÉCTAR-POLINÍFERA EN LA REGIÓN XV.	45
TABLA 12 CLASIFICACIÓN DE USV SERIE V	48
TABLA 13 CLASIFICACIÓN DE DISTANCIAS A CUERPOS DE AGUA SEGÚN LA IDONEIDAD	51
TABLA 14 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, CUERPOS DE AGUA	51
TABLA 15 CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIÓN SEGÚN LA IDONEIDAD	54
TABLA 16 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, PRECIPITACIÓN MÁXIMA	54
TABLA 17 CLASIFICACIÓN DE RANGOS DE PENDIENTE SEGÚN LA IDONEIDAD	55
TABLA 18 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, PENDIENTES.	55
TABLA 19 CLASIFICACIÓN DE DISTANCIAS A RÍOS SEGÚN LA IDONEIDAD	57

TABLA 20 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, RÍOS	57
TABLA 21 CLASIFICACIÓN DE TEMPERATURA MÁXIMA SEGÚN LA IDONEIDAD	59
TABLA 22 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, TEMPERATURA MÁXIMA	59
TABLA 23 CLASIFICACIÓN DE TEMPERATURA MÍNIMA SEGÚN LA IDONEIDAD	60
TABLA 24 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, TEMPERATURA MÍNIMA	60
TABLA 25 CLASIFICACIÓN DE VEGETACIÓN SEGÚN LA IDONEIDAD	62
TABLA 26 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, VEGETACIÓN	62
TABLA 27 CLASIFICACIÓN DE FACTORES SEGÚN IMPORTANCIA	64
TABLA 28 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES, VEGETACIÓN	64
TABLA 29 CALCULO POR MUNICIPIO DE ÁREAS OPTIMAS.....	68
TABLA 30 MODIFICACIÓN DE POSICIÓN EN EL FACTOR VEGETACIÓN	73
TABLA 31 CALCULO ÁREAS OPTIMAS ESCENARIO AGRÍCOLA POR MUNICIPIO	76

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 MAPA DE UBICACIÓN REGIÓN XV "VALLE DE BRAVO".....	12
FIGURA 2 PARTES DE UNA COLMENA.....	20
FIGURA 3 EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA EL APICULTOR	20
FIGURA 4 EQUIPO DE MANEJO.....	21
FIGURA 5 ELEMENTOS BÁSICOS DEL SIG.....	23
FIGURA 6 ESTRUCTURA DEL SIG.....	26
FIGURA 7 PROCEDIMIENTOS EMC.....	31
FIGURA 8. ESTRUCTURA METODOLOGÍA.....	33
FIGURA 9 CAPAS UTILIZADAS EN LA EMC	35
FIGURA 10 FUNCIÓN WEIGHT EN IDRISI.....	39
FIGURA 11 MÓDULO FUZZY EN IDRISI	39
FIGURA 12 FUNCIONES DE NORMALIZACIÓN.....	40
FIGURA 13 RESTRICCIONES.....	49
FIGURA 14 NORMALIZACIÓN DE LA PROXIMIDAD A CARRETERAS.....	50
FIGURA 15 FACTOR PROXIMIDAD A CARRETERAS.....	50
FIGURA 16 NORMALIZACIÓN DE LA PROXIMIDAD A CUERPOS DE AGUA.....	51
FIGURA 17 FACTOR PROXIMIDAD A CUERPOS DE AGUA	52
FIGURA 18 SURFACE ASPECT	52
FIGURA 19 NORMALIZACIÓN DE MODELO DE ORIENTACIÓN.....	53
FIGURA 20 FACTOR ORIENTACIÓN.....	53
FIGURA 21 NORMALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA.....	54
FIGURA 22 FACTOR PRECIPITACIÓN MÁXIMA.....	55
FIGURA 23 NORMALIZACIÓN DE LOS RANGOS DE PENDIENTE.....	56
FIGURA 24 FACTOR RANGO DE PENDIENTES	56
FIGURA 25 NORMALIZACIÓN DE LA PROXIMIDAD A RÍOS.....	58
FIGURA 26 FACTOR PROXIMIDAD A RÍOS.....	58
FIGURA 27 NORMALIZACIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA.....	59
FIGURA 28 FACTOR TEMPERATURA MÁXIMA.....	60
FIGURA 29 NORMALIZACIÓN DE LA TEMPERATURA MÍNIMA.....	61
FIGURA 30 FACTOR TEMPERATURA MÍNIMA	61
FIGURA 31 NORMALIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN.....	62
FIGURA 32 FACTOR VEGETACIÓN.....	63
FIGURA 33 DIAGRAMA MÉTODO SUMATORIA LINEAL PONDERADA	63
FIGURA 34 MÓDULO MCE EN IDRISI.....	65
FIGURA 35 RESULTADO DEL MODELO DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO	65
FIGURA 36 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS ESCENARIO ACTUAL.....	67
FIGURA 37 ACERCAMIENTO ZONA "LOS PINZONES".....	69
FIGURA 38 ACERCAMIENTO ZONA "SAN GABRIEL IXTLA".....	69
FIGURA 39 ACERCAMIENTO ZONA "SAN JUAN BUENAVISTA"	70
FIGURA 40 VALIDACIÓN REGIÓN XV.....	71
FIGURA 41 ACERCAMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MODELO.....	72
FIGURA 42 MÓDULO MCE PARA ESCENARIO AGRÍCOLA.....	74
FIGURA 43 RESULTADO DEL EMC ESCENARIO AGRÍCOLA.....	74
FIGURA 44 MAPA DE ZONAS ÓPTIMAS ESCENARIO AGRÍCOLA.....	75



RESUMEN.

La Evaluación Multicriterio (EMC) es un conjunto de técnicas las cuales ayudan para la toma de decisiones, con la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que procesa de forma rápida la información espacial, han logrado resolver problemas complejos, sentando las bases para planificar y gestionar el territorio.

El presente trabajo se realizó aplicando la EMC para determinar la ubicación óptima de apiarios en la región XV del Estado de México, la cual abarca los municipios de Amanalco, Donato Guerra, Ixtapan del Oro, Oztoloapan, Santo Tomás, Valle de Bravo, Villa de Allende, Villa Victoria y Zacazonapan.

Dentro de la EMC existen diferentes procedimientos aritméticos-estadísticos, para obtener la evaluación final de las alternativas la que se utilizó fue "Sumatoria Lineal Ponderada", la cual consiste en multiplicar el valor de cada pixel por su peso, para sumarlo con el pixel de la misma posición de otra cubierta.

Se determinaron nueve factores y cuatro restricciones, los factores son de las características del terreno, biológicas, meteorológicas, proximidad a variables, las restricciones son físicas y normativas.

La ubicación de zonas óptimas para la apicultura servirá tanto para apicultores como para la autoridad encargada de fomentar el desarrollo de la región, esta actividad genera beneficios económicos para las localidades, además de contribuir con servicios ambientales como la polinización.

El resultado fueron dos escenarios, el primer es el actual, donde se muestra las zonas optimas determinadas por las condiciones actuales y los mejores umbrales determinados por la bibliografía y entrevista a actores clave. El segundo escenario se modelo con el supuesto de tener una agricultura más amigable para las abejas, disminuyendo el uso de agroquímicos, teniendo una fusión entre agricultura y apicultura, con esto teniendo mejores condiciones para ambas actividades.

Se realizan una serie de recomendaciones orientadas a la realización de estudios específicos que ayudarían a complementar y mejorar el análisis del modelo de análisis multicriterio.

Palabras Clave: Evaluación Multicriterio, Apicultura, Sistemas de Información Geográfica, Apis Mellifera.





INTRODUCCIÓN

La apicultura tiene grandes beneficios tanto económicos, sociales y medio ambientales, constituye una fuente de ingresos diferentes a la agricultura, ganadería extensiva o intensiva, explotación forestal, no necesita un cambio de uso de suelo del territorio, se aprovecha las condiciones naturales del entorno para la producción, las abejas contribuyen a la polinización de diferentes especies vegetales tanto nativas como cultivadas por el hombre.

Dentro de la estructura del reporte en el Capítulo I, se describe brevemente la caracterización física y social de la región XV, se dan a conocer los antecedentes de la apicultura en el ámbito mundial, del país y en la región; se detalla el concepto, antecedentes, funciones y antecedentes de los Sistemas de Información Geográfica, para concluir el capítulo

En el Capítulo II se da a conocer la metodología realizada para determinar las zonas óptimas, se describe la información cartográfica y plataformas utilizadas, se continua detallando los Factores y Restricciones que se determinaron a partir de bibliografía consultada y entrevistas, los procesos realizados en la ponderación y normalización de cada factor y la evaluación multicriterio a partir de la sumatoria lineal ponderada.

Capitulo III se muestran los resultados obtenidos por cada escenario, visualizando las áreas óptimas para la instalación de apiarios, determinando el municipio y áreas que tienen mayor presencia de zonas optima, en el escenario agrícola se muestra un modelo el cual se cambió una variable y como esta determina un escenario favorable en la región.

En la actualidad la apicultura presenta perdidas tanto económicas como en especie, existen diferentes factores que le han llevado a tener estas problemáticas, por ello se pretende realizar este proyecto, desarrollando una metodología de evaluación multicriterio.

La implantación de la metodología y con la ayuda de cartografía automatizada, permiten que éste proyecto funcione como un sistema de apoyo a la toma de decisiones, en la instalación, reubicación o traslado de los apiarios en el territorio en diferentes escenarios para tener una mayor y mejor producción.





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con la tecnificación y mejoramiento de la agricultura, al tener una producción más óptima, se han implementado técnicas las cuales pueden afectar no solamente a esta si no a otras actividades como es el caso de la apicultura, con la utilización de herbicidas ocasiona que no exista plantas silvestres las cuales sirven de alimento cuando es tiempo de floración, o bien en el caso de fertilizantes o insecticidas utilizados en huertas, invernaderos o demás cultivos ocasiona que al llegar las abejas a recolectar el néctar estas enfermen o mueran trayendo como consecuencia una baja en la colonia y en la producción.

Así mismo con el cambio de uso de suelo que existe en las diferentes partes del territorio conllevan ya no tener un proceso natural de floración haciendo cada vez más difícil que las abejas obtengan o recolecten el néctar, estos cambios de uso de suelo conllevan abrir nuevos espacios para la agricultura lo cual ocasiona la problemática anterior, otros serán utilizados para la ganadería, lo cual ocasiona problemas similares al no dejar que la planta tenga una floración, o finalmente teniendo un cambio de uso de suelo para los asentamientos humanos, lo cual se traduce en vivienda o infraestructura.

Aunado a los factores antrópicos, existen factores medio ambientales que afectan a la especie, los cuales pueden ser cambios bruscos del clima (temperaturas bajas, vientos fuertes, granizadas, lluvias extremas) enfermedades propias de la especie, competitividad con otras abejas o con algunos enemigos naturales.

En nuestra zona de estudio se tiene un factor más que considerar y es que existen dos épocas de producción pero solo una se considera como una época fuerte de recolección de miel, caso contrario zonas tropicales que tienen producción durante todo el año, este factor hace que la cantidad de miel sea de menor, pero no así con su calidad.

La problemática para una buena producción de miel, es que cada vez es más complicado instalar en un lugar óptimo un apiario o colmenar, ya que los factores antes mencionados merman su producción o número de individuos por colonia. Los apicultores al tener todos estos problemas deciden no continuar con sus actividades acarreando problemas sociales económicos y ambientales.





JUSTIFICACIÓN

La apicultura en México tiene importancia socioeconómica y ecológica, se considerada como una de las principales actividades pecuarias generadora de divisas. Se cree que la apicultura únicamente se refiere a la producción de miel, y subproductos (polen, jalea real, propóleos, etc.), pero las abejas también son fundamentales para un equilibrio del medio ambiente ya que ellas realizan las tareas de polinización de plantas tanto silvestres como de cultivos trayendo como beneficios, la generación de oxígeno aumento en el rendimiento de los cultivos materias primas para diferentes industrias e insumos agropecuarios.

En México 90% de la vegetación silvestre y 75% de cultivos comestibles e industriales depende de un polinizador para su reproducción (ANMVEA, 2017).

La apicultura en la zona de estudio constituye una fuente de ingresos para familias rurales, con una producción de 70.9 toneladas SAGARPA (2016), la institución menciona que para la región se tiene una producción entre 18 y 29kg por colmena, cuando el rendimiento promedio en México es de 30.7 kg por colmena.

Los datos de producción arrojados por SAGARPA y con un precio por tonelada de \$38,787.00 la apicultura en la zona de estudio deja una derrama económica de \$2'750,000.00 pero esto con el precio a mayoreo, pero si se traduce en venta al por menor con precios que oscilan de 60 a 100 pesos por kilogramo (\$80 promedio) se podría tener una derrama alrededor de \$5'672,000.00.

Esta cantidad de beneficio económico es únicamente para el producto de la miel, pero existen subproductos con los cuales se tendría un mayor incremento. Así mismo genera beneficios medioambientales ya que contribuye con el proceso de polinización de diferentes especies vegetales de la región.

Se continuara en forma natural una polinización mejorando el ecosistema natural que se tiene alrededor, así mismo si se hablara con los productores agrícolas se mejorarían las cosechas en parcelas, hortalizas o viveros.

Se plantea realizar el proyecto para el mejoramiento de la producción apícola, alcanzando o superando los niveles de producción promedio para México. Además se tendrá una herramienta en la toma de decisiones de los productores de donde instalar sus apiarios y con ello tener la seguridad en un periodo corto de tiempo que su producción mejora y con ello la economía propia, de trabajadores directos e indirectos.





OBJETIVOS

Objetivo General:

- Clasificar la aptitud del territorio para la instalación de apiarios en la región XV del Estado de México.

Objetivos particulares:

- Analizar la ubicación óptima para la instalación de apiarios.
- Aplicar la evaluación multicriterio.
- Cartografiar los resultados de la evaluación multicriterio.





I. MARCO TEÓRICO



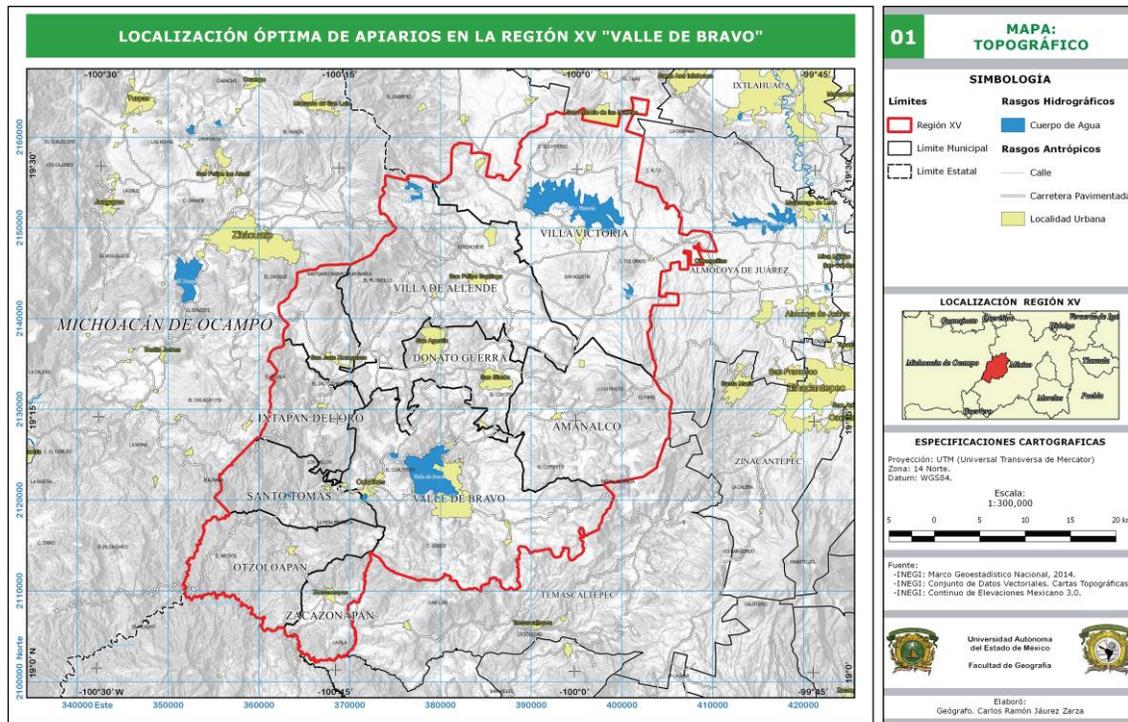


I.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La Región XV "Valle de Bravo" (GEM, 2012), se localiza en la parte Oeste del Estado de México, colindando con el Estado de Michoacán, comprende 9 municipios de la entidad, Amanalco de Becerra, Donato Guerra, Ixtapan del Oro, Oztoloapan, Santo Tomás, Valle de Bravo, Villa de Allende, Villa Victoria, Zacazonapan, cuenta con una extensión territorial de 1975 km².

Constituye un medio para garantizar una eficaz Política de Desarrollo Territorial, con su delimitación se busca orientar e impulsar el desarrollo regional bajo un enfoque sustentable y de largo plazo. Se eligió esta región al tener municipios con alta producción de miel en el Estado de México. Además de que se tuvo acceso a información de apiarios y entrevistas con apicultores de los municipios, con respecto a los factores ambientales la región tiene variantes altitudinales, climáticas, de vegetación por lo cual podría tener la base para expandir el modelo a la totalidad de la entidad. En la Figura 1 se presenta el mapa de ubicación de la región de estudio.

Figura 1
Mapa de Ubicación Región XV "Valle de Bravo".





Clima

La región XV tiene dos grupos o unidades de Clima, dividido en cuatro Subgrupos y en seis subtipos, las características generales de la división climática se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1
Características Climáticas Región XV.

Grupo de Clima	Subgrupo	Subtipo	Descripción
Templado	Semifrío	C(E)(w ₂)(w)	Clima Templado semifrío, subhúmedo de mayor humedad, con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5%, precipitación del mes más seco menor a 40 milímetros, con temperatura media anual entre 5 y 12°C.
	Templado	C(w ₂)(w)	Clima Templado, subhúmedo de mayor humedad, con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5%, precipitación del mes más seco menor a 40 milímetros, con temperatura media anual entre 12 y 18°C.
	Semicálido	(A)C(w ₁)(w)	Clima Templado Semicálido, subhúmedo de humedad media, con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5%, precipitación del mes más seco menor a 40 milímetros, con temperatura media anual mayor de 18°C.
		(A)C(w ₂)(w)	Clima Templado Semicálido, subhúmedo de mayor humedad, con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5%, precipitación del mes más seco menor a 40 milímetros, con temperatura media anual mayor de 18°C.
Cálido	Cálido	Aw ₀ (w)	Clima Cálido subhúmedo, de humedad media, con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5%, precipitación del mes más seco menor a 60 milímetros, con temperatura media anual mayor de 22°C.
		Aw ₁ (w)	Clima Cálido subhúmedo, de menor humedad, con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5%, precipitación del mes más seco menor a 60 milímetros, con temperatura media anual mayor de 22°C.

Fuente: INEGI, 2000.

Hidrología.

La región forma parte de dos regiones hidrológicas, al igual de dos cuencas y 5 subcuencas, la zona de estudio existe la presencia de corrientes de agua perenes principales como son el Arroyo Grande, Río Tiloxtoc, R. Ixtapan, R. Temascaltepec, así como dos cuerpos de agua de importancia, Presa de Villa Victoria y Presa Miguel Alemán (Valle de Bravo). En la Tabla 2 se presentan las características hidrológicas.





Tabla 2
Hidrología Región XV.

Región Hidrológica	Cuenca	Subcuenca
Lerma-Santiago (12)	Río Lerma-Santiago (A)	R. Jaltepec (h)
		R. Gavia (i)
Balsa (18)	Río Cutzamala (G)	R. Zitácuaro (b)
		R. Temascaltepec (f)
		R. Tiloxtoc (g)

Fuente: INEGI, 2016.

Orografía

La región cuenta con una altitud sobre el nivel del mar en sus partes bajas de 600 y en las parte altas 3,500 metros. Se distingue dos conformaciones geográficas definidas, la primera al centro y Noreste la cual es una zona de llanuras interrumpidas por pequeñas lomas y en segunda al Suroeste una zona montañosa; siendo los cerros más importantes el Cerro Gordo, Los Gallos, El Coyote, El Águila, Piloncillo, El Faro, San Agustín, C. Colorado y C. Suchitepec.

Geología

La estructura geológica está compuesta de Roca ígnea extrusiva básica en un 48.59% del territorio de la región, Esquisto con un 11.15%, roca volcanoclastica 9.97%, roca ígnea extrusiva ácida 8.77%, roca ígnea extrusiva intermedia 8.56%, metavolcanica 7.67% y con 5.03% la unión de rocas metasedimentarias, Suelo aluvial y roca ígnea intrusiva ácida (INEGI, 1999)

Edafología

La región presenta una estructura edáfica compuesta por 6 tipo de suelo: Andosol representa el 62.03%, Litosol 13.59%, Acrisol 10.68%, Cambisol 5.81%, Vertisol 5.20% y Regosol 0.19% (INEGI, 1998)

Tipo de Vegetación o Uso Actual del Suelo

El tipo de vegetación en forma general está distribuido de la siguiente manera: Uso agrícola (42.85%), bosque de coníferas (33.64%), pastizal (7.54%), bosque de encino (5.81%), selva (5.27%), cuerpos de agua (2.64), zona urbana (1.61%) y otros (0.63%).

Aspectos de población.

En la Tabla 3 se presentan los aspectos de la población divididos en los nueve municipios que integra la región, se muestra el total de población por cada municipio y la división por género.

Tabla 3
Población Región XV.

Municipio	Pob. Total	Masculina	Femenina
Amanalco	22,868	11,224	11,644
Donato Guerra	33,455	16,484	16,971
Ixtapan del Oro	6,629	3,326	3,303
Otzoloapan	4,864	2,464	2,400





Municipio	Pob. Total	Masculina	Femenina
Santo Tomás	9,111	4,458	4,653
Valle de Bravo	61,599	30,296	31,303
Villa de Allende	47,709	23,413	24,296
Villa Victoria	94,369	46,657	47,712
Zacazonapan	4,051	2,033	2,018
Total	284,655	140,355	144,300

Fuente: INEGI, 2010.

I.2 ANTECEDENTES APICULTURA

I.2.1 Especie Apis Mellifera.

De acuerdo con Correa y Guzmán (2011) hace 100 millones de años, cierta familia de avispas comenzó aprovechar una nueva y creciente fuente de alimentos, néctar y polen que ofrecían las plantas. Estas avispas adaptaron su aparato bucal para succionar el néctar de las flores, su cuerpo se cubrió de pelos plumosos para recoger los granos de polen y las patas posteriores se hicieron progresivamente más amplias para poder llevarse cada vez más polen al nido. Este proceso se convirtió en un fenómeno de coevolución: las plantas producían más semillas con la polinización de los insectos e intentaban atraerlos con la recompensa de los alimentos ofrecidos por sus flores. Hace unos 35-40 millones de años aparecieron las primeras abejas del género Apis. (Crane 1990).

La abeja son insectos del orden Himenópteros, de la familia de los Apidos, genero Apis y especie *Mellifera*. Las cuales viven en grandes sociedades llamadas colonias perfectamente organizadas donde cada individuo realiza una función determinada de acuerdo a su edad y desarrollo físico (SAGARPA, 2014)

Dentro de la colonia se tienen tres categorías de los individuos (Reina, Obreras y Zánganos) además de albergar las crías en diferentes estados de su desarrollo (huevos, larvas y pupas). En una colonia pueden estar compuesta de 30,000 a 70,000 abejas. A continuación se describe cada uno de los individuos de acuerdo a SAGARPA (2014):

- **Reina**

Cada colonia de abejas tiene una reina. La reina es una hembra. Su tarea más importante es poner huevos. De los huevos nace la cría también llamadas larvas. La reina pone huevos todos los días del año. Durante el flujo principal de néctar pone hasta 1,500 huevos por día. Así aumenta la población de abejas.

- **Obreras**

La abeja obrera, al igual que la reina, es una hembra, pero no se ha desarrollado para la reproducción. La obrera, sin embargo, posee otros órganos que no se encuentran ni en la reina ni en los zánganos, que le permiten realizar las innumerables tareas relacionadas con la vida de la colonia.

Ellas son las encargadas de efectuar todos los trabajos dentro y fuera de la colmena, los cuales realizan de acuerdo a la edad y al desarrollo glandular.





Del 2° al 3°. Limpia los panales de la colmena, dando calor a los huevos y larvas.

Del 4° al 12° Prepara y cuida de la alimentación de las larvas (por este motivo y a esta edad son llamadas abejas nodrizas). También produce jalea real.

Del 13° al 18° En este período produce cera y construye los panales. También están capacitadas de ser necesaria la crianza de una nueva reina a través de la construcción de la celda real, llamada "cacahuete" por su forma.

Del 19° al 20° Defiende la colonia apostándose a la entrada de la colmena, no permitiendo la entrada de insectos extraños o abejas de otras colonias.

Del 21° al 38/42° Recolectan en el campo néctar, polen, agua y propóleos para cubrir las necesidades de la colonia.

La duración de vida de la abeja obrera depende de la cantidad de trabajo que realiza. En época de cosecha, debido al exceso de labores, vive sólo unas 6 semanas. Fuera de esta época pueden vivir hasta 6 meses.

- **Zánganos**

Los zánganos son los machos de la colonia. Durante los meses en que hay flores, existe mayor abundancia de zánganos en cada colonia, ya que son temporadas de reproducción.

La tarea de los zánganos es fecundar a la reina virgen. Los que la fecundan mueren, esto asegura no caer en una consanguinidad. Los zánganos están incapacitados para recoger néctar de las flores porque tienen la lengua muy corta. Pero lo más importante carece de aguijón.

Al llegar la época de escasez de néctar, ya no hay reinas vírgenes para fecundar y las obreras sacan a los zánganos de la colmena.

I.2.2 Apicultura

La apicultura es la ciencia aplicada de la abeja, un arte y también la técnica de cuidar a las abejas, con fines comerciales para la venta de los productos obtenidos de la colmena o servicios de polinización pero también para fines recreativos. (Caron, 2010).

El arte pictórico primitivo nos ha dejado escenas de la coexistencia entre el ser humano y las abejas, muestra la importancia que entonces tuvo la recolección de miel y cera en las colonias silvestres, las pinturas encontradas en la Cueva de la Araña, en Bicorp (Valencia, España), o bien las pinturas en las cuevas y refugios de las Montañas Drakensberg (Natal, Sudáfrica), con un sorprendente parecido unas con otras a pesar de la gran distancia geográfica que las separa. La apicultura propiamente dicha, comenzó cuando el hombre aprendió a proteger, cuidar y controlar el futuro de las colonias de abejas que encontró en árboles huecos o en otras partes. (Crane 1990).





Uno de los pueblos antiguos que nos legaron sus técnicas apícolas fueron los egipcios. Existe evidencia a detalle del tipo de colmena utilizada, la forma de extracción de miel, los métodos de almacenamiento y conservación de ésta (Dadant 1999).

Cuando el hombre cambia de ser un simple recolector a un productor, comienza una nueva etapa en la apicultura, con el desarrollo, invención y descubrimiento de nuevas técnicas de manejo para volverla más eficiente. (Correa y Guzmán, 2011).

En América no existían las distintas especies del género *Apis*, por lo que las culturas establecidas en las zonas tropicales y subtropicales utilizaron otro grupo de abejas de la familia Meliponinae o abejas sin aguijón (Correa y Guzmán, 2011).

En entrevista con el Dr. Path (2017) comenta que la cría de la abeja sin aguijón de la especie *Melipona Beecheii* en la Península de Yucatán, existió antes de la llegada de los españoles. Los mayas vinculaban la cría de este tipo de abejas a la tradición religiosa del dios "Ah Mucen Kab", el consumo principal era religioso y para uso medicinal, la crianza se realiza en "Jobones" (truncos ahuecados donde anidan las abejas).

La introducción de la abeja europea a México no fue directa, en 1764 se llevaron a Cuba colonias de *Apis mellifera mellifera* provenientes de Florida; la actividad cobró importancia y tuvo una rápida dispersión en la isla. Es probable que haya sido entonces cuando se introdujo desde Cuba, en la Nueva España en los estados de Veracruz y Tabasco. (Labougle, Zozaya 1986).

La *Apis mellifera ligustica* (conocida como la abeja italiana) llegó a México después del año 1911, es la raza de abejas más difundida a nivel mundial por sus características, de docilidad, baja enjambrazón y productividad (Labougle, Zozaya 1986).

En la apicultura moderna la colonia de abejas es introducida en una caja construida por el hombre llamada "Colmena", ello permite criar las abejas de manera racional para beneficio económico del hombre.

En 1956 se introdujeron abejas africanas (*Apis mellifera scutellata*) a Brasil para establecer un mejoramiento genético con el objetivo de desarrollar abejas más productivas y mejor adaptadas a condiciones tropicales, como consecuencia de este programa, colonias de abejas africanas se establecieron de manera silvestre y se cruzaron con las abejas europeas establecidas, produciéndose así las abejas africanizadas. Los rasgos indeseables de las abejas africanizadas son el alto comportamiento defensivo y migratorio, tendencia a abandonar las colmenas y su baja productividad (Guzmán-Novoa y Page 1994b)





Las abejas africanizadas llegaron a México a finales de 1986, los enjambres de estas abejas continuaron dispersándose por el país, incluyendo los estados del altiplano durante 1989 y 1990. Para 1993 ya se habían detectado en todos los estados de México con excepción de Baja California Sur (Guzmán-Novoa y Page 1994b).

A nivel mundial, México ocupa el 3er lugar como exportador de miel (42,159 T) de la cual 20,733 toneladas son enviadas a Alemania, 8º lugar como productor mundial (56,907 T) el rendimiento promedio de miel fue de 30.7 kilogramos por colmena (SAGARPA, 2016b).

México se divide en cinco grandes regiones apícolas (Norte, Central, Pacífico, Golfo de México y Península de Yucatán), dependiendo del clima, suelo, vegetación predominante y las características generales de los sistemas de producción empleados en las abejas.

- **Región Central.**

La vegetación predominante es: matorral xerófilo, bosque espinoso, pastizal, bosque de coníferas y de encinos y bosque tropical caducifolio. Se estima que cuenta con 444,897 colmenas, propiedad de unos 7,933 apicultores, que producen al año 12,392 toneladas de miel con un rendimiento promedio por colmena de 28 kg y 643 toneladas de cera (SAGARPA, 2003 en Correa y Guzmán, 2011). Se presenta dos épocas de floración: la primera, en abril y mayo en plantas perennes, y la segunda, en los meses de septiembre a noviembre, en plantas anuales que se desarrollan entre el cultivo del maíz. La miel que se produce es de excelente calidad. Por ser la región más poblada del país, los apicultores destinan el mayor porcentaje de su producción, para abastecer el mercado interno de miel. (Labougle, Zozaya 1986).

La instalación de un apiario debe de ser una elección de un buen lugar garantiza la buena producción de las abejas y por lo tanto, la remuneración económica para el apicultor. Un apiario está constituido en promedio por 25 a 30 colmenas colocadas en forma lineal, circular o asimétrica, pero siempre con una separación mínima entre ellas de 1 m (SAGARPA, 2014).

I.2.2.1 Productos.

A continuación se presentan la descripción de los productos obtenidos de la crianza de las abejas de acuerdo a SAGARPA (2014), estos productos o subproductos tienen beneficios económicos, alimenticios y medicinales:

Miel. Sustancia azucarada que las abejas producen a partir del néctar que recogen de las flores. Es el alimento básico de las abejas y a través de él adquieren energía necesaria para desarrollar todas las actividades de la colonia. Por su alto contenido en azúcares, la miel es una fuente de calorías. La principal clasificación de la miel es que puede ser de tipo monoflorar (mayor contenido de un solo tipo de néctar de una especie florar) o de tipo multiflorar (mezcla de muchas especies florares)





Cera. Producto que a través de las glándulas cereras producen las abejas. La utilizan para construir los panales sobre los cuales la reina depositará los huevos y las abejas almacenarán la miel y el polen. También la ocupan para sellar las celdillas con larvas hasta el momento de nacer. El hombre utiliza la cera para hacer velas, aceites y artesanías en general, etc.

Jalea Real. Consiste en una sustancia que las abejas jóvenes segregan para alimentar a las larvas durante sus 3 primeros días y a la reina durante toda su vida. Las materias primas necesarias para su elaboración son el polen, la miel y el agua. La jalea es rica en vitamina B.

Propóleo. Una especie de resina que las abejas recogen del tronco de algunos árboles. El propóleo es un producto muy importante para la colmena, ya que a través de él se aseguran el calor y mantienen una perfecta higiene. En algunos países se utilizan los extractos de propóleos en el campo de la medicina como cicatrizante, bactericida y fungicida.

Polen Es el elemento masculino de una flor. Aunque no es un producto elaborado por las abejas, el polen es de suma importancia para el crecimiento y la reproducción de la colonia, ya que gracias a él obtienen los elementos necesarios para formar los músculos, órganos vitales, alas, pelos y reponer los tejidos desgastados. Es rico en proteínas, lípidos, vitaminas y minerales.

Veneno Producido por el propio cuerpo de la abeja obrera y lo utiliza exclusivamente como arma de defensa contra animales, insectos, personas y todo aquello que amenaza el funcionamiento de la colonia. Se utiliza para atender reuma, artritis, dolor de huesos, etc.

Polinización La polinización consiste en el transporte de los granos de polen de una flor a otra. Esta acción permite que se ponga en contacto el elemento masculino y femenino de la flor, para dar vida a una nueva semilla o fruto y así garantizar la reproducción de las especies vegetales. El agente polinizador más importante lo constituyen las abejas. La polinización es un beneficio para el agricultor, aumento en cantidad y calidad sus productos.

I.2.2.2 Equipo y Materiales

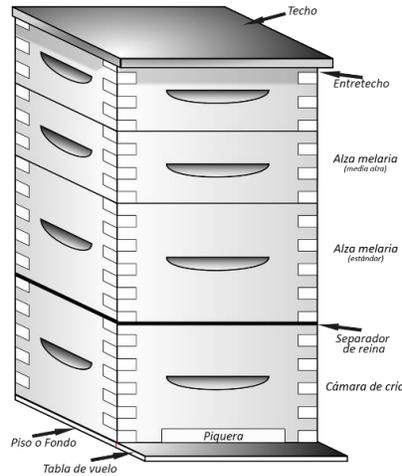
La colmena moderna

El conocimiento de la vida de las abejas ha sido posible gracias al desarrollo de una colmena técnica. Existen diferentes tipos de colmenas modernas. En el país, se utiliza la colmena tipo Jumbo y Langstroth, se muestra en la Figura 2 (SAGARPA, 2014):





Figura 2
Partes de una colmena.



Equipo de Protección.

En la apicultura moderna el equipo de protección del apicultor es importante, sobre todo cuando se trata de trabajar con abejas africanizadas, las cuales son muy defensivas. Las abejas defienden sus colonias y pueden picar a las personas que las manejan. Para evitar esto los apicultores usan ropa especial, en la Figura 3 se muestran las partes del equipo de protección del apicultor (SAGARPA, 2014):

Figura 3
Equipo de protección para el apicultor



Fuente: FOMIN-BID, 2010





El equipo de manejo

De acuerdo con SAGARPA (2014) el equipo indispensable para el manejo de las colmenas es un ahumador y una espátula Figura 4:

- **Un ahumador.** Produce humo con la finalidad de controlar a las abejas, haciéndolas huir de las partes de la colmena que se quiere examinar
- **Espátula o Cuña.** Consiste en una pieza de acero afilada por un extremo para separar todas las partes de la colmena que están adheridas con propóleos. El otro extremo de la cuña tiene una forma redonda y sirve para raspar la cera que se encuentra adherida en las paredes de la colmena. Cuando se está trabajando con las colmenas, ésta herramienta se debe tener todo el tiempo a la mano.

Figura 4
Equipo de manejo.



I.2.3 Apicultura la Región.

La apicultura en la zona de estudio constituye una fuente de ingresos para familias rurales, con una producción de 70.9 toneladas SAGARPA (2016), la institución menciona que para la región se tiene una producción entre 18 y 29kg por colmena, cuando el rendimiento promedio en México es de 30.7 kg por colmena.

Con los datos otorgados por SAGARPA se tienen registradas 3,972 colmenas en los 9 municipios de la región. Los datos de producción y realizando una estimación del costo que genera la actividad apícola; con un precio por tonelada de \$38,787.00 en la zona de estudio deja una derrama económica de \$2'750,000.00 pero esto con el precio a mayoreo, pero si se traduce en venta al por menor con precios que oscilan de 60 a 100 pesos por kilogramo (\$80 promedio) se podría tener una derrama alrededor de \$5'672,000.00.

Los costos estimados anteriormente son únicamente de miel, sin contar los subproductos como son Cera, Jalea Real, Propoleo, Polen, Veneno o demás productos como dulces a base de miel.





La mitad de producción de miel es vendida a acaparadores la cual es producto de exportación, y el resto es para venta individual la cual es mejor pagada pero el tiempo de retorno es más largo.

La miel que en esta región se produce es una miel tipo mantequilla la cual proviene de una floración principalmente de acahual, la textura de ella es fina y de baja humedad, de buena consistencia y de buen sabor, se le conoce con este nombre debido a que la sensación al paladar es parecida a la mantequilla derritiéndose. Por estas características es muy cotizada en el mercado teniendo una rentabilidad mejor en el mercado con respecto a otro tipo de miel (ANMVEA, 2017).

Actualmente la apicultura en la región se está viendo mermada debido a diferentes factores económicos, sociales y ambientales, por ello cada vez es más difícil instalar un apiario con buenos rendimientos en la producción.

I.3 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Los Sistemas de Información Geográfica 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 citado en Gómez y Barredo, 2005).

Star y Estes (1990) definen un SIG como un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. Es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos.

Un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (G. Korte. 2001).

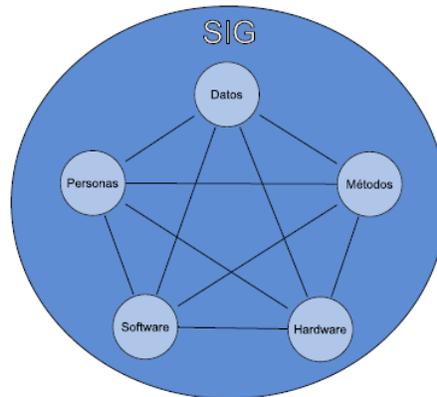
Para Olaya (2011), el SIG se compone de cinco elementos básicos (Figura 5), los cuales son:

- **Datos.** La materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica.
- **Métodos.** Conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software.** aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- **Hardware.** El equipo necesario para ejecutar el software.
- **Personas.** Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG.





Figura 5
Elementos básicos del SIG.



Fuente: Olaya, 2011.

I.3.1 Antecedentes de los SIG

El primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado aparece en Canadá, al auspicio del Departamento Federal de Energía y Recursos. Este sistema, denominado CGIS (Canadian Geographical Information Systems), fue desarrollado a principios de los 60 por Roger Tomlinson, quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural. El desarrollo de Tomlinson es pionero en este campo, y se considera oficialmente como el nacimiento del SIG (Olaya, 2011).

Simultáneamente a los trabajos canadienses, se producen desarrollos en Estados Unidos, en el seno del Harvard Laboratory, y en el Reino Unido dentro de la Experimental Cartography Unit. Ambos centros se erigen también como principales desarrolladores de software para la producción, manejo y análisis de información geográfica durante aquellos años (Olaya, 2011).

En el Harvard Laboratory, ve la luz en 1964 SYMAP, un aplicación que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, lo cual se corresponde a grandes rasgos con el enfoque que conocemos hoy en día como vectorial (Olaya, 2011).

En 1969, utilizando elementos de una versión anterior de SYMAP, David Sinton, también en el Harvard Laboratory, desarrolla GRID, un programa en el que la información es almacenada en forma de cuadrículas. Hasta ese momento, la estructura de cuadrículas regulares era solo utilizada para las salidas de los programas, pero no para la entrada y almacenamiento de datos. Son los inicios de los Sistemas de Información Geográfica ráster (Olaya, 2011).





Si la década de los sesenta es la de los pioneros y las primeras implementaciones, la de los setenta es la de la investigación y el desarrollo. A partir de los SIG primitivos se va dando forma a un área de conocimiento sin duda con gran futuro, y se elabora una base sólida de conocimiento y de herramientas aptas para un uso más genérico. Sin haber entrado aún en la época del uso masivo y generalizado, los primeros paquetes comienzan a distribuirse y pasan a incorporarse a la comunidad cartográfica, lejos ya de ser el producto de unos pocos pioneros (Olaya, 2011).

I.3.2 Desarrollo y evolución de los SIG.

Si bien los orígenes del SIG están íntimamente ligados a la gestión forestal o la planificación urbanística, son muchas otras las disciplinas que han jugado un papel importante, que obliga a un estudio del medio mucho más detallado. Coincidiendo con la etapa inicial del desarrollo de los SIG, empieza a aparecer una preocupación por el entorno. El SIG comienza a integrarse paulatinamente en las tareas de gestión del medio, como un apoyo imprescindible a la hora de analizar este (Olaya, 2011).

En la evolución de los SIG y su tecnología hicieron que estos sistemas fueran una potente herramienta para todos aquellos sectores que requieren la gestión y análisis de información espacial de manera rápida y eficaz. (Gómez y Barredo, 2005).

Coppock y Rhind (1991) citados por Gómez y Barredo (2005), consideran cuatro etapas iniciales en el desarrollo de los SIG. La primera etapa contempla los primeros años 60 hasta mediados de los años 70, se caracterizó por ser de producción cartográfica intentando digitalizar ejemplares existentes con información espacial.

La segunda etapa, del año de 1973 hasta los primeros años de 1980, la atención se centró en la cartografía automatizada pero con mayor atención en la configuración de los sistemas, a través del diseño de las primeras estructuras topológicas para representar los datos espaciales.

La tercera etapa, de la década de los 80, surgen empresas comerciales y laboratorios académicos dedicados a la generación de SIG, incrementando la disponibilidad de diferentes paquetes de SIG.

La cuarta etapa que inicia en 1991, llevo al desarrollo de los análisis de decisión en SIG, incorporando técnicas y programas compatibles para potenciar sus funcionalidades. Durante este periodo, se presentaron numerosas publicaciones relacionadas con la integración de estas técnicas en los SIG.

La disponibilidad creciente de ordenadores personales, hace que los SIG pasen de ser elementos al alcance de unos pocos a estar disponibles para todos los investigadores en una gran variedad de ámbitos. La multidisciplinariedad de los SIG como útiles de trabajo para todas las ciencias del medio se ve reforzada a partir de este momento con continuas aportaciones por parte de estas y la





aceptación del SIG como un elemento más dentro de innumerables campos de trabajo (Olaya, 2011).

Respecto a su presencia social, en nuestros días los SIG han pasado de elementos restringidos para un uso profesional a ser elementos de consumo y estar presentes en nuestra vida diaria mediante diferentes aplicaciones tanto de computadoras como de teléfonos móviles. Estas aplicaciones acercan los SIG a usuarios no especializados, dándoles la posibilidad de utilizarlos y aprovechar parte de sus capacidades (Olaya, 2011).

I.3.3 Funciones de los SIG

Para Olaya (2011) un SIG es un elemento complejo que engloba una serie de otros elementos conectados, cada uno de los cuales desempeña una función particular. Estos elementos son, los datos, los procesos, la visualización, la tecnología y el factor organizativo. Un SIG permite la realización de las siguientes operaciones o funciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales.
- Análisis de datos.
- Generación de mapas, informes, gráficos, etc.

Para Gómez y Barredo (2005) las principales funciones de los SIG se agrupan en cuatro aspectos, los cuales son:

a) Entrada de información.

Disponer de una base de datos operativa y libre de errores, ello permitirá contar con información de calidad y compatible que podrá ser procesada y analizada posteriormente.

Los datos espaciales y sus características provienen de diferentes fuentes y en distintos formatos. Por lo que es necesario que dicha información sea homogeneizada con el fin de poder ser procesada.

b) Gestión de datos

Esta función de los SIG abarca las operaciones de almacenamiento y recuperación de los datos de la base de datos, es decir, los aspectos concernientes a la forma en que se organizan los datos espaciales y temáticos en la base de datos.

c) Transformación y análisis de datos

Etapa en la que se proveen "nuevos" datos a partir de los existentes originalmente, es aquí donde el usuario define los datos y como los utilizara, para resolver problemas espaciales determinados, estableciéndose así soluciones a través del SIG con las operaciones que utilizan los datos espaciales de diferentes maneras. Los procedimientos de combinación, reclasificación, supervisión y otras aplicaciones son realizados a través de esta función.





d) Salida de datos

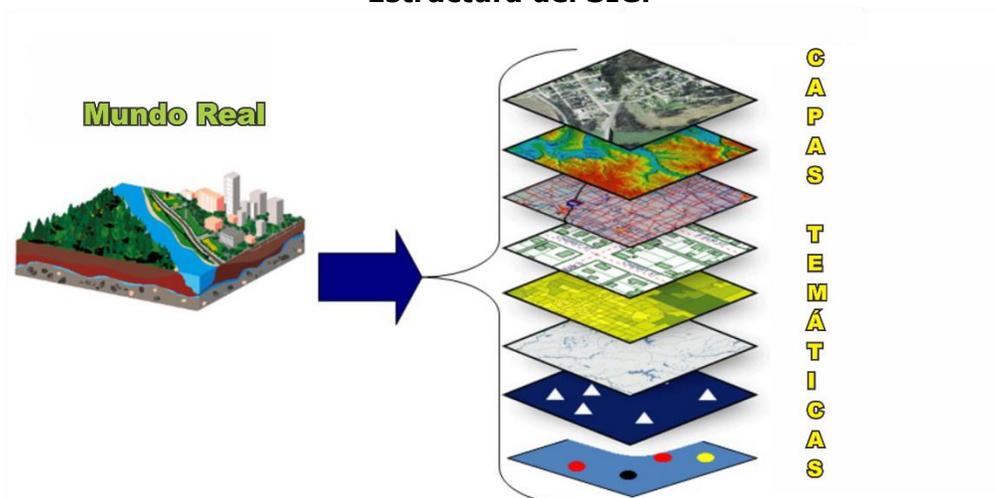
Dependiendo de los requerimientos del usuario, la salida de datos puede ser: mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo sobre ciertas zonas. Con la salida de datos se representa la información de la base de datos y los resultados obtenidos a partir de los diferentes procesos realizados.

I.3.4 Estructura de los SIG

Los datos espaciales contenidos en un SIG pueden concebirse como un conjunto de mapas de una porción específica de la superficie, cada uno de los cuales representa una variable temática. Una vez que una variable temática ha sido introducida en el SIG, recibe el nombre de capa temática, en ella se representa una tipología específica de elementos del mundo real (Gómez y Barredo, 2005).

Gómez y Barredo (2005) también nos dicen que dentro de la estructura de un SIG, es fundamental para el análisis que pueden realizarse entre ellas es que las capas tengan sobreposición entre dos o más (Figura 6); esto es para que en cada capa temática se pueda construir un criterio particular y puedan ser incluidos en procesos de análisis como es la Evaluación Multicriterio y tomar decisiones basándose en los datos espaciales del territorio.

Figura 6
Estructura del SIG.



Fuente: Henrico, 2017.

I.3.5 Antecedentes de los SIG en la Apicultura

Estoque y Murayama (2010) realizan un estudio titulado "Análisis de aptitud para los sitios de apicultura en La Unión, Filipinas, Uso de SIG y técnicas de evaluación multicriterios" Este estudio tiene como objetivo evaluar la aptitud de la Provincia de La Unión, para la apicultura utilizando técnicas de SIG y MCE. Presenta un método empírico para el análisis involucra SIG y la participación de las partes interesadas y expertos en el proceso de toma de decisiones.





En la Unión Europea existe la iniciativa comunitaria nombrada "ICT-AGRI" es una red de organizaciones nacionales y regionales de toda Europa dedicadas a la financiación de actividades, programas e iniciativas relacionados con la ciencia, la tecnología y la innovación, su objetivo que pretende es impulsar investigación relativa a las tecnologías de información y comunicación (TIC) y robótica en la agricultura. Está financiando la iniciativa "Application of Information Technologies in Precision Apiculture (ITApic)", proyecto que promueve la aplicación de tecnologías en la apicultura, en el cual se señala que la apicultura de precisión puede ser implementada siguiendo tres etapas: 1° recolección de datos, 2° análisis de la información y 3° aplicación práctica. (ITApic, Consultado en: <http://www.itapic.eu/>)

En España se diseñó un modelo de sistema de información geográfica para la miel producida en Sierra Morena, la cual cuenta con una Denominación de Origen Protegida (DOP), este modelo ha servido para estimar la distribución de fuentes de néctar y obtener información relevante en cuanto a la ubicación de los apiarios y la calidad de la miel. La implementación de este sistema facilita la obtención de información para los apicultores que comercializan su miel dentro de una zona con DOP, representa una herramienta de bajo costo para asegurar autenticidad de la miel y ayuda a los apicultores localizados en dichas regiones a acceder a la DOP. (Serrano, S. et al. 2008)

Una herramienta tecnológica en la apicultura es la implementación de dispositivos antirrobo ya que este es uno de los problemas no solo en México si no en varias partes del mundo, en España se creó un sistema nombrado "Bee Tracker" es un sistema que permite la monitorización de las colmenas desde el interior del panal y cuenta con sistema GPS. El sistema se camufla con los panales, activándose la alarma al detectar movimiento, trazando la ruta en un mapa que indique su ubicación en tiempo real. Además este sistema registra los datos de humedad, temperatura y sonido en la colmena, los cuales pueden ser factores determinantes para conocer el comportamiento dentro de la colonia. (Lepton, 2013)

Otra herramienta utilizada es la de microchip utilizada por apicultores de Estados Unidos de América para prevenir el robo de colmenas. El chip es tan pequeño que puede ser fácilmente colocado entre los marcos de madera de sus colmenas y que al emitir una señal puede ser seguido desde una computadora, lo que permitiría encontrar una colmena robada.

Actualmente en Estados Unidos de América se utilizan imágenes de satélite para informar a los apicultores respecto de la ocurrencia de los flujos de néctar. La plataforma Honey Bee Net de la NASA fue creada en el año 2006 con el objetivo de cuantificar los efectos del cambio climático sobre los flujos de néctar y las floraciones, utilizando como dato el pesaje diario de colmenas ubicadas en sitios de interés. Estos registros se encuentran disponibles para el apicultor y sirven para estimar la ocurrencia de las floraciones, sobre todo para aquellos que





practican la trashumancia (Movimiento de apiarios). (<http://honeybeenet.gsfc.nasa.gov/>)

En Chiapas, la actividad apícola esta normada por la Ley Pecuaria del Estado, no existe un control del inventario apícola estatal, ni de su producción, sus movimientos, etc. Esto tiene como consecuencia la falta de datos confiables, que servirían en la elaboración de programas de desarrollo de la apicultura. Además la falta de regulación, ha generado conflictos entre apicultores, o entre organizaciones apícolas. Ante esta problemática, organizaciones a través del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), solicitaron a ECOSUR su intervención para ubicar geográficamente los apiarios, definir áreas de influencia y traslape entre las organizaciones (Argüello y Vandame, 2008).

I.4 EVALUACIÓN MULTICRITERIO.

El método de Evaluación Multicriterio (EMC) es una metodología que descompone un problema complejo en partes más simples, permitiendo que se evalúe o tener múltiples criterios en forma visual. Este método juega un papel vital como herramienta de planeación (Nijkamp et al., 1990 citados por Uribe, 2001; Munda, 2004; Chen et al., 2012). Esto se llega mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles:

- Meta u objetivo
- Criterios
- Alternativas

Munda (1993) dice que la evaluación multicriterio considera factores de tipo cualitativo y cuantitativo; y considera la pluralidad de percepciones de los actores involucrados en el problema de decisión, la cual debe ser participativa para tomar decisiones y trazar alternativas para la solución de conflictos.

Podemos decir que la realización de un análisis multicriterio no es más que la superposición espacial de distintas imágenes que muestran diversos aspectos del medio natural.

Una de las ventajas que ofrece la evaluación multicriterio es la diversidad de factores que logra integrar en su evaluación. Esto lo lleva a cabo al transformar las mediciones y percepciones en una escala única para que sea comparada con los demás elementos integrados en la evaluación, estableciendo un orden o jerarquía para otorgar prioridad a los factores que tengan un mayor peso o importancia (Contreras y Pacheco, 2007).

De acuerdo con Chakhar (2003), las técnicas de EMC consisten en una primera etapa, del diseño de una matriz con los criterios y las alternativas definidos; la siguiente etapa consiste en la agregación de las distintas puntuaciones de los criterios, con el uso de algún procedimiento de agregación específico, tomando en cuenta la preferencia de los decisores expresada en término de pesos que se asignan a los diferentes criterios; ese procedimiento o técnica permite al decisor comparar entre las diferentes alternativas con base a los pesos asignados.





La evaluación multicriterio, al ser “un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones” (Barredo, 1996; Valpreda, 2007 en Limon, 2013), permite:

- Ponderar impactos ambientales provocados por el accionar humano, a partir de la confrontación de las variables naturales y antrópicas.
- Construir escenarios que permitan disminuir la incertidumbre en relación a la toma de decisiones.
- Evaluar alternativas.

Estas decisiones se ven considerablemente asistidas por los SIG, ya que su adopción implica la consideración de una gran variedad de criterios que pueden ser representados como capas de información temática o sectorial. La integración de estas capas temáticas mediante los SIG usando la evaluación multicriterio permite obtener un modelo final que muestra la ubicación idónea de cada punto del territorio para albergar la actividad considerada (Eastman, 1997).

I.4.1 Componentes de la Evaluación Multicriterio.

Entre los principales componentes dentro de la EMC, se encuentran: los objetivos o alternativas, criterios (factores y limitantes), reglas de decisión y la evaluación, a continuación se describe cada una de ellas.

- **Objetivos y Alternativas.**

Es fundamental establecer un objetivo o conjunto de objetivos que planteen problemas de planificación, decisión o localización-asignación de actividades, los cuales deben estar fundamentados en criterios previamente establecidos (Gómez y Barredo, 2006).

- **Criterios.**

Los criterios en la EMC son considerados como la base para la toma de decisiones, por tal motivo su elección es un aspecto fundamental para la evaluación de cada alternativa. Son de dos tipos: factores y limitantes, y son representados en forma de mapa. Los factores realzan la capacidad de establecimiento de una alternativa específica para alcanzar el objetivo y se miden en escala continua. Mientras que los limitantes restringen la disponibilidad de una alternativa para la actividad evaluada, excluyéndose varias categorías para generar una capa binaria (Gómez y Barredo, 2006).

Los criterios se necesita asignarles pesos, en donde se define el valor asignado a cada uno de los criterios. A esta fase se le llama ponderación de criterios, se utilizará la Matriz de Comparación por Pares desarrollada por Saaty.

En esta técnica, matriz de comparación por pares, se establece una matriz cuadrada (Tabla 4) donde el número de filas y columnas está definida por el número de criterios a ponderar (Saaty, 1980, citado por Gómez y Barredo, 2005).





Tabla 4
Matriz de comparación por pares.

Criterio	A	B	C	N...
A	1			
B		1		
C			1	
N...				1

Fuente: Gómez y Barredo, 2005

Con base en una escala establecida por el procedimiento, se asignan juicios de valor a todas las celdas de la matriz, en donde a la diagonal sólo se le asignarán valor de uno, que denota la igualdad en la comparación del factor consigo mismo (Gómez y Barredo, 2005).

La escala de medida (Tabla 5) para establecer los juicios de valor en este método es de tipo continuo que va del valor mínimo 1/9 hasta 9.

Tabla 5
Escala de medida de juicios de valor.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema		
Menos Importante					Más Importante			

Fuente: Gómez y Barredo, 2005.

Después de asignar los juicios de valor y calcular el peso de cada criterio, se obtiene la razón de consistencia, la cual si es menor a 0.10 indica un nivel razonable de coherencia en la comparación por pares, pero si el valor es mayor o igual a 0.10, el valor indica juicios inconsistentes (Gómez y Barredo, 2005).

- **Reglas de decisión.**

Una regla de decisión es el procedimiento por el cual se eligen y combinan los criterios para llegar a una evaluación particular, y por el cual son comparadas y aplicadas las evaluaciones.

Es el procedimiento que conlleva a una evaluación particular a partir de un método lógico y/o matemático que permite comparar las alternativas entre sí de acuerdo a su capacidad para cumplir el objetivo. Las reglas de decisión pueden ser simples o complejas considerando el objetivo que persigue la evaluación, los métodos de EMC asisten en la integración coherente de los criterios en la toma de una decisión mediante reglas de decisión específicas. Las reglas de decisión pueden establecerse mediante dos tipos procedimientos: de selección y selección heurística (Gómez y Barredo, 2006).

- **La evaluación**

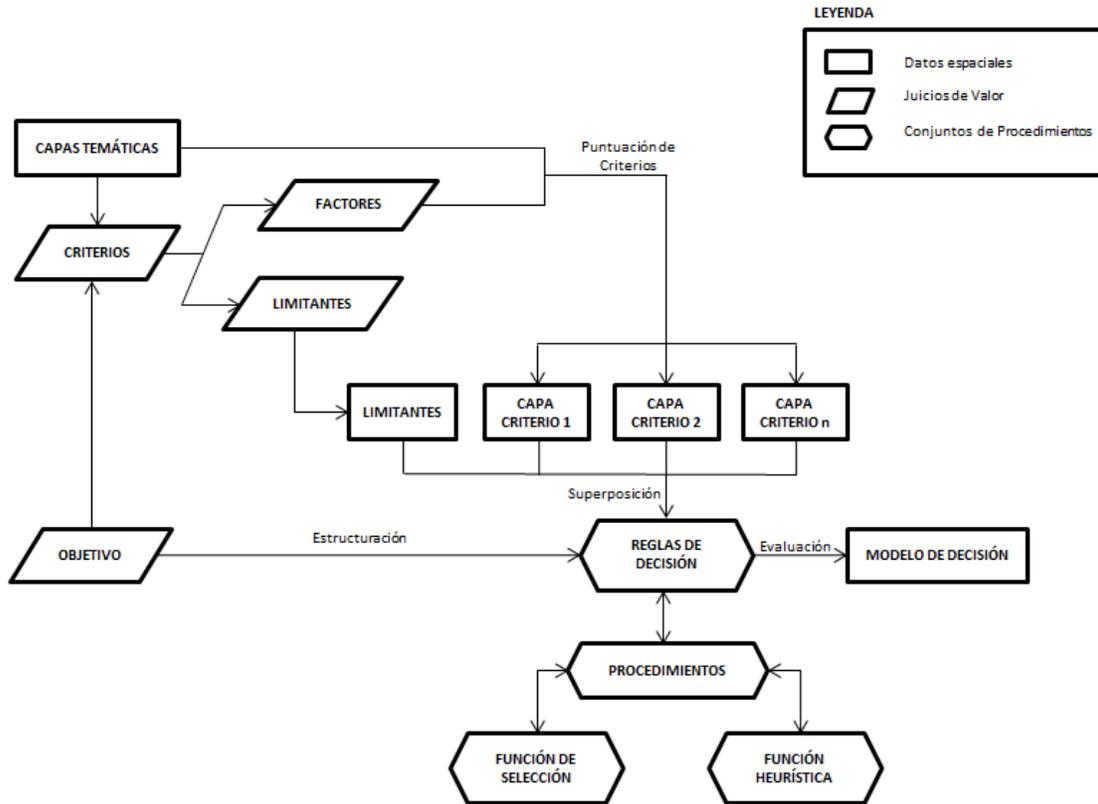
Definidas las reglas de decisión, cada criterio es evaluado para generar finalmente el modelo de decisión (Gómez y Barredo, 2006).





A continuación en la Figura 7 se presenta el procedimiento de EMC con objetivo simple integrado por los componentes principales del método.

Figura 7
Procedimientos EMC.



Fuente: Gómez y Barredo, 2005.

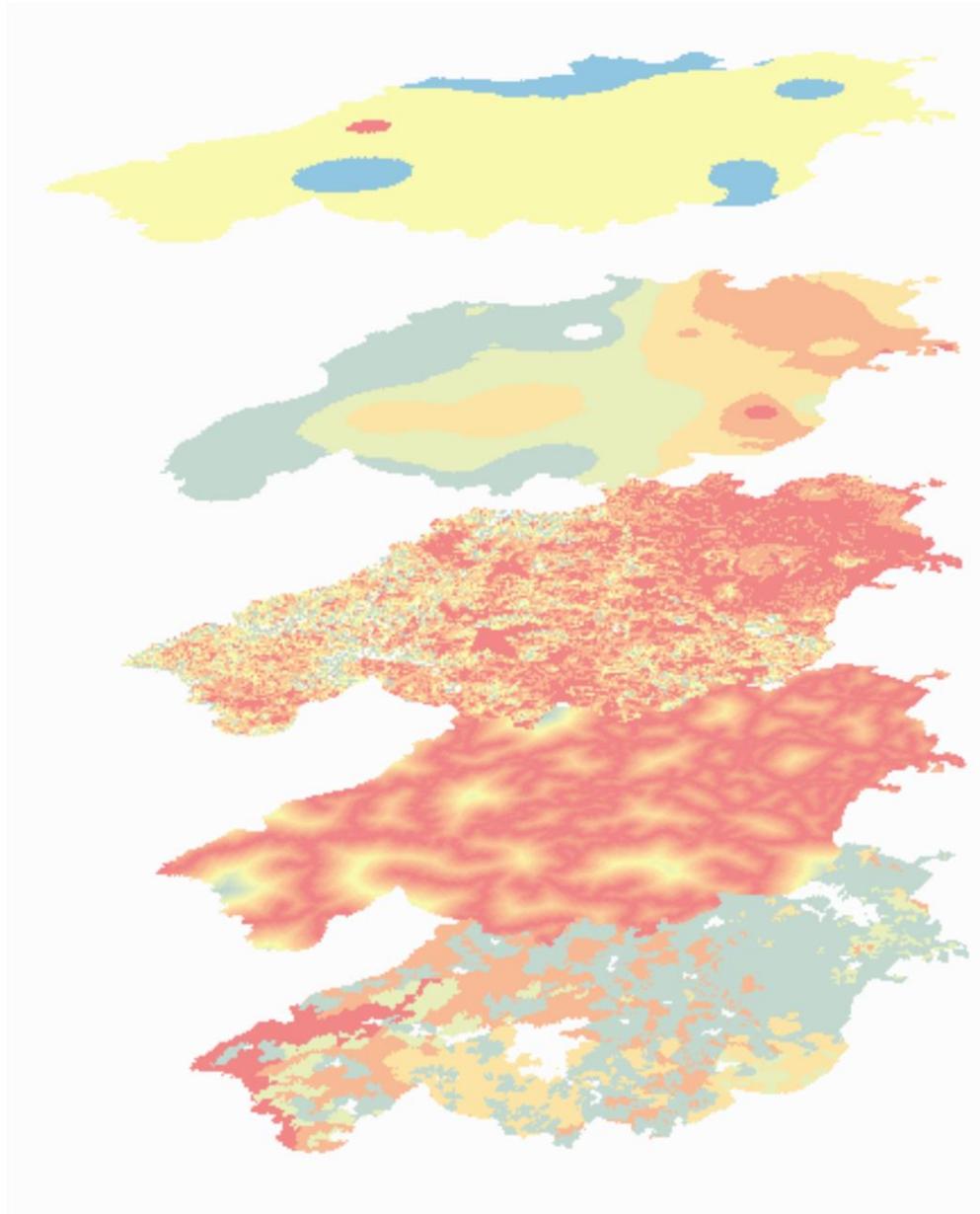
El resultado es recomendable que se realice sobre una escala comparable en tipo, rango de extensión, unidad de medida, dispersión, etc.; es decir se debe buscar, estandarizar o normalizar los criterios en una escala de medida común (Pineda, 2010).

Para el caso de nuestro proyecto y para desarrollar los objetivos planteados se utilizara la evaluación multicriterio implantado en un SIG. Ya que es una técnica útil a la hora de resolver problemas de ubicación de actividades dentro del territorio y cuando esta ubicación depende de múltiples factores difícilmente evaluables.



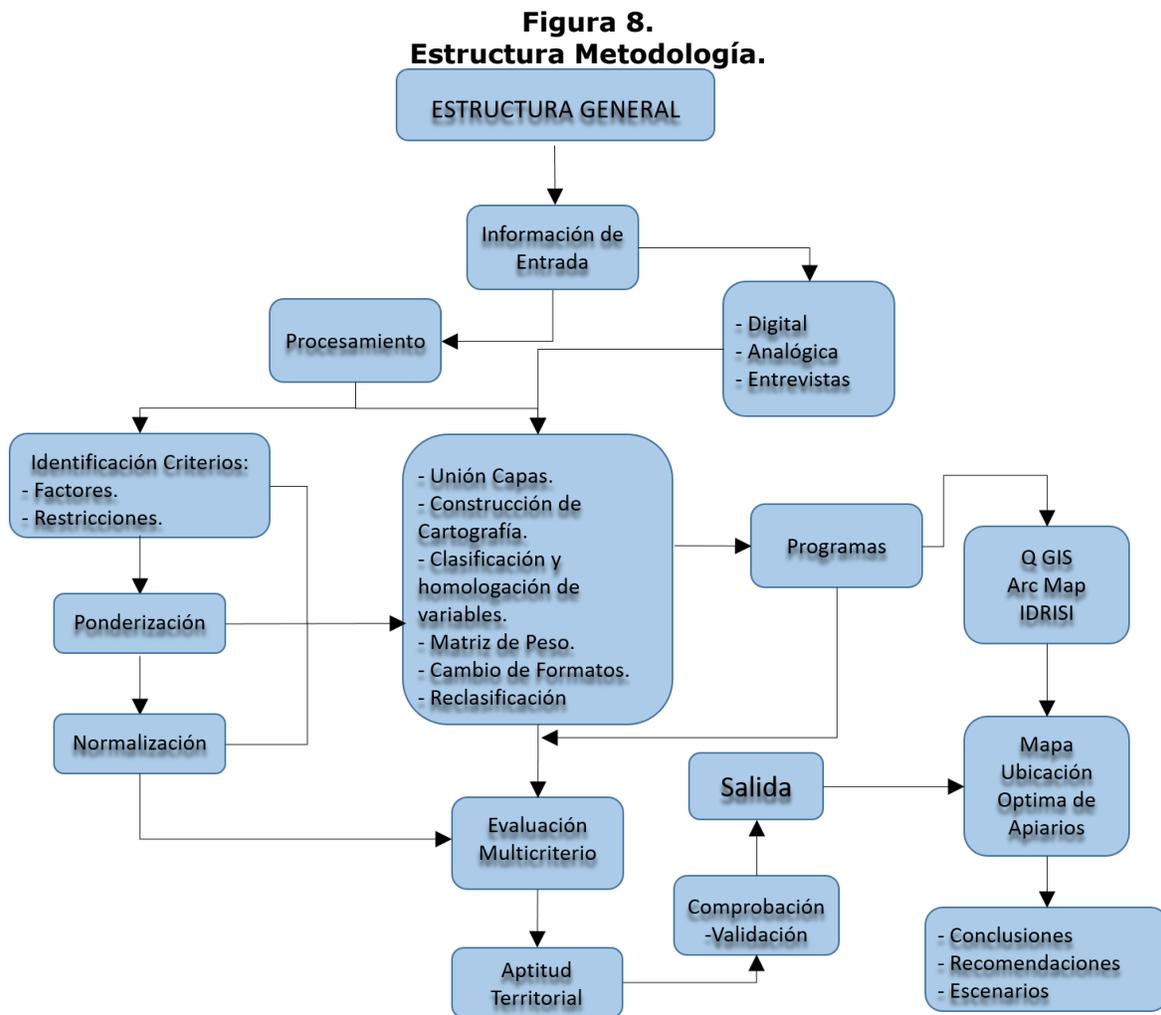


II. METODOLOGÍA





A continuación se presenta la estructura general de la metodología (Figura 8), la cual se realizó para la obtención de los lugares óptimos para la instalación de apiarios en la Región XV del Estado de México.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describe con detalle la metodología que se siguió dividido en diferentes incisos hasta llegar a los resultados finales.





II.1 BASE CARTOGRÁFICA

II.1.1 Información Cartográfica

Para la selección de los datos espaciales o capas se realizó una revisión bibliográfica así como la consulta de expertos en la materia para conocer las características que se debería de buscar en el territorio para poder instalar un apiario y además que este tuviera una producción igual o superior al promedio de la región. A continuación se describe las capas utilizadas, la fuente de las que fueron retomadas (Tabla 6), y se presentan en forma visual (Figura 9) aquellas capas que fueron utilizadas para la evaluación multicriterio.

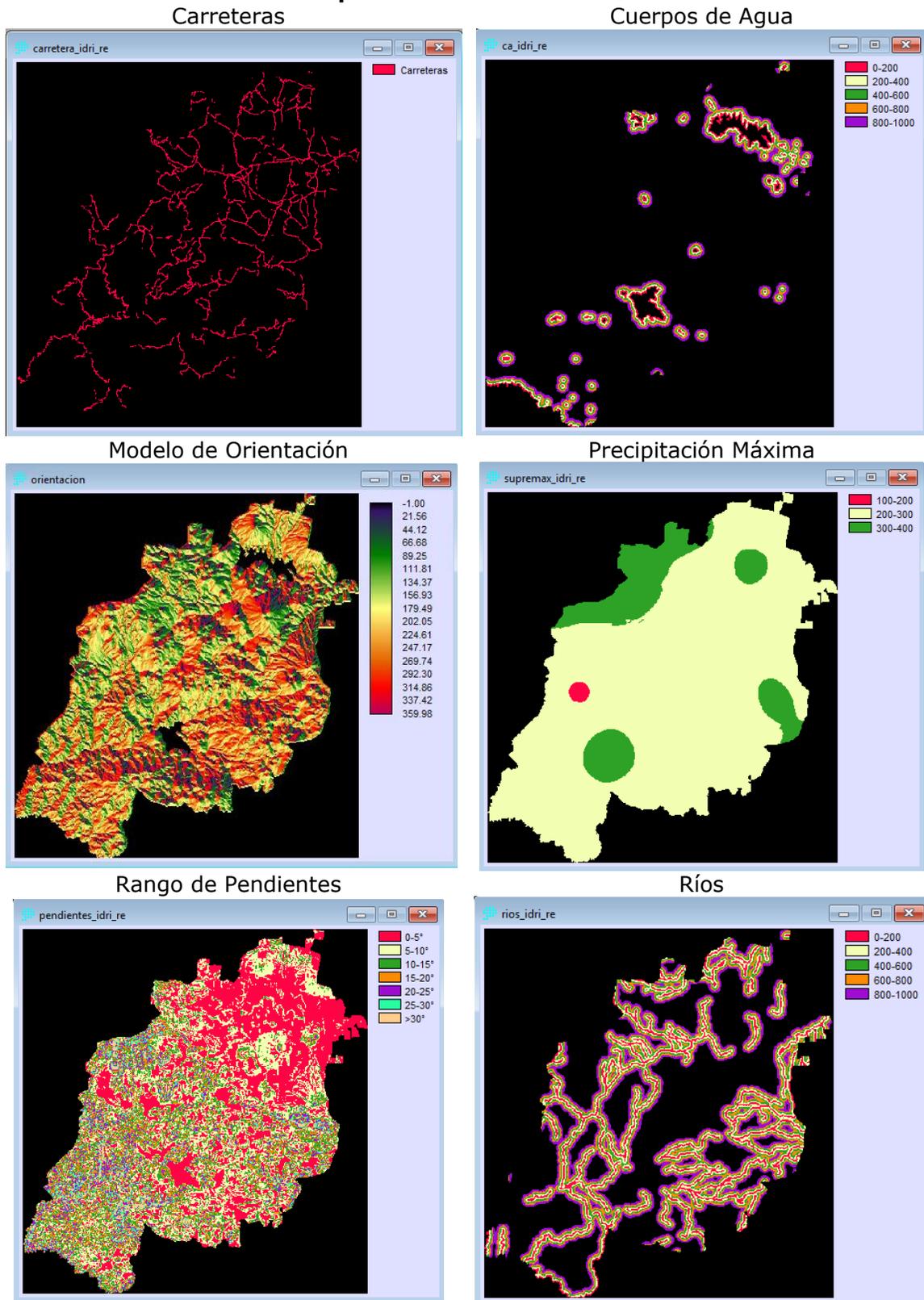
Tabla 6
Fuente de capas de datos espaciales.

Capa	Fuente
Cartografía Base (Carreteras, Localidades)	Cartas vectoriales 1:50,000 INEGI, edición 2015, con clave E14a(25-28, 35-38, 45-48, 55-58)
Corrientes hidrológicas	Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0, INEGI.
Cuerpo de Agua	Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0, INEGI.
Georreferenciación Apiarios Región XV.	Producción estimada de miel de apiarios inscritos al programa de buenas prácticas de producción de miel, a través del Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de México. SAGARPA, año 2016
Modelo Digital de Elevación	Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), INEGI, Resolución 15 metros.
Precipitación Máxima	Interpolación mediante datos por estación meteorológica, Normales Climatológicas, Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA.
Región XV	Marco Geoestadístico Nacional, INEGI, edición 2016, con base a la regionalización socioeconómica del Gobierno del Estado de México, 2012.
Temperatura Máxima	Interpolación mediante datos por estación meteorológica, Normales Climatológicas, Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA.
Temperatura Mínima	Interpolación mediante datos por estación meteorológica, Normales Climatológicas, Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA.
Uso de Suelo y Vegetación	Capa vectorial de Uso de suelo y vegetación Serie V, INEGI.



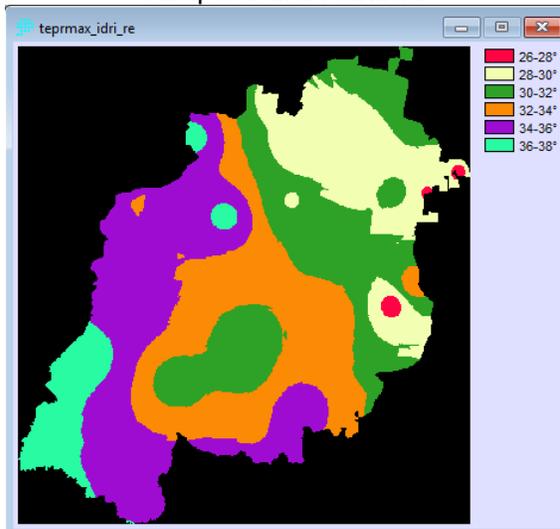


Figura 9
Capas utilizadas en la EMC

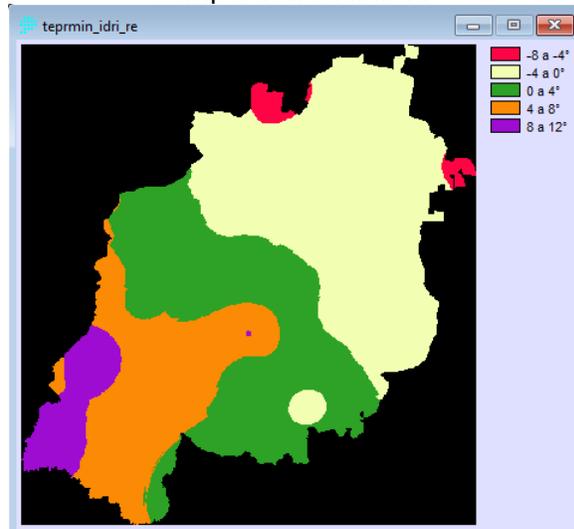




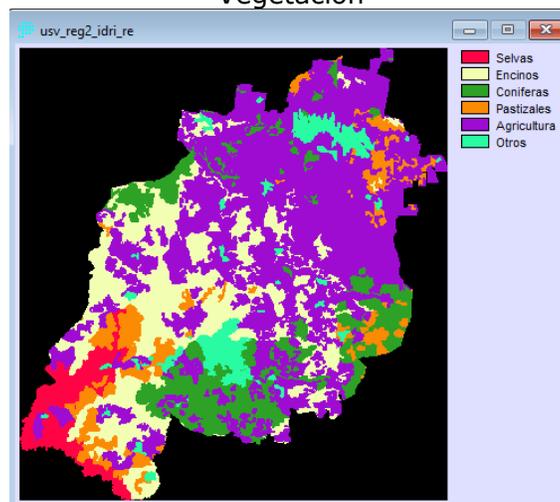
Temperatura Máxima



Temperatura Mínima



Vegetación



En la Tabla 7 se presenta la información los actores claves que fueron consultados para la realización del trabajo terminal; la información otorgada por los actores claves se complementó con la bibliografía especializada en el tema.





Tabla 7
Actores claves.

Nombre	Ocupación.
ANMVEA.	Asociación Nacional de Médicos Veterinarios Especialistas en Abejas, entrevistas y ponencias dentro del 24º Congreso Internacional de Actualización Apícola
Biol. Denisse Reyes Jaime	Consultor para la parte biológica
Biol. Julyo Espinoza Hernández	Consultor para la parte biológica
Biol. Ramiro Gómez Valencia	Consultor para la parte biológica
C. Emmanuel Tonatiah Peña Vargas	Apicultor de la Región XV, del municipio de Villa de Allende.
C. José Carmen Peña Zarza	Apicultor de la Región XV, del municipio de Villa de Allende. Con patente de equipo de trabajo para apicultores
Dr. Alejandro Velázquez Montes	Profesor investigador del CIGA (Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental), UNAM, campus Morelia.
Dr. Lucio Alberto Path Fernández	Profesor investigador del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad Campeche.
M. Jessica Mariana Sánchez Jasso	Consultor para la parte biológica
MVZ. Omar Argüello Nájera	Técnico titular asignado en el equipo Abejas del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad Chiapas.
MVZ. Octavio Martínez Vázquez	Coordinador del Programa para el Control de la Abeja Africana, del Estado de México.

II.1.2 Plataformas Tecnológicas

Para la captura, procesamiento y edición se requirieron diferentes plataformas tecnológicas tanto Software como Hardware, a continuación en la Tabla 8 se presentan las características generales de estos así como la forma en que fueron utilizados durante el proceso del trabajo.

Tabla 8
Plataformas Tecnológicas utilizadas

Software/Hardware	Descripción de utilización
Laptop HP Pavilion Modelo "15-AW003LA"	Computadora personal, donde se cargó toda la información cartográfica, bases de datos, instalación de softwares especializados.
Tablet Lenovo Modelo "TAB3 A7-10"	Se utilizó en campo para ubicación por medio del GPS, para capturar datos.
Arc Map 10.2	Software utilizado para geoprosesos de cortes, uniones, exportación, conversiones de formatos vectoriales y raster, interpolaciones





Software/Hardware	Descripción de utilización
QGIS 2.10.1	Software utilizado para geoprosesos de cortes, uniones, exportación, conversiones de formatos vectoriales y raster, edición cartográfica.
IDRISI Selva	Software utilizado para ponderizar, normalizar, reclasificación y modelaje de la evaluación multicriterio.

II.2 LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE APIARIOS

Antes de empezar con el proceso que se realizó para obtener la localización optima de apiarios, se describió en párrafos atrás que se utilizará la Evaluación Multicriterio como método, así mismo se dio la definición de algunos conceptos en este apartado daremos la explicación de que se refiere a la ponderación y normalización de los criterios para que en los incisos posteriores se continúe únicamente con la explicación del proceso.

- **Ponderación**

La ponderación de los factores es la expresión en términos cuantitativos de la importancia de los distintos elementos para contribuir en una determinada actuación (Gómez y Barredo, 2005), para poder obtenerla se utiliza la matriz de comparación por pares antes expuesta, con ella se asignan pesos

Los juicios de valor se asignan utilizando una escala de razón de tipo continuo que va desde el valor mínimo 1/9 hasta el valor máximo 9, misma que se presenta en la Tabla 9. Se debe de vigilar la consistencia, la cual debe de ser menor a 0.1 ya que si el valor es mayor se debe replantear los juicios de valor asignados.

Tabla 9
Escala de comparación por pares.

Valor	Definición
1/9	Importancia extrema
1/7	Importancia muy fuerte
1/5	Importancia fuerte
1/3	Importancia moderada
1	Igual de importante
3	Importancia moderada
5	Importancia fuerte
7	Importancia muy fuerte
9	Importancia extrema

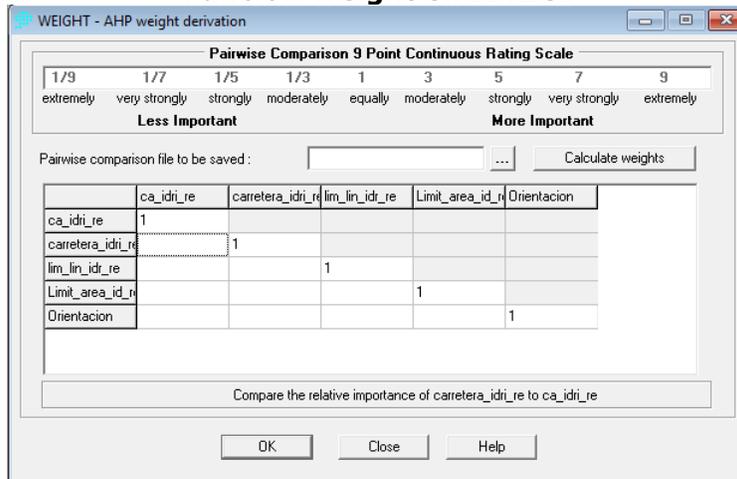
Fuente: Elaborado con base en Pineda, 2010.

El procedimiento de ponderación se encuentra implementado en el software IDRISI mediante el módulo Weight (Figura 10), el cual fue utilizado para el cálculo de los pesos y después mediante una reclasificación fueron asignados en las capas.





Figura 10
Función Weight en IDRISI

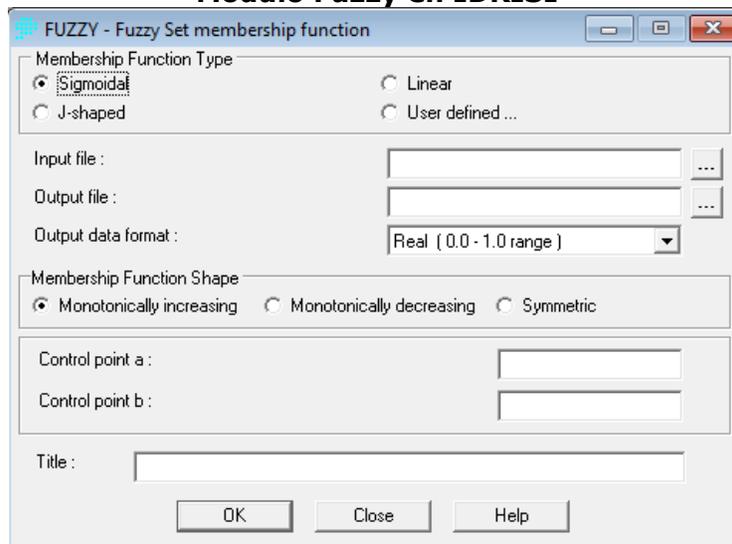


- **Normalización.**

La normalización de los factores es la estandarización de valores entre diferentes criterios a diversas escalas, rangos de extensión o unidades de medida, se debe de realizar este proceso para poder realizar la EMC, si no se realiza este proceso los resultados estarán sesgados por ello es de vital importancia

Dentro del módulo de IDRISI "Fuzzy" se hará la normalización de las capas (Figura 11), este módulo incluye tres funciones diferentes para realizar pudiendo ser Sigmoidal, J-shaped y Lineal, pudiendo tener una normalización de variación gradual en número real (0 a 1) y en byte (0 a 255).

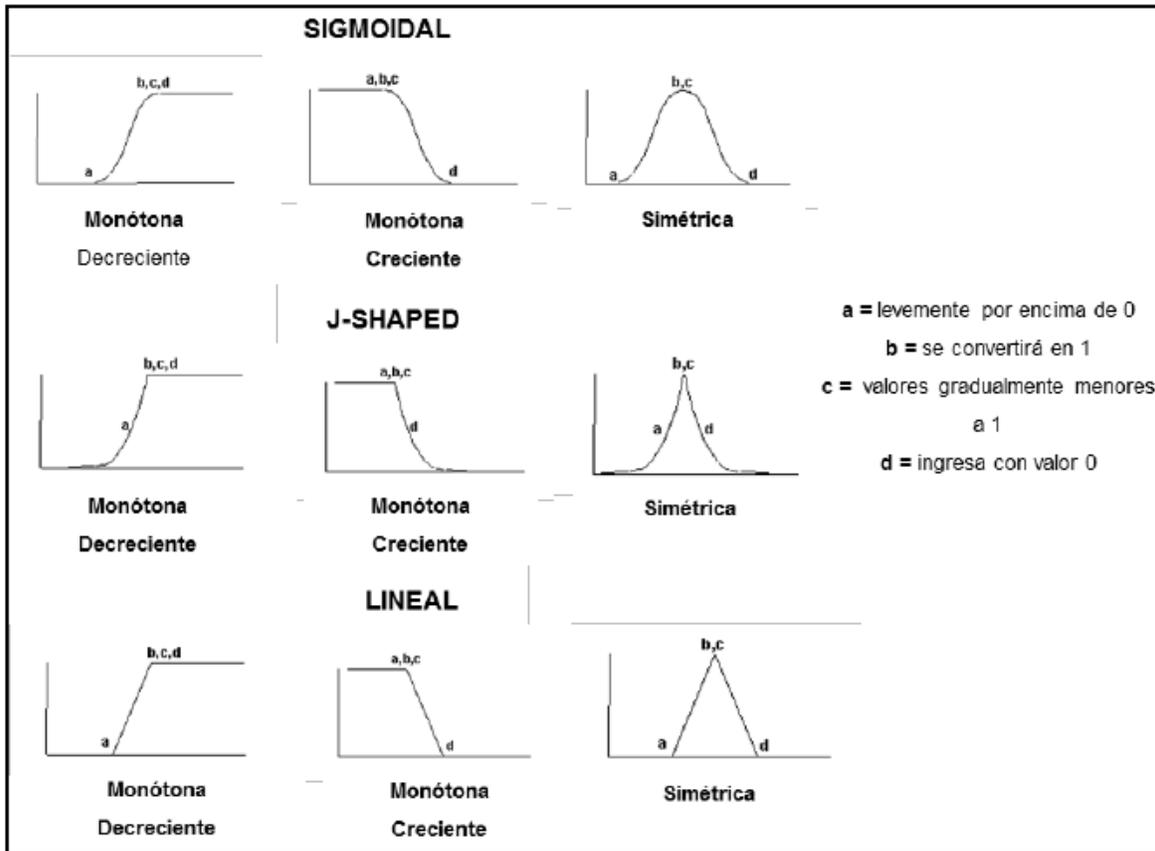
Figura 11
Módulo Fuzzy en IDRISI





Las funciones de normalización que integra IDRISI pueden ser utilizadas en diferentes variables y para diferentes tipos de datos, la utilización adecuada de ellas permite que la normalización sea la adecuada para después integrarla al modelo de EMC, a continuación se muestra en la Figura 12 estas funciones.

Figura 12
Funciones de normalización



Fuente: Rojas, 2014.

II.2.1 Identificación de criterios: Factores y Restricciones

Mediante la revisión bibliográfica exhaustiva sobre el tema de apicultura, con las entrevistas realizadas a los actores clave y con el conocimiento y preguntas realizadas en congreso y curso se pudieron determinar los criterios para poder realizar el modelo de ubicación de lugares óptimos para la instalación de apiarios, estos criterios pueden ser factores o restricciones que a continuación se describen en forma general en la Tabla 10.





Tabla 10
Identificación de Criterios

Criterio	Umbrales
Factores	
Carreteras (Proximidad)	Sitios próximos a carreteras serán los óptimos.
Cuerpos de Agua (Proximidad)	<1,000 metros de distancia a Cuerpos de agua
Modelo de Orientación	Orientación de ladera con dirección Este, Noreste y Sureste más óptimas
Precipitación Máxima	< 100 mm de precipitación máxima
Rango de Pendientes	Pendientes suaves hasta tener valores menores a 30°
Ríos (Proximidad)	<1,000 metros de distancia a Ríos
Temperatura Máxima (Riesgo a Insolación)	<36°C de Temperatura Máxima
Temperatura Mínima (Riesgo a Heladas)	>0° de Temperaturas Mínimas
Vegetación	Vegetación Secundaria en cualquier comunidad vegetal
Restricciones	
Zona Urbana	Radio de 300 metros de cualquier zona urbana o asentamiento humano
Cuerpo de agua	Ningún apiario puede estar en cuerpos de agua
Ríos	Ningún apiario puede estar en un río
Vías de comunicación	Ningún apiario puede estar en una vía de comunicación

II.2.1.1 Factores

- **Carreteras**

Factor elegido a partir de las entrevistas a apicultores, se pretende tener cerca a los apiarios de una vía de comunicación para poder realizar las maniobras de mantenimiento, alimentación, pre-cosecha y cosecha en cada una de las colmenas. La cercanía a la vía de comunicación es de importancia para los trabajos ya que ahorraría tiempo y esfuerzo para apicultor, además de poder realizarlo con seguridad y sin riesgo a pérdida de producción por accidentes durante el traslado.

Para este factor se retomaron las carreteras tanto pavimentadas y de terrecería, midiendo su distancia y dejando una normalización a partir de 200 metros ya que por ley no se podrá instalar un apiario a distancias menores (GEM, 2016).

- **Cuerpos de Agua y Ríos.**

Las abejas obtienen agua de manantiales, arroyos, ríos y del rocío de las plantas durante las mañanas. En climas templados, durante el verano requieren aproximadamente 3 litros de agua limpia al día por colmena (CGG y el SENASICA, 2014).

Es importante que exista agua corriendo y potable en un radio no mayor de 200 m del apiario, pero en situaciones de crisis la abeja puede llevar a desplazarse hasta 1 kilómetro para obtener el vital líquido (ANMVEA, 2017).





Para realizar este factor se retomaron los cuerpos de agua y las corrientes de agua ambas de tipo perenne, se realizó un buffer de anillos con 5 divisiones a distancias a 200 metros cada una, hasta llegar a 1,000 metros.

- **Modelo de Orientación**

El apiario se orientará hacia el Este para que los primeros rayos del sol den a las piqueras (entrada de las colmenas), lo que incentivará a las abejas a salir a pecorear (recolectar) temprano. Esta alineación también facilitará el regreso de las pecoreadoras (abejas obreras) con el viento a su favor (CGG y el SENASICA, 2014).

Mediante el Modelo Digital de Elevación con resolución de 15 metros, se realizó el cálculo de orientación de laderas, para después ser normalizado únicamente con direcciones Este.

- **Precipitación Máxima**

No existe bibliografía acerca del rango de precipitación ideal para las abejas, pero de acuerdo con la bibliografía y con las entrevistas realizadas a actores claves se menciona que cada que existe lluvias en la zona las abejas no salen a pecorear por lo cual no existe la recolección de néctar y por consecuencia baja la producción de miel y subproductos.

Debido a que en la zona únicamente se tiene dos fechas de producción la primera de marzo a mayo (Primavera) y la segunda con mayor producción de septiembre a noviembre (Otoño) se tomó en cuenta la información de las estaciones meteorológicas de la región, se analizaron los datos de precipitación máxima diaria de estos meses, para continuar con una interpolación de los datos y obteniendo las zonas con mayores precipitaciones de la región.

Tomando estos datos de precipitación se clasificó por rangos de 100 milímetros, teniendo como resultado 3 rangos, partiendo de 100 mm hasta 400 mm. Con ello se tiene que las zonas más óptimas son aquellas con menores precipitaciones ya que con menor precipitación mayor pecoreo traducido en mayor producción.

- **Rango de Pendientes**

No existe en la bibliografía un rango de pendiente óptima para la instalación de los apiarios, se tiene registro de apiarios en pendientes pronunciadas, pero es difícil tener acceso a él por lo cual se dificultan las tareas de mantenimiento y cosecha.

Por lo anterior y con las entrevistas realizadas a los apicultores y a las autoridades encargadas de SAGARPA, mencionan que se requieren pendientes menores de 30° para facilitar las tareas del apicultor.





Mediante el Modelo Digital de Elevación con resolución de 15 metros, se realizó el cálculo de Pendiente en grados para reclasificarlas en rangos de 5° partiendo de 0 y hasta 30° teniendo un total de 6 rangos, por lo cual las pendientes óptimas para el estudio quedarían las que van de rango de 0-5° hasta llegar a 30°.

- **Temperatura Máxima (Riesgo a Insolación)**

Cuando la temperatura del medio ambiente sobre pasa los 38°C las abejas no salen a pecorear ya que tienen que cambiar de actividad, dentro de la colmena las abejas salen a ventilarla para reducir la temperatura en la cámara de crías, por lo que la producción se ve afectada (Dadant, et al, 1975 en Jacinto, 2014)

Con el aumento de la temperatura también se ve afectada la floración al tener una baja de flujo del néctar y calidad del polen,

La cámara de cría permanece a una temperatura prácticamente constante de 34°-35°C pero cuando la temperatura se eleva de este rango tienen que regularla al interior de la colmena (Apiculturaenvalero, 2010).

Las abejas son capaces de mantener relativamente constante la temperatura en la cámara de cría en un rango entre los 32 y 36°C, aunque la temperatura óptima se sitúa en torno a los 35°C. (Flores, 2006)

Cuando la temperatura de la colmena supera los 35°C las abejas sacuden sus alas para expulsar el aire caliente y así la refrescan. No todas las abejas participan de este movimiento, sólo algunas (Coppa, 2006).

Si el calor no disminuye, la temperatura corporal irá subiendo poco a poco hasta "freír" a las abejas por dentro: las proteínas se coagulan por encima de los 45°C y pierden sus funciones. Si a pesar del esfuerzo desplegado por la colonia no se logra rebajar la temperatura, la cría muere deshidratada, la reina corta la puesta, se derriten los panales y se paraliza la colonia. (Grille y Calviño, 2011).

Por los antecedentes expuestos de como las temperaturas altas afectan no solo en la producción sino también en la supervivencia de la colonia se tomó para el trabajo una temperatura máxima de menos de 36° que es la que mencionan la mayoría de los autores, en donde la abeja cambia de actividades para ventilar la colmena y preservar la cámara de cría.

Retomando las dos fechas de producción antes mencionadas primavera y otoño, se analizó la información de las estaciones meteorológicas de la región, tomando los datos de temperatura máxima diaria de estos meses, para continuar con una interpolación de los datos y obteniendo las zonas con mayores temperaturas de la región.





Se clasificó por rangos los datos obtenidos teniendo un total de 6 rangos partiendo de 26°C hasta 38°C. Las zonas más óptimas son aquellas con temperaturas menores a 36°C teniendo una mayor aptitud desde los 26° hasta los 34°C.

- **Temperatura Mínima (Riesgo a Heladas)**

Las abejas son expertas en mantener la temperatura más alta que el medio ambiente en épocas de mucho frío. Como mecanismo de regulación, las abejas cuando perciben el descenso de temperatura, se agrupan en racimos, con la reina en el centro, formando un "bolo invernal" que se irá compactando a medida que ésta siga descendiendo (Mendizábal, 2006).

Se comenta que abejas adaptadas al frío pueden llegar a soportar temperaturas extremadamente frías ($>-15^{\circ}\text{C}$), pero estas temperaturas son alcanzadas en invierno y el apicultor mantiene a la colonia con alimentación artificial por lo cual la abeja inverna y no sale de la colmena.

Para el proyecto se determinó temperaturas mínimas que fueran menores a los 0°C ya que con temperaturas inferiores a esta pueden matar la planta y su floración. Una disminución de la temperatura romper el flujo de néctar. Por ello si se llega a tener presencia de heladas, mataría la floración y detendría la producción en la zona.

Retomando la información de las estaciones meteorológicas de la región, se analizaron los datos de temperatura mínima diaria de los meses de producción, para continuar con una interpolación de los datos y obteniendo las zonas con temperaturas menores a 0°C de la región.

Se clasificó por rangos teniendo un total de 5 rangos partiendo de -8°C hasta 12°C . Las zonas más óptimas son aquellas con temperaturas mayores a 0°C teniendo una mayor aptitud desde los 12° hasta los 0°C existieron dos rangos con temperaturas menores a 0° estas fueron descartadas para el análisis de ponderación.

- **Vegetación**

Es el factor más extenso y el cual requirió de mayor cantidad de fuentes bibliográficas ya que es el factor que más influye en la producción de miel, debido a la presencia y el tipo de vegetación se dará mejor producción o no.

Es importante conocer y aprovechar las plantas que favorecen la apicultura, para un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. El análisis en las mieles, permite determinar su origen botánico y geográfico, con el fin de reconocer la flora nectarífera y polinífera de una zona. Son pocos los trabajos realizados sobre mieles en todo el mundo. (Cajero, 2005 en Gómez, 2005).





En la Ley de Apicultura del Estado de México (GEM, 2016) en el Capítulo VIII que se refiere al aprovechamiento de las zonas apícolas, en su Artículo 22 menciona lo siguiente: "...La Secretaría levantará y actualizará periódicamente el inventario de la flora melífera en la Entidad y en función de ésta, determinará las zonas apícolas que permitan el fomento de la actividad...". Actualmente no se tiene este levantamiento el cual tendría que ser prioridad para determinar estas zonas mencionadas.

Es conveniente ubicar el apiario donde exista abundante vegetación néctar-polinífera. Las abejas dominan una zona de 2 a 3 Km. de radio, sin embargo cuanto más cerca se encuentren de las plantas melíferas, será más rápido el transporte de néctar y polen, gastarán menos energía. El resultado será un mayor rendimiento (CGG y el SENASICA, 2014).

De acuerdo a SAGARPA (2014) se cuenta con un calendario de floración apícola de la región del antiplano, pero ya que esta regionalización es extensa no se cuenta con todas las especies en la región estudiada, a continuación en la Tabla 11 de acuerdo con los apicultores y con el personal de SAGARPA delegación Estado de México se consideran las siguientes especies néctar-polinífera.

Tabla 11
Especies néctar-polinífera en la Región XV.

Nombre Científico	Nombre Común	Zona Bioclimática	Hábitat
<i>Bidens odorata</i> Cav	acahual, acahual blanco, aceitilla	Bosque de pino-encino, bosque mesófilo, selva baja caducifolia y pastizales	Campos de cultivo, orillas de caminos, lugares perturbados. En forma natural se encuentra en taludes y alrededor de ríos
Foto			





Nombre Científico	Nombre Común	Zona Bioclimática	Hábitat
<i>Ipomoea purpurea</i>	Campanilla, batatilla, Bejuco, Bejuquillo.	Matorral xerófilo, pastizal, bosque de encino y eucalipto	Arvense y ruderal.
Foto			
<i>Lopezia racemosa Cav</i>	Aretillo, perita, perilla, perlilla	Bosque de pino-encino, bosque mesófilo, selva baja caducifolia, pastizales y matorrales	Arvense y ruderal
Foto			
<i>Salvia mexicana L</i>	Tacote o Tapachichi	Pastizales, Bosques de Quercus y de Pinus	Lugares perturbados.
Foto			





Nombre Científico	Nombre Común	Zona Bioclimática	Hábitat
<i>Schinus molle</i> L	Pirul	Bosque de pino-encino, Selva Baja Caducifolia.	En pastizales perturbados, orillas de carreteras y caminos
Foto			
<i>Sida rhombifolia</i> L	Escoba	Selva mediana, Selva Baja Caducifolia y las partes bajas de la región del bosque de pino-encino	Orillas de caminos, A lo largo de arroyos y vegetación secundaria
Foto			
<i>Simsia amplexicaulis</i>	Achualillo	Bosque de pino-encino.	Arvense y ruderal.
Foto			





Nombre Científico	Nombre Común	Zona Bioclimática	Hábitat
<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de León	Bosque de pino-encino	Ruderal y arvense.
Foto			

Fuente: CONABIO, 2017

Tal como se puede apreciar en la Tabla 11, las plantas néctar-polinífera son variadas y se distribuyen en los diferentes tipos de vegetación que están presentes en la región. A falta de documentos de flores potenciales para la apicultura en la región se consultó con expertos biólogos los cuales llegaron a la conclusión que de la vegetación presente en la región la mejor era la de selvas, seguida por bosques de encino y de coníferas.

Así mismo se recomendó que se instalara en zonas con vegetación secundaria o perturbada pero debido al desfase de la información cartográfica y que la región se encuentra perturbada en su mayoría se consideraron igual los polígonos de vegetación secundaria y vegetación primaria.

La vegetación dada por INEGI, en la serie V de Uso de Suelo y Vegetación (USV) se clasifico de la siguiente manera (Tabla 12):

Tabla 12
Clasificación de USV Serie V

Clasificación	Clasificación Proyecto
Vegetación Secundaria de Selvas Selvas (Baja y Mediana)	Selvas
Vegetación Secundaria de Encinos Bosques de Encino	Bosques de Encino
Vegetación Secundaria de Bosques Bosques	Bosques de Conífera
Pastizales	Pastizales
Agricultura	Agricultura
Otros	Otros





II.2.1.2 Restricciones

- **Zona Urbana**

Restricción normativa de 200 metros alrededor de cualquier asentamiento humano esto dado por la Ley de Apicultura del Estado de México (GEM, 2016).

Para este criterio se realizó un Buffer de 200 metros a todas las localidades, y se dejó en IDRISI únicamente con valores binarios.

- **Cuerpo de agua y Ríos**

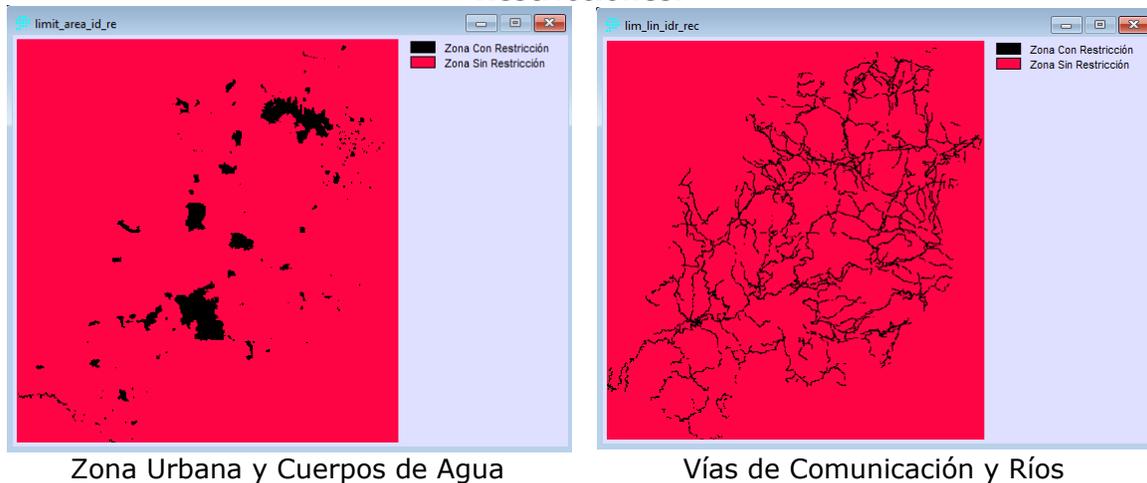
Ya que dentro de los cuerpos de agua no pueden instarse los apiarios se eliminaron del análisis multicriterio únicamente como valores binarios

- **Vías de comunicación**

Por normatividad no se puede instalar un apiario en una vía de comunicación ni a una distancia de 200 metros, por lo cual se procedió a realizar el cálculo de área mediante un buffer y dejar los valores binarios.

A continuación se presentan las imágenes de las restricciones en IDRISI (Figura 13), listas para poderlas ingresar al modelo de EMC.

Figura 13
Restricciones.



II.2.2 Ponderación y Normalización

II.2.2.1 Proximidad a Carreteras

Mediante el módulo de "Distance" se midieron las distancias a carreteras (Figura 14). La normalización de este factor se realizó a través de una función "Linear" monótona decreciente (Figura 15). Se empezó en una distancia de 200 metros debido a la normatividad que no puede instalarse un apiario a menos de 200 metros de una vía de comunicación.





Figura 14
Normalización de la proximidad a carreteras.

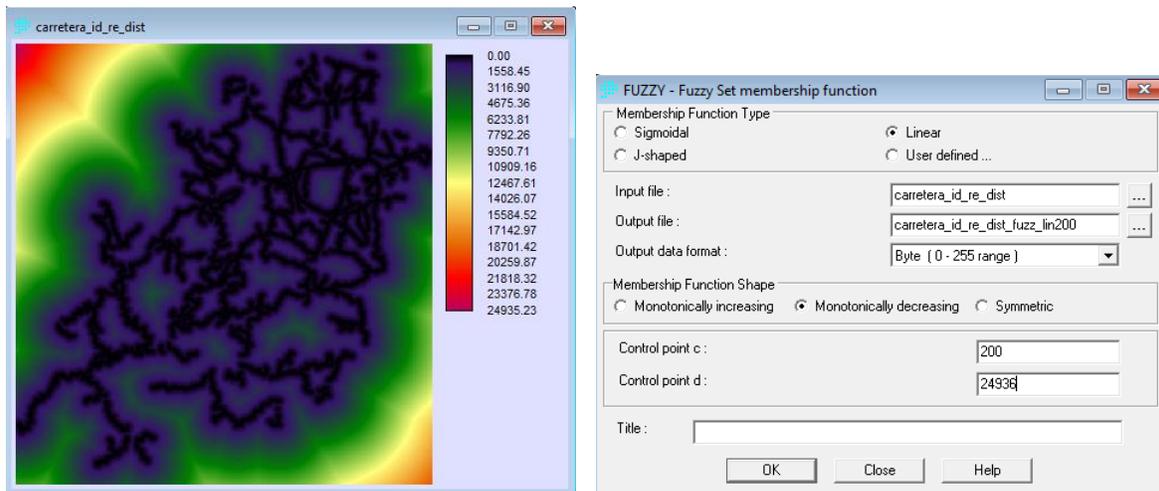
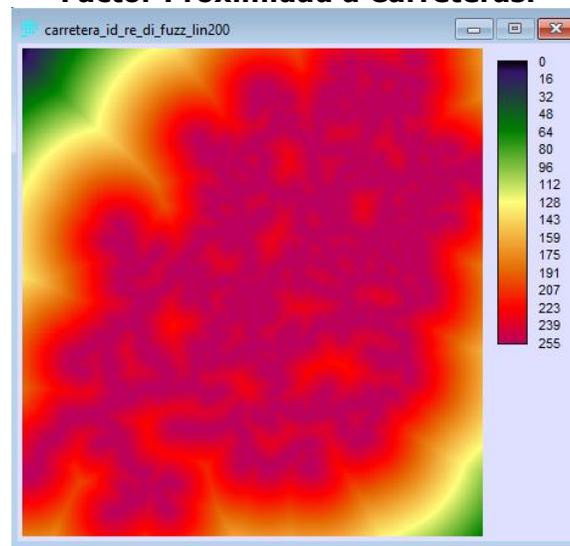


Figura 15
Factor Proximidad a Carreteras.



II.2.2.2 Distancia a Cuerpos de agua

Se realizó un buffer de anillo con 5 rangos, de acuerdo con la bibliografía la distancia idónea son distancias menores a 200 metros pero en época de estrés las abejas pueden recorrer 1000 metros para obtener agua, por lo cual se calcularon los pesos mediante la siguiente idoneidad (Tabla 13).





Tabla 13
Clasificación de distancias a Cuerpos de Agua según la idoneidad

Distancia (m)	Idoneidad	Jerarquización
0-200	Muy buena	1
200-400	Buena	2
400-600	Regular	3
600-800	Baja	4
800-1000	Muy Baja	5

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada rango de distancia, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 14), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.02) y se realizó la reclasificación de criterios con los pesos obtenidos.

Tabla 14
Matriz de comparación por pares, Cuerpos de Agua

Criterio	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	Peso
0-200	1					0.5324
200-400	1/3	1				0.2319
400-600	1/5	1/2	1			0.1274
600-800	1/7	1/4	1/2	1		0.0682
800-1000	1/9	1/6	1/4	1/2	1	0.0402

Una vez teniendo la capa ponderizada se procedió a realizar la normalización mediante la función difusa sigmoideal monótono creciente (Figura 16), donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos (Figura 17).

Figura 16
Normalización de la proximidad a Cuerpos de Agua.

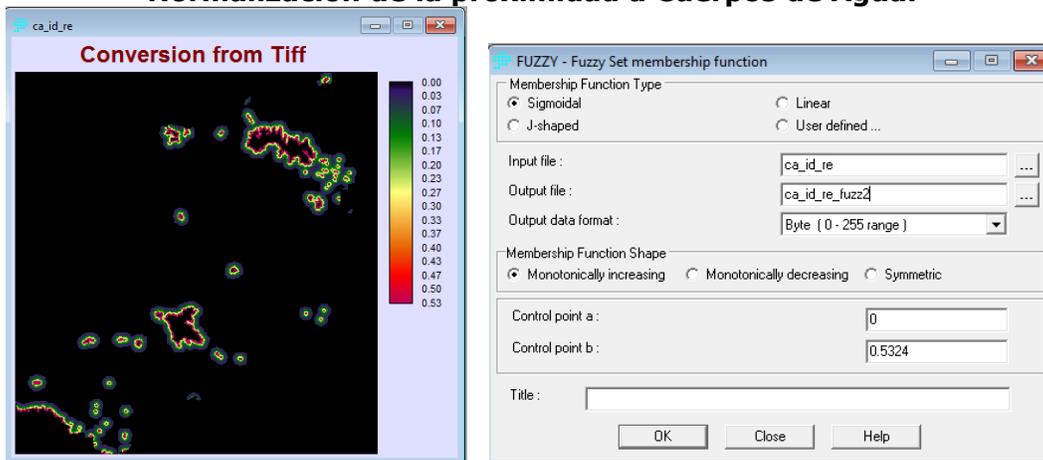
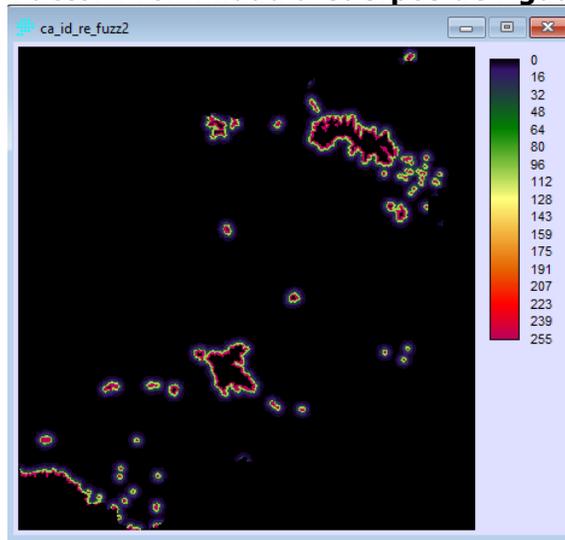




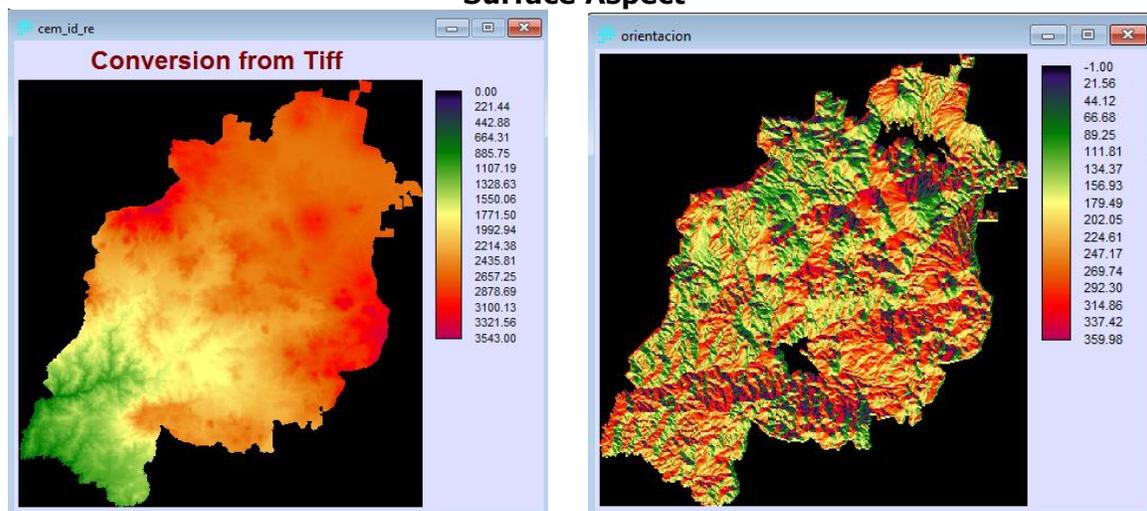
Figura 17
Factor Proximidad a Cuerpos de Agua



II.2.2.3 Modelo de Orientación.

Mediante el módulo de "Surface" se obtuvo el modelo de orientación en base al modelo digital de elevación (Figura 18), el resultado de reclasifico para dejar únicamente las orientaciones que pudieran contener la dirección Este.

Figura 18
Surface Aspect



La normalización de este factor se realizó a través de una función "Sigmoidal" simétrica (Figura 19). Se empezó en una dirección de 0° en la cúspide se dejó 90° (Representando la dirección Este) hasta 180 (Figura 20).





Figura 19
Normalización de modelo de orientación.

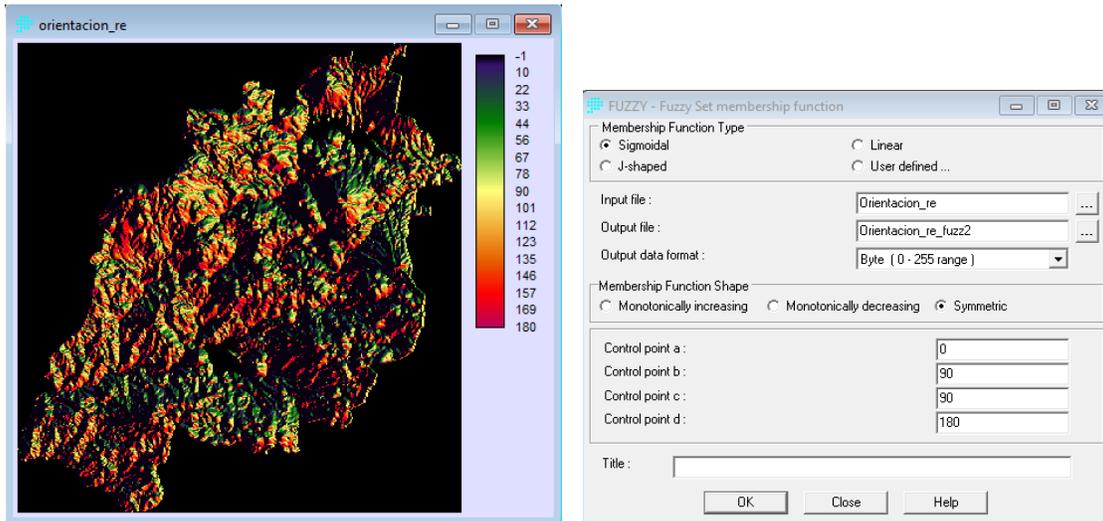
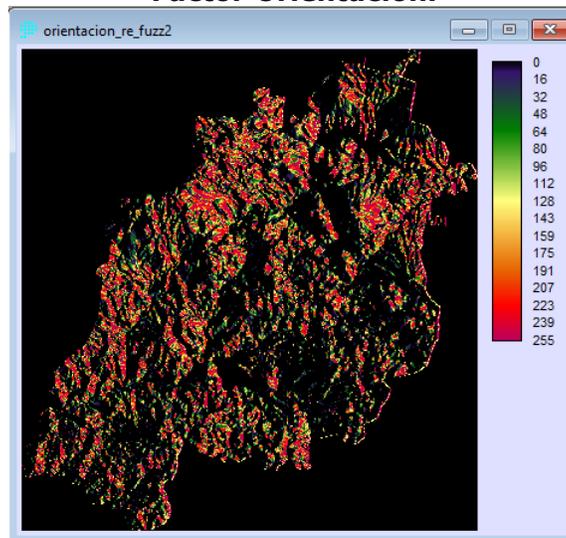


Figura 20
Factor Orientación.



II.2.2.4 Precipitación Máxima

Mediante una interpolación realizada en base a los datos de estaciones meteorológicas de la región se obtuvieron 3 rangos, se tomara como rango idóneo aquel que tenga menor precipitación (Tabla 15), por lo cual se calcularon los pesos de la siguiente manera.





Tabla 15
Clasificación de precipitación según la idoneidad

Precipitación (mm)	Idoneidad	Jerarquización
100-200	Buena	1
200-300	Media	2
300-400	Baja	3

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada rango de precipitación, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 16), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.02) y se realizó la reclasificación de criterios con los pesos obtenidos.

Tabla 16
Matriz de comparación por pares, Precipitación máxima

Criterio	100-200	200-300	300-400	Peso
100-200	1			0.5714
200-300	1/3	1		0.2857
300-400	1/5	1/2	1	0.1429

Una vez teniendo la capa ponderizada se procedió a realizar la normalización mediante la función difusa sigmoidal monótono creciente (Figura 21), donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos (Figura 22).

Figura 21
Normalización de la Precipitación Máxima.

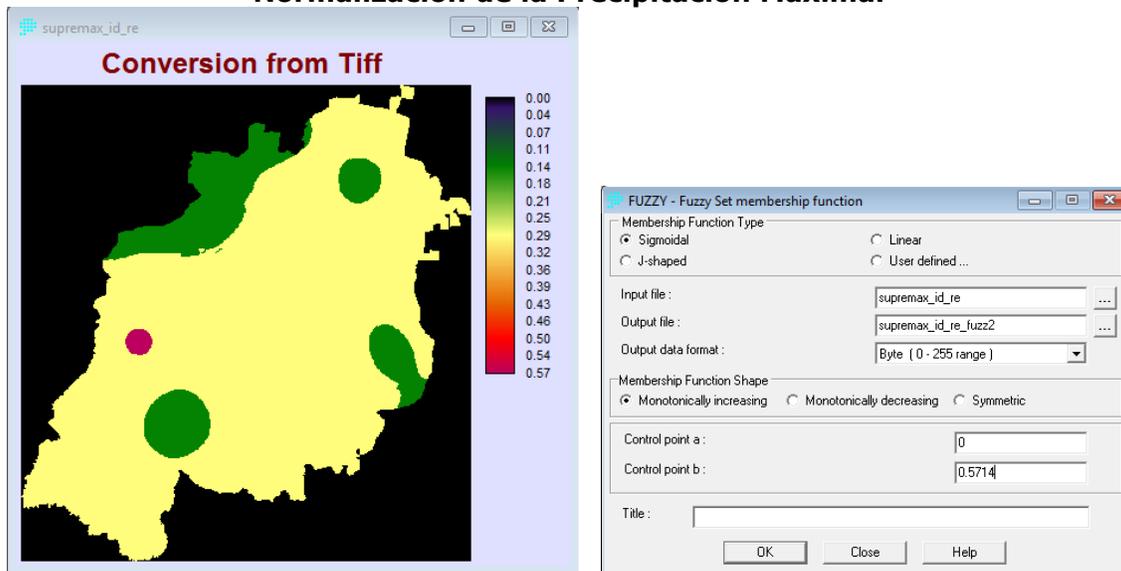
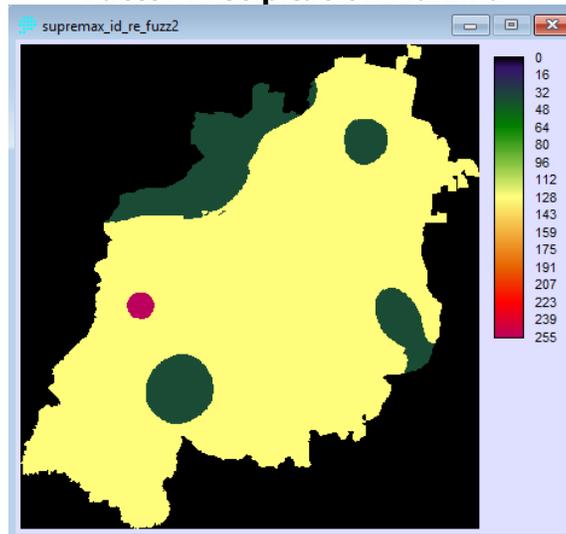




Figura 22
Factor Precipitación Máxima



II.2.2.5 Rango de Pendientes

En Arc Map se trabajó el modelo de pendientes así como su reclasificación en rangos de cada 5° hasta llegar a 30°, se obtuvieron 6 rangos, se tomara como rango idóneo aquel de 0 a 5° de pendiente, por lo cual se calcularon los pesos de la siguiente manera (Tabla 17).

Tabla 17
Clasificación de Rangos de Pendiente según la idoneidad

Pendiente (°)	Idoneidad	Jerarquización
0-5	Optima	1
5-10	Muy Buena	2
10-15	Buena	3
15-20	Regular	4
20-25	Baja	5
25-30	Muy Baja	6

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada rango de pendiente, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 18), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.01) y se realizó la reclasificación de criterios con los pesos obtenidos.

Tabla 18
Matriz de comparación por pares, Pendientes.

Criterio	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	Peso
0-5	1						0.4145
5-10	1/2	1					0.2250
10-15	1/3	1/1	1				0.1849
15-20	1/5	1/3	1/2	1			0.0936
20-25	1/7	1/5	1/4	1/2	1		0.0510
25-30	1/9	1/7	1/6	1/4	1/2	1	0.0310





Una vez teniendo la capa ponderizada se procedió a realizar la normalización mediante la función difusa sigmoidal monótono creciente (Figura 23), donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos (Figura 24).

Figura 23
Normalización de los Rangos de Pendiente.

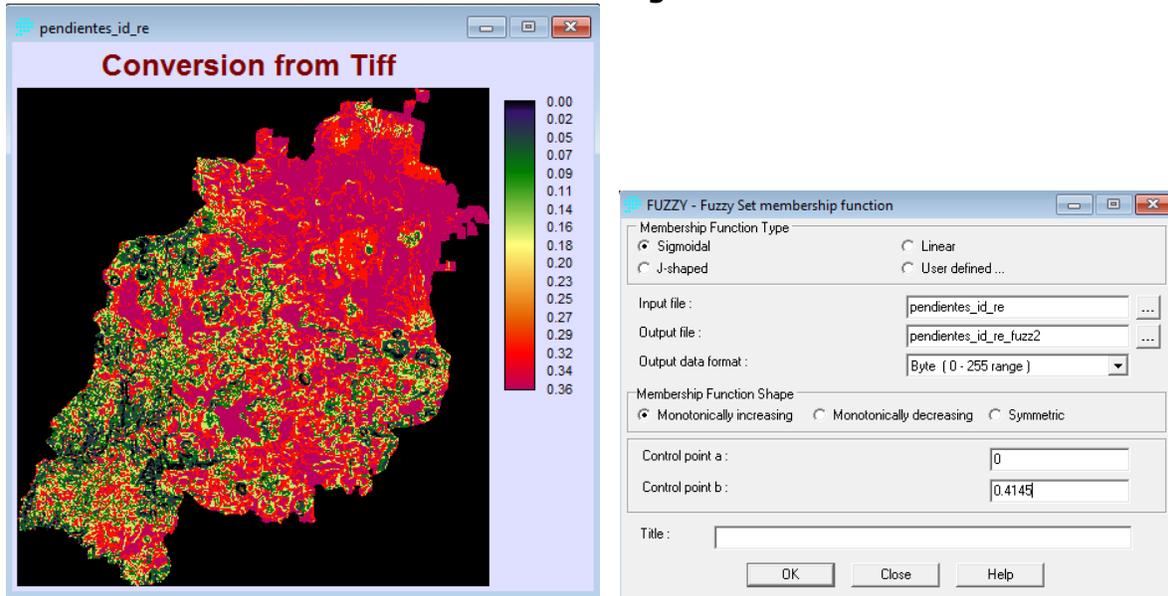
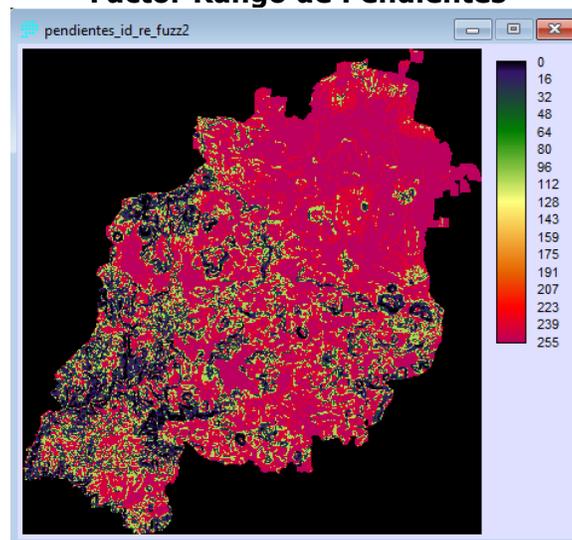


Figura 24
Factor Rango de Pendientes





II.2.2.6 Distancia a Ríos

Se realizó un buffer de anillo con 5 rangos, de acuerdo con la bibliografía la distancia idónea son distancias menores a 200 metros pero en época de estrés las abejas pueden recorrer 1000 metros para obtener agua, por lo cual se calcularon los pesos mediante la siguiente idoneidad (Tabla 19).

Tabla 19
Clasificación de distancias a Ríos según la idoneidad

Distancia (m)	Idoneidad	Jerarquización
0-200	Muy buena	1
200-400	Buena	2
400-600	Regular	3
600-800	Baja	4
800-1000	Muy Baja	5

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada rango de distancia, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 20), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.02) y se realizó la reclasificación de criterios con los pesos obtenidos.

Tabla 20
Matriz de comparación por pares, Ríos

Criterio	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	Peso
0-200	1					0.5324
200-400	1/3	1				0.2319
400-600	1/5	1/2	1			0.1274
600-800	1/7	1/4	1/2	1		0.0682
800-1000	1/9	1/6	1/4	1/2	1	0.0402

Una vez teniendo la capa ponderizada se procedió a realizar la normalización mediante la función difusa sigmoidal monótono creciente (Figura 25), donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos (Figura 26).





Figura 25
Normalización de la proximidad a Ríos.

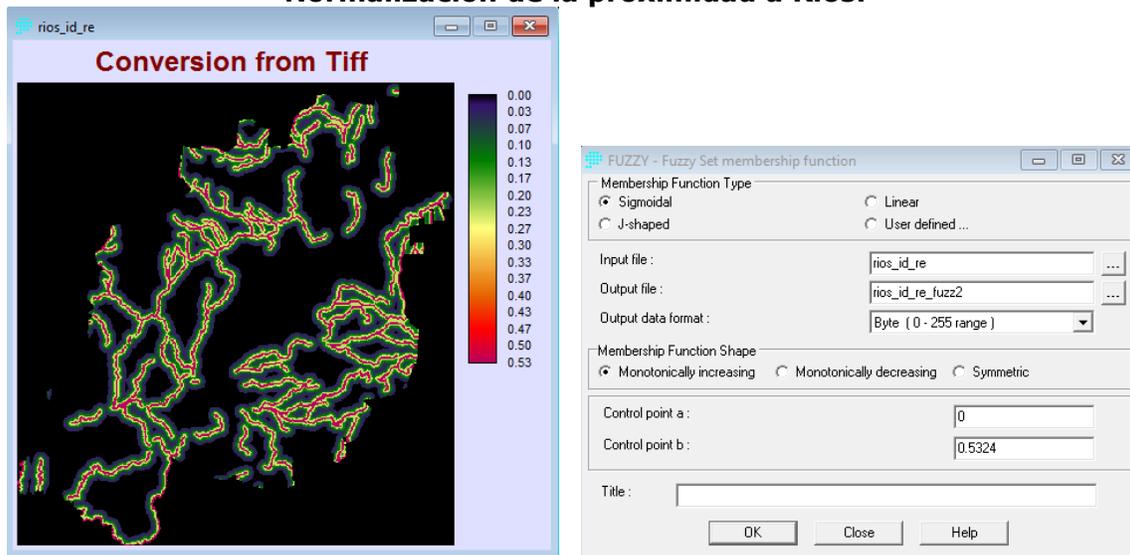
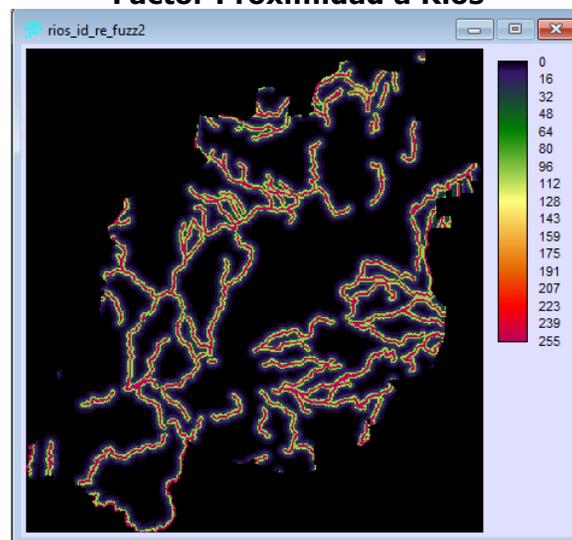


Figura 26
Factor Proximidad a Ríos



II.2.2.7 Temperatura Máxima (Riesgo a Insolación)

En Arc Map se realizó una interpolación en base a los datos de estaciones meteorológicas de la región se obtuvieron 6 rangos, se tomara como rango idóneo el que va de 26 a 28°C y excluyendo el ultimo rango que va de 36 a 38°C, por lo cual se calcularon los pesos de 5 rangos de la siguiente manera (Tabla 21).





Tabla 21
Clasificación de Temperatura Máxima según la idoneidad

Temperatura (°C)	Idoneidad	Jerarquización
26-28	Muy Buena	1
28-30	Buena	2
30-32	Media	3
32-34	Baja	4
34-36	Muy Baja	5

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada rango de temperatura máxima, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 22), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.01) y se realizó la reclasificación de criterios con los pesos obtenidos.

Tabla 22
Matriz de comparación por pares, Temperatura máxima

Criterio	26-28	28-30	30-32	32-34	34-36	Peso
26-28	1					0.3840
28-30	1/1	1				0.3264
30-32	1/3	1/2	1			0.1599
32-34	1/5	1/4	1/2	1		0.0825
34-36	1/7	1/6	1/4	1/2	1	0.0472

Una vez teniendo la capa ponderizada se procedió a realizar la normalización mediante la función difusa sigmoial monótono creciente (Figura 27), donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos (Figura 28).

Figura 27
Normalización de la Temperatura Máxima.

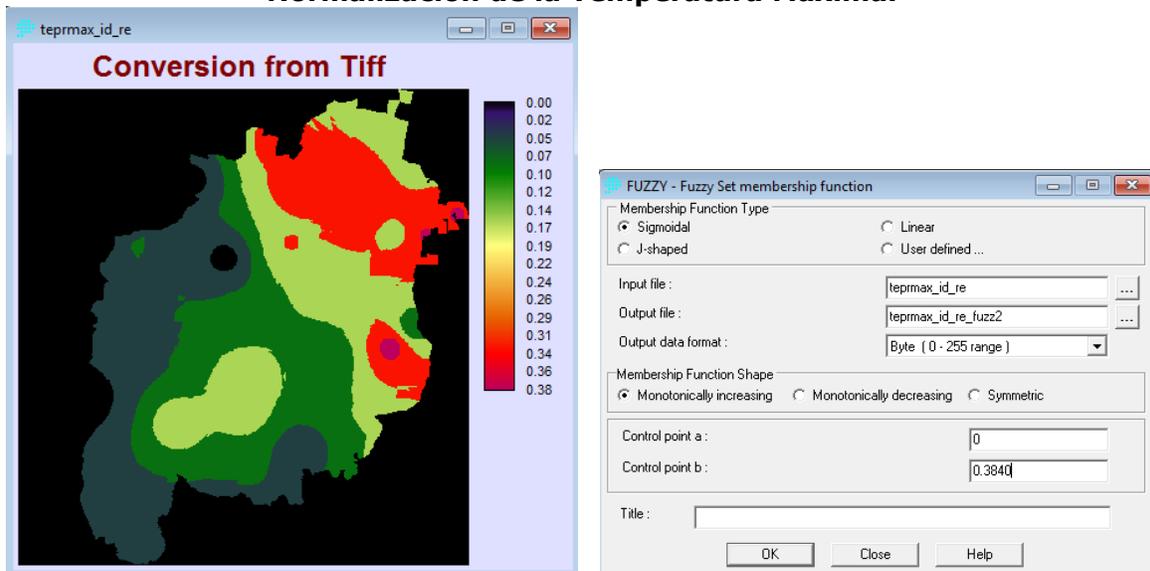
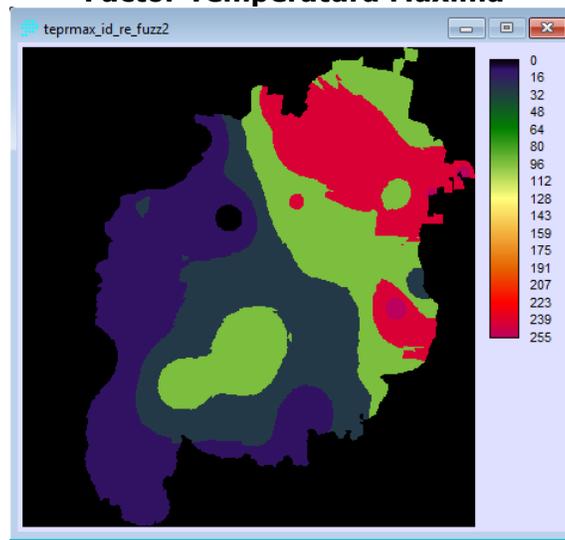




Figura 28
Factor Temperatura Máxima



II.2.2.8 Temperatura Mínima (Riesgo a Heladas)

En Arc Map se realizó una interpolación en base a los datos de estaciones meteorológicas de la región se obtuvieron 5 rangos, se tomara como rango idóneo el que va de 8 a 12°C y excluyendo dos rangos los que van de -8 a -4 y -4 a 0°C, por lo cual se calcularon los pesos de 3 rangos (Tabla 23).

Tabla 23
Clasificación de Temperatura Mínima según la idoneidad

Temperatura (°C)	Idoneidad	Jerarquización
26-28	Buena	1
28-30	Media	2
30-32	Baja	3

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada rango de temperatura mínima, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 24), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.01) y se realizó la reclasificación de criterios con los pesos obtenidos.

Tabla 24
Matriz de comparación por pares, Temperatura mínima

Criterio	26-28	28-30	30-32	Peso
8-12	1			0.5714
4-8	1/2	1		0.2857
0-4	1/4	1/2	1	0.1429

Una vez teniendo la capa ponderizada se procedió a realizar la normalización mediante la función difusa sigmoideal monótono creciente (Figura 29), donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos (Figura 30).





Figura 29
Normalización de la Temperatura Mínima.

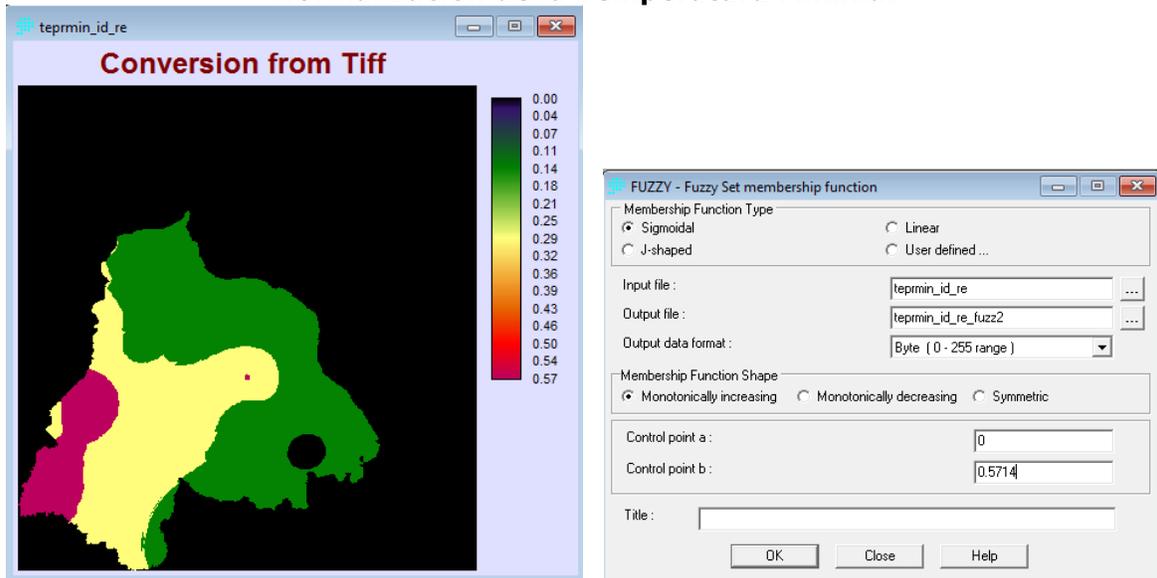
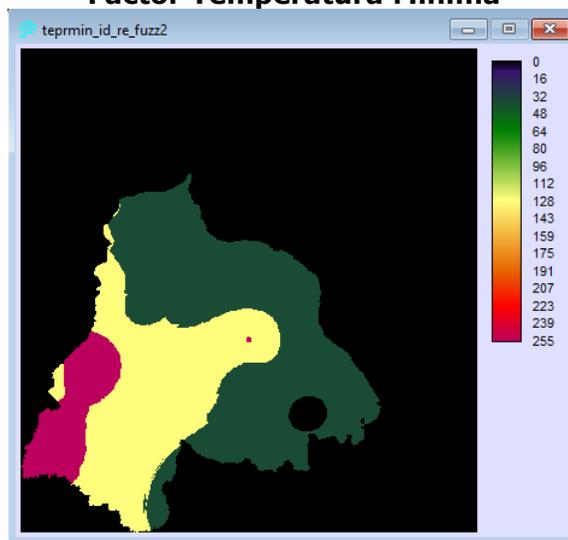


Figura 30
Factor Temperatura Mínima



II.2.2.9 Vegetación.

Se clasifico las unidades de vegetación de acuerdo a la consulta de expertos se obtuvieron 6 rangos, se tomara como rango idóneo el tipo de vegetación de selvas, se excluyó el tipo de vegetación otros ya que este engloba asentamientos humanos, cuerpos de agua y desprovisto de vegetación, por lo cual se calcularon los pesos de la siguiente manera (Tabla 25).





Tabla 25
Clasificación de Vegetación según la idoneidad

Vegetación	Idoneidad	Jerarquización
Selvas	Muy Buena	1
Bosque de Encino	Buena	2
Bosque de Coníferas	Media	3
Pastizales	Baja	4
Agricultura	Muy Baja	5

De acuerdo con la idoneidad anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada tipo de vegetación, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 26), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.01) y se realizó la reclasificación de criterios con los pesos obtenidos.

Tabla 26
Matriz de comparación por pares, Vegetación

Criterio	Selvas	B. Encino	B. Coníferas	Pastizales	Agricultura	Peso
Selvas	1					0.3529
B. Encino	1/2	1				0.2801
B. Coníferas	1/3	1/2	1			0.2149
Pastizales	1/5	1/3	1/2	1		0.0982
Agricultura	1/7	1/5	1/3	1/2	1	0.0539

Una vez teniendo la capa ponderizada se procedió a realizar la normalización mediante la función difusa sigmoial monótono creciente (Figura 31), donde los píxeles con valores de 255 son los más óptimos (Figura 32).

Figura 31
Normalización de la Vegetación.

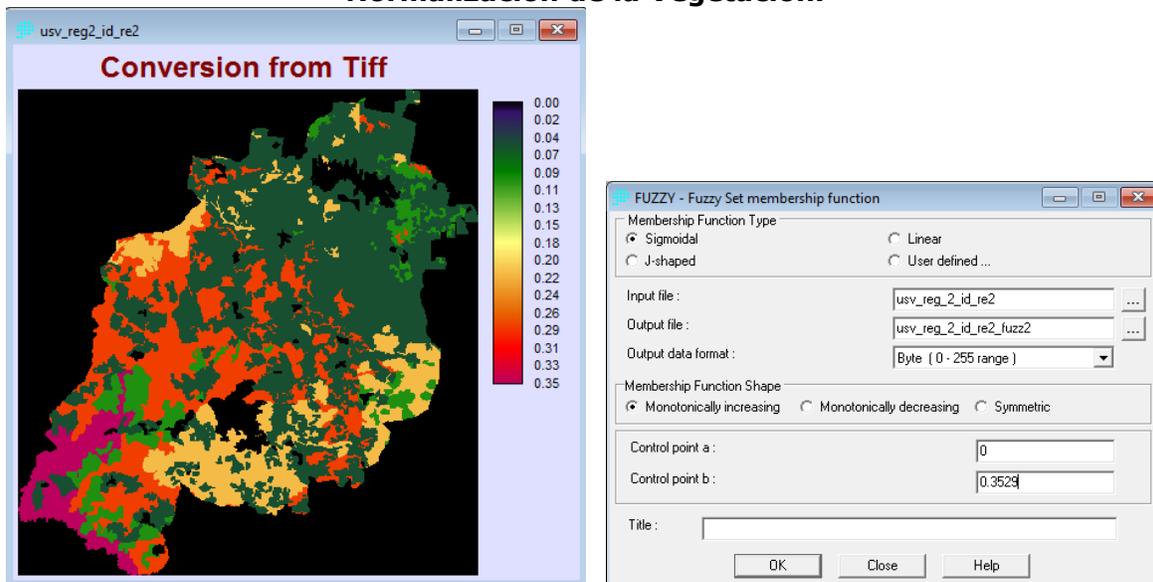
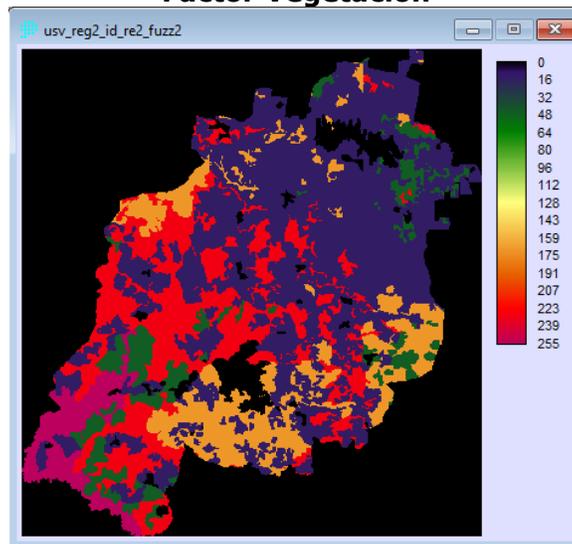




Figura 32
Factor Vegetación



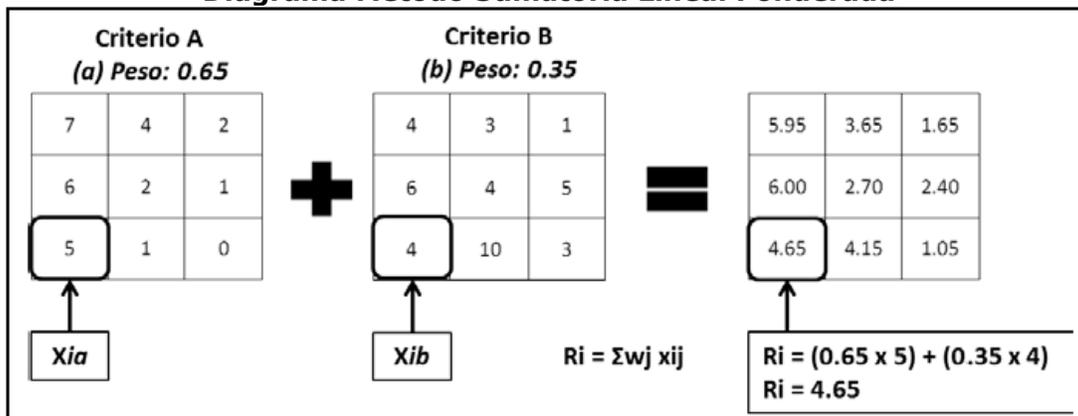
II.2.3 Evaluación

La Evaluación Multicriterio se realizara en base al método estadístico de sumatoria lineal ponderada, el cual se explica a continuación

- **Sumatoria Lineal ponderada**

Es el método más utilizado en la EMC (Figura 33), consiste en multiplicar el valor de cada píxel (x_{ia} y x_{ib}) con el peso determinado para la cubierta (a y b), para posteriormente sumarlo con el píxel en la misma posición de la cubierta siguiente. Por lo que los píxeles con valores más altos (próximos a 255) son considerados más aptos.

Figura 33
Diagrama Método Sumatoria Lineal Ponderada



Fuente: Gómez y Barredo, 2005





Una vez realizado los procesos individuales de la ponderación y normalización de factores y teniendo las capas de restricciones, se debe de jerarquizar los factores en conjunto para determinar su grado de importancia y calcular su ponderación final.

De acuerdo con la bibliografía consultada, entrevistas a apicultores, autoridades, investigadores del tema y por lo expuesto en ponencias se determinó la siguiente jerarquización de importancia de los factores antes ponderizados y normalizados tal como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27
Clasificación de Factores según importancia

Factores	Jerarquización
Tipo de Vegetación	1
Temperaturas Máximas	2
Temperaturas Mínimas	3
Precipitación Máxima	4
Pendientes	5
Proximidad a Carreteras	6
Modelo de Orientación	7
Distancia a Cuerpos Agua	8
Distancia a Ríos	9

De acuerdo con la jerarquización anterior, se calcularon los pesos correspondientes a cada factor, mediante la matriz de comparación por pares (Tabla 28), obteniendo una consistencia "aceptable" (consistency ratio = 0.02).

Tabla 28
Matriz de comparación por pares, Vegetación

Criterio**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Peso
1	1									0.3430
2	1/2	1								0.2207
3	1/3	1/2	1							0.1319
4	1/5	1/3	1/2	1						0.0848
5	1/6	1/4	1/2	1/2	1					0.0695
6	1/7	1/5	1/3	1/2	1/2	1				0.0524
7	1/7	1/5	1/3	1/2	1/2	1/2	1			0.0448
8	1/9	1/7	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1		0.0294
9	1/9	1/7	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1	0.0235

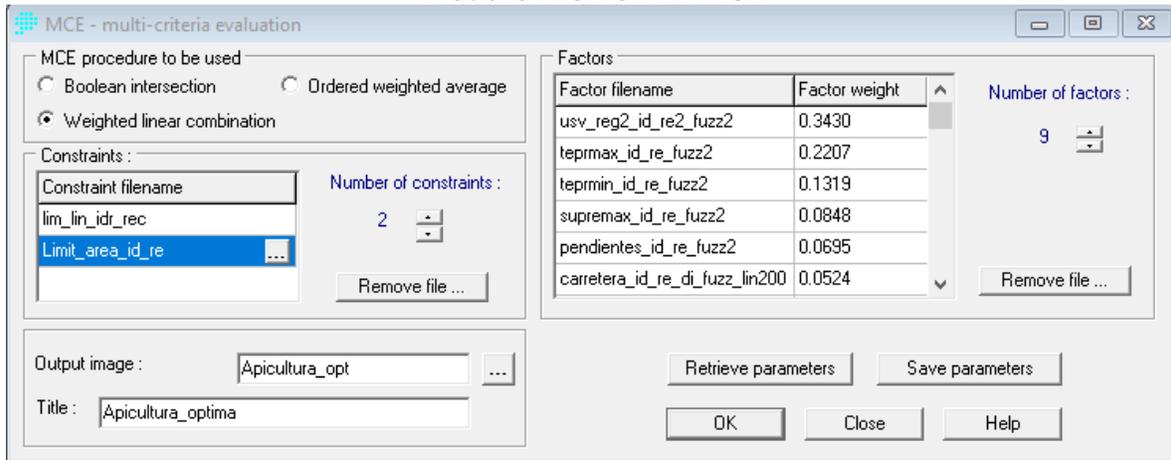
** El orden de criterio es respecto al valor de jerarquización asignado anteriormente.

Teniendo los factores, restricciones y su ponderación se ejecuta el módulo MCE de IDRISI (Figura 34), introduciendo cada factor en orden y con su peso correspondiente, a continuación se muestra el módulo mencionado.



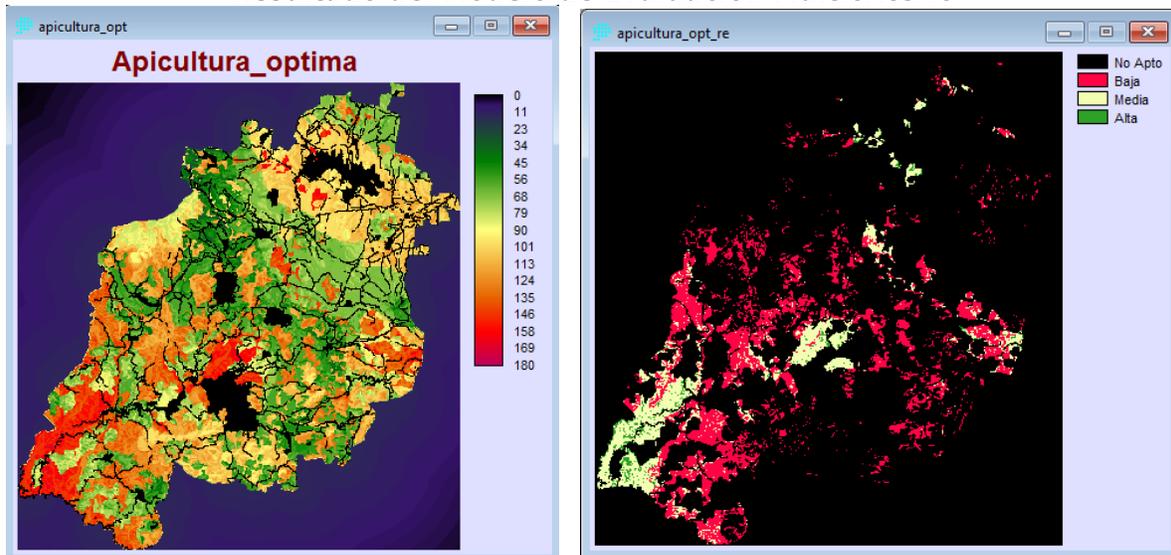


Figura 34
Módulo MCE en IDRISI



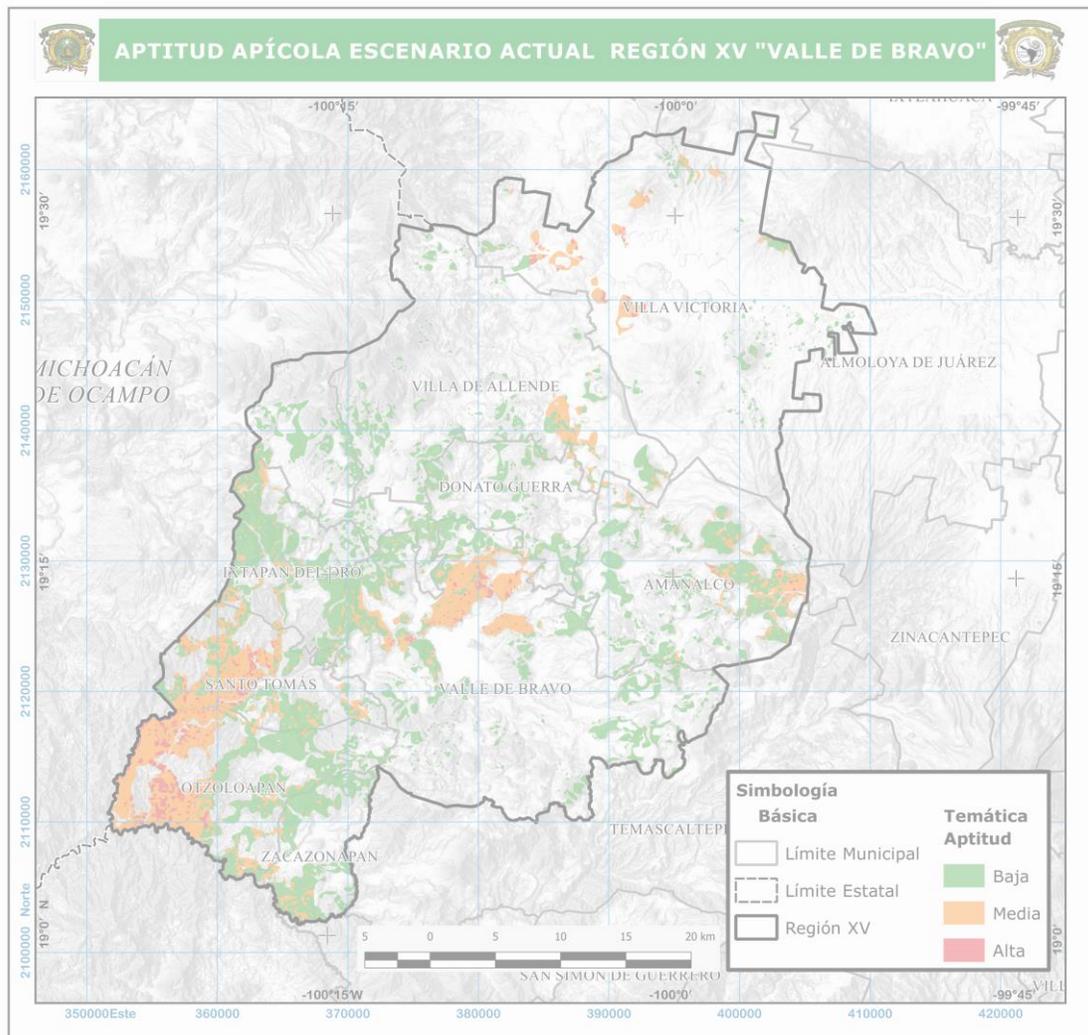
El mapa resultante fue reclasificado según su nivel de aptitud (Figura 35), considerando cuatro categorías: Alta, Media, Baja y No apto.

Figura 35
Resultado del Modelo de Evaluación Multicriterio





III. RESULTADOS



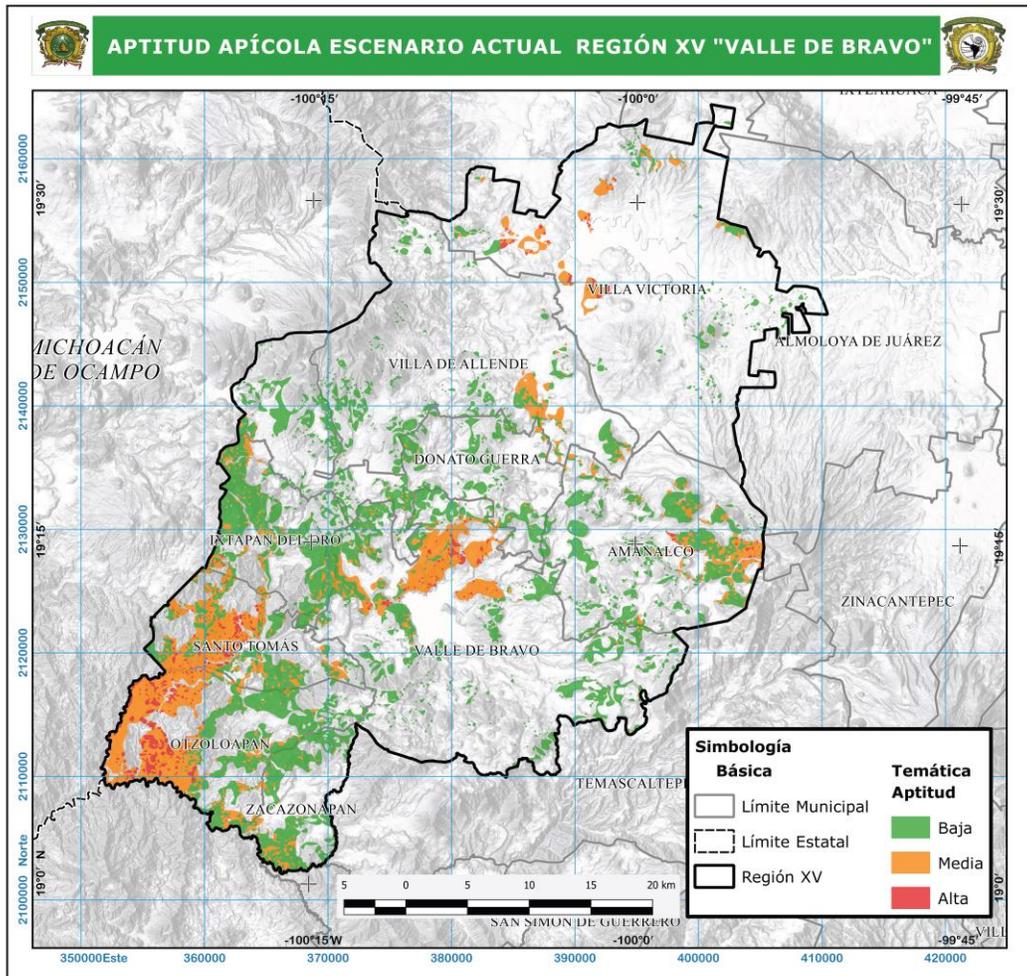


Se presentan los resultados obtenidos mediante la Evaluación Multicriterio se realizó dos modelos, el primero llamado Escenario Actual corresponde a la evaluación realizada con factores determinados y ponderizados de acuerdo con la bibliografía y entrevistas a actores clave, con este resultado se ubicaron las zonas óptimas para la actividad apícola. En el segundo modelo llamado Escenario Agrícola, se modificó la variable de agricultura dentro del factor vegetación, con eso se obtuvo un incremento de las áreas óptimas para la instalación de apiarios.

III.1 ZONAS ÓPTIMAS PARA LA INSTALACIÓN DE APIARIOS ESCENARIO ACTUAL

De acuerdo con los resultados obtenidos la región XV "Valle de Bravo", cuenta con 1,351 hectáreas con alta aptitud, 12,880 ha con aptitud media y 26,660 ha de aptitud baja para la instalación de apiarios, la clasificación que realizó es para las áreas con mayor potencial y estas fueron divididas en las tres clasificaciones. A continuación se presenta en la Figura 36 el mapa de zonas óptimas.

Figura 36
Mapa de zonas óptimas Escenario Actual.





Tal como se observa en el mapa anterior tenemos que las zonas con aptitud alta se localizan en su mayoría en la parte sur de la región en los municipios de Otzoloapan y Santo Tomás casi formando un corredor, estas aptitudes se presentan debido a la cantidad y calidad de vegetación que tiene potencial néctar-polinífera, así mismo que el clima influye puesto es más cálido que en el resto de la región lo que ayuda a la especie de abeja ya que prefiere este tipo de temperaturas, las heladas no influyen en esta parte de la región.

El potencial medio en la región se distribuye en la parte central y sur, al igual que la aptitud alta cuenta con áreas con vegetación néctar-poliníferas, cercanía a vías de comunicación, cuerpos de agua, la ventaja de pendientes suaves crean mayores área con esta clasificación, pero la cercanía a centros de población y terrenos cultivo merman el potencial.

En la Tabla 29 se presenta la división de las áreas óptimas por cada uno de los municipios que integra la región, se observa que el municipio con mayor área de aptitud alta es Otzoloapan seguido por Santo Tomás y Valle de Bravo, los municipios que presentan menor aptitud alta son Zacazonapan, Donato Guerra y en Villa de Allende no tiene presencia de esta clasificación. El municipio con mayor área en aptitud media es Otzoloapan, y el municipio con mayor aptitud baja es Valle de Bravo.

Para la suma de las tres aptitudes el municipio con mayor área es Otzoloapan seguido por Valle de Bravo y Santo Tomas.

Tabla 29
Calculo por municipio de áreas optimas

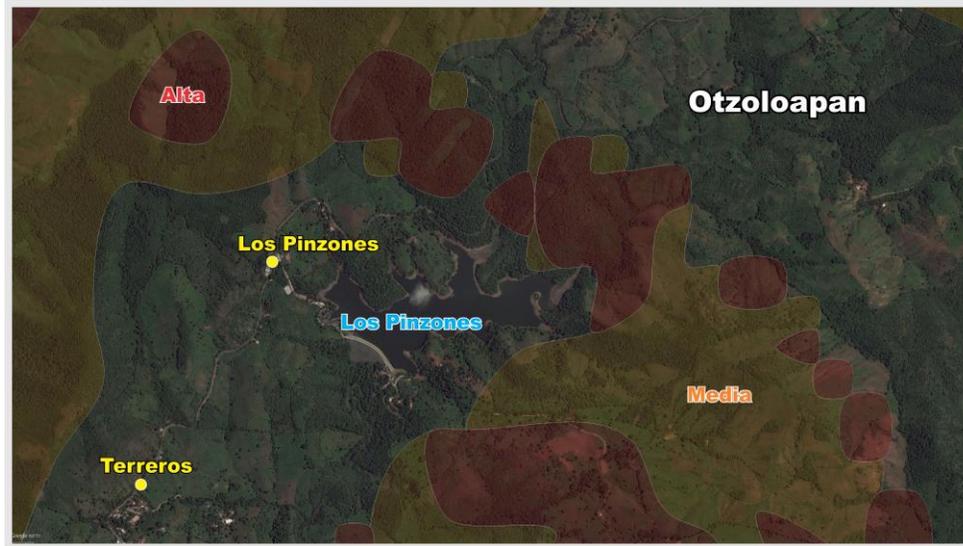
Municipio/Aptitud	Baja	Media	Alta	Total
Amanalco	3,669.38	962.27	67.90	4,699.55
Donato Guerra	3,193.60	128.69	1.07	3,323.35
Ixtapan del Oro	4,048.12	507.64	11.44	4,567.19
Otzoloapan	3,419.11	4,103.74	716.82	8,239.67
Santo Tomás	2,201.77	2,637.40	210.15	5,049.33
Valle de Bravo	4,984.00	2,808.46	187.71	7,980.17
Villa Victoria	772.50	874.23	153.80	1,800.54
Villa de Allende	1,845.27	610.98	0.00	2,456.26
Zacazonapan	2,527.20	246.96	2.63	2,776.79
Total	26,660.96	12,880.37	1,351.53	

A continuación se presenta tres acercamientos de las zonas óptimas para visualizarlas y entender los criterios que fueron calculados y porque se determinó como terreno con aptitud apícola.



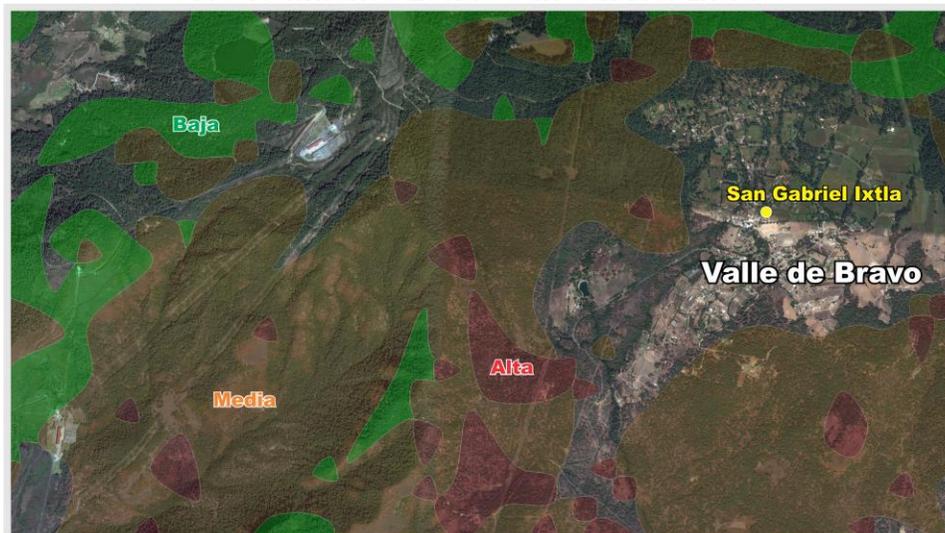


Figura 37
Acercamiento Zona "Los Pinzones"



Se realizó un acercamiento en la Figura 37 al oeste del municipio de Otzoloapan, en la comunidad de los Pinzones se observa una serie de zonas con aptitud alta y media, los factores que influyeron para tener la presencia de una buena calificación en aptitud fue la cercanía a cuerpos de agua (Presa los Pinzones), presencia de vegetación de Selva, la cual es de clasificación alta al tener especies néctar-poliníferas, las zonas con esta aptitud presentan pendiente de terreno por debajo de los 10°, con orientaciones al Oeste, las temperaturas mínimas en los meses productivos están por encima de los 8°C, influyo también la cercanía a carreteras para poder tener el mantenimiento a los apiarios. Lo que resto calificación fue la presencia de temperaturas máximas por arriba de los 36°C.

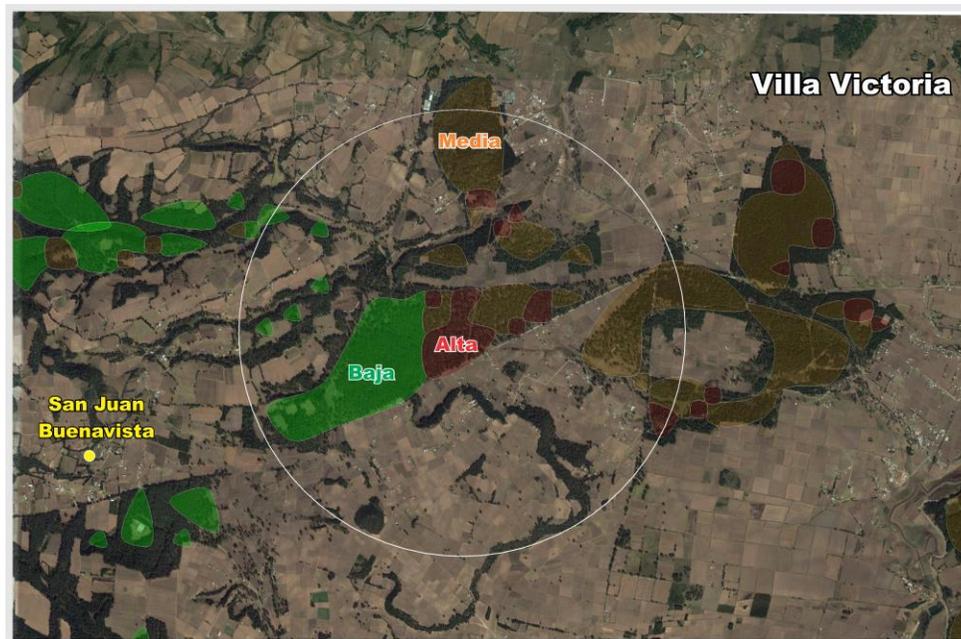
Figura 38
Acercamiento Zona "San Gabriel Ixtla"





El segundo acercamiento en la Figura 38 se realizó al norte del municipio de Valle de Bravo en la parte central de la Región XV, se visualiza la comunidad de San Gabriel Ixtla, comunidad de mayor tamaño con respecto al ejemplo anterior, las aptitudes altas son menos, las aptitudes medias ocupan el mayor espacio, los factores que influyeron para la aptitud son las temperaturas máximas en los meses de producción con rango de 30 a 32°C óptimas ya que no sobrepasan los 36°C temperatura que afecta la producción y comportamiento de la abeja, las temperaturas mínimas son favorables ya que oscilan de 4 a 8°C por lo cual no existe la presencia de heladas en los meses productivos, la vegetación presente es de bosque de coníferas y las pendientes son menores a 10°, en donde existen mayores pendientes, lejanía a carreteras y otro tipo de vegetación es donde presenta la aptitud baja o ninguna.

Figura 39
Acercamiento Zona "San Juan Buenavista"



La tercera zona elegida en la Figura 39, pertenece al municipio de Villa Victoria al Oeste de la Presa con el mismo nombre, se visualiza pequeños asentamientos en la imagen uno de los que sobre salen es el de San Juan Buenavista, en esta imagen representa lo que ocurre en la región en general donde los factores que interactúan podrían hacer que la zona tenga una mejor aptitud, pero por la cercanía a otros merman su potencial, en este caso tenemos la presencia de terrenos agrícolas que a pesar de tener otras condiciones óptimas como temperatura, pendiente, cercanía a cuerpos de agua o carretera, la falta de fuentes de alimentación buenas para la abeja traen como consecuencia un confinamiento de áreas óptimas. Se dibujó un radio de 2 kilómetros, distancia que las abejas sobrevuelan para la obtención de alimento, se tiene que para este caso la abeja puede volar a otras áreas con buena aptitud para obtener el néctar o polen, pero si se fracciona más el terreno la abeja no podría tener el alimento suficiente para tener buena producción.

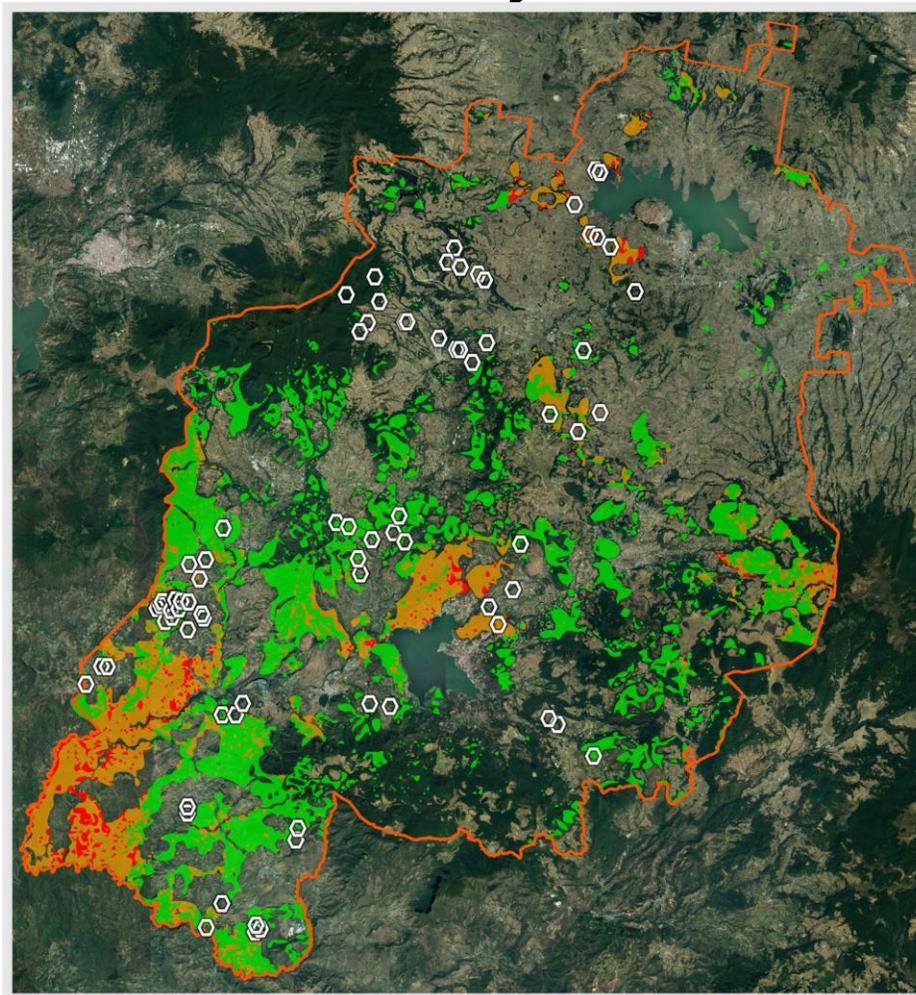




III.1.1 Validación

Retomando los apiarios registrados ante SAGARPA (2016), donde se tienen la ubicación dentro de la región, con esta información se tendrá una primera validación del modelo, en donde se podrá comparar la ubicación actual con respecto a las zonas óptimas que la evaluación multicriterio arrojó. Para tener una validación a detalle se tendría que tener la información de producción por cada apiario y realizar la comparación de los apiarios con mayores producción con respecto a las áreas que se clasificaron con mejor aptitud. A continuación en la Figura 40 se presenta la vista general de la región, teniendo la sobreposición de áreas con aptitud y los apiarios.

Figura 40
Validación Región XV.

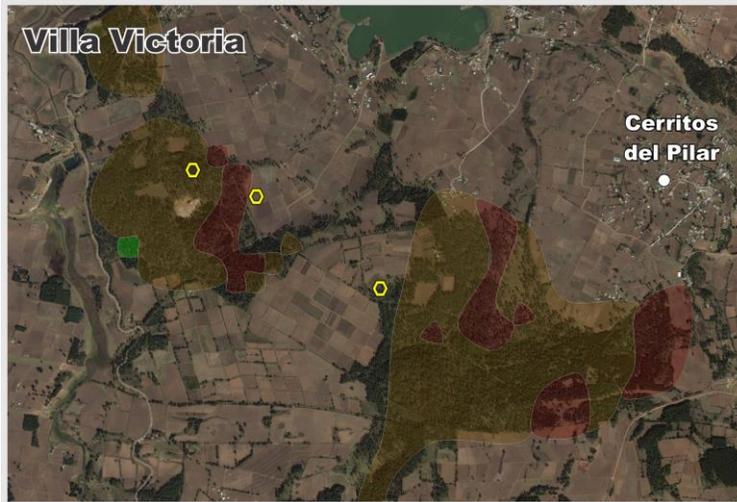


Se observa en la imagen anterior que las áreas que resultaron con alguna aptitud para la instalación de apiarios cumplen un patrón similar a la ubicación actual de los apiarios, excepto la parte con aptitud alta al sur del municipio de Oztoloapan. A continuación en la Figura 41 se presentan tres acercamientos para observar a detalle la sobreposición para la validación.





Figura 41
Acercamiento de Validación del modelo.





En los acercamientos se muestra que en su mayoría los apiarios están localizados dentro de las zonas aptas, o están a una distancia corta, se debe de recordar que las abejas tienen un radio de vuelo para obtener alimento de 2 km normalmente y hasta 4 km, en situación de estrés, por lo que el modelo se comprueba que tiene validez con los factores y variables determinadas.

III.2 ESCENARIO AGRÍCOLA.

Se realizó la EMC de un escenario supuesto, de acuerdo con la bibliografía consultada y por las especies néctar-poliníferas que las abejas prefieren, estas se encuentran presentes en lugares perturbados o cercanos a terrenos agrícolas.

Tal como informo en el Congreso Internacional de Actualización Apícola (ANMVEA, 2017) el 75% de los cultivos principales para el hombre requieren de un polinizador como es la abeja, y si se unirán estas dos actividades Agricultura-Apicultura, se tendrían beneficios mutuos aumentando la calidad y cantidad de producción de cada actividad.

En Estados Unidos los apicultores obtienen el 40% de sus ingresos por el alquiler de colmenas para polinización. Una adecuada polinización no solo implica mayor producción sino también mejor tamaño, uniformidad, forma, madurez de los frutos y un mayor valor comercial (Basualdo y Bedascarrasbure, 2003)

En México las abejas son utilizadas para polinización de cultivos en la parte de la Comarca Lagunera y en plantíos de melón y pepino en la zona de Sinaloa, se ha comprobado que al utilizar la polinización de esta especie mejoran la producción del cultivo.

En la región se tiene 84,818.26 ha de uso agrícola las cuales podrían ser aprovechadas con esta unión entre agricultura y apicultura, dejando beneficios económicos, sociales y ambientales.

El mayor problema que existe es la utilización de agroquímicos en terrenos agrícolas por ello se alejan los apiarios de esta actividad. Por ello se realizó el modelo de EMC con este escenario el cual se le da mayor ponderación al tipo de vegetación de agricultura, para ver cómo se comporta el modelo y como cambian las zona óptimas. A continuación se presenta en la Tabla 30 cómo cambio la posición de agricultura dentro de la ponderación del factor de Vegetación.

Tabla 30
Modificación de posición en el factor Vegetación.

Criterio		Peso
Escenario Actual	Escenario Agrícola	
Selvas	Selvas	0.3529
B. Encino	B. Encino	0.2801
B. Coníferas	Agricultura	0.2149
Pastizales	B. Coníferas	0.0982
Agricultura	Pastizales	0.0539





Se debe de aclarar que únicamente se cambió la posición del tipo "agrícola" en el factor vegetación, los demás factores y restricciones quedaron igual en posición, ponderación y normalización que el modelo actual. La posición agrícola no quedo como la más óptima ya que será difícil hacer que los agricultores cambien su forma de producción sin la utilización de agroquímicos, pero en algunos casos podría ser logrado esta concientización. Se ejecutó el modelo MCE de IDRISI (Figura 42) con esta modificación y el resultado se presenta en la Figura 43.

Figura 42
Módulo MCE para Escenario Agrícola.

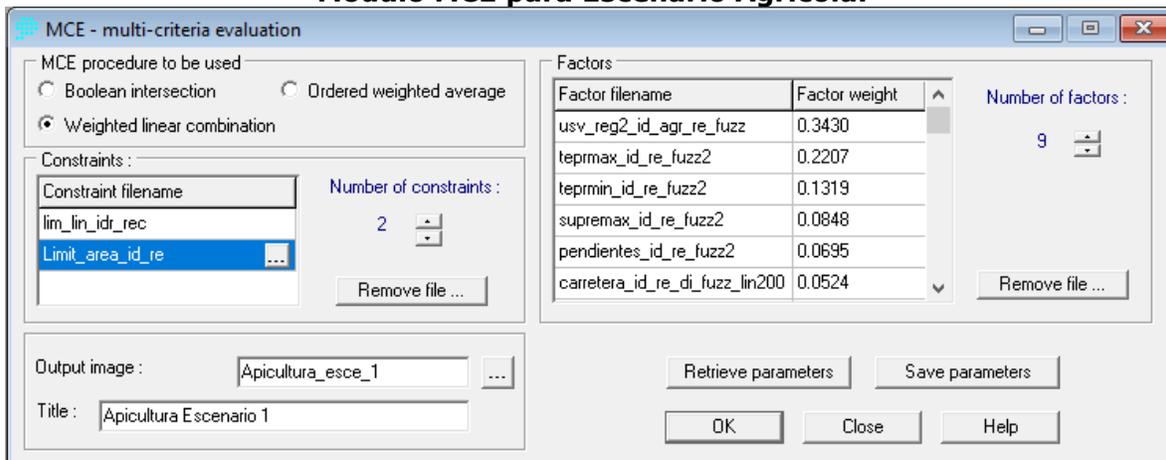
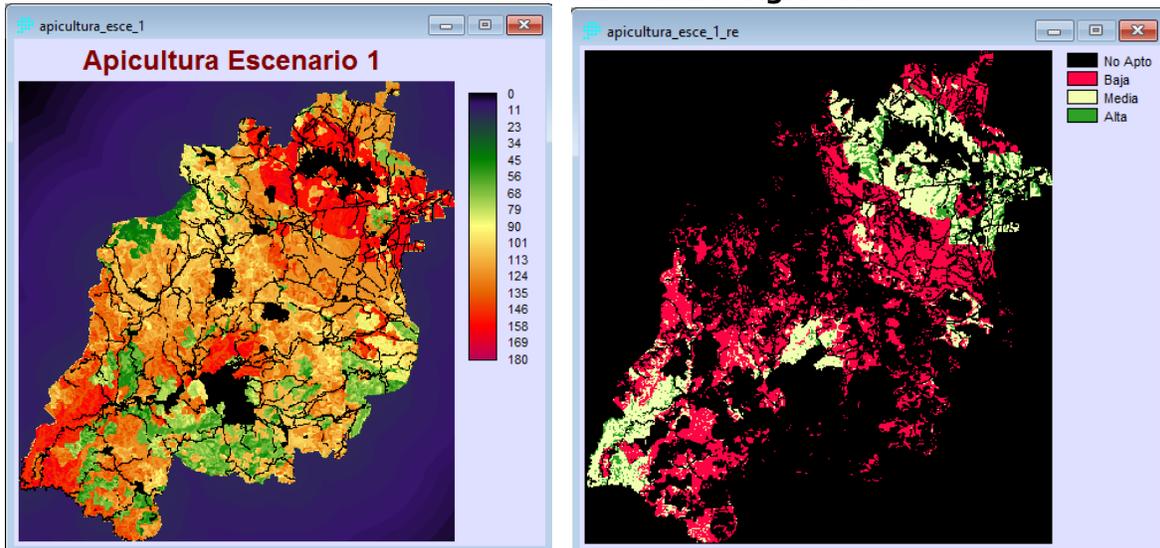


Figura 43
Resultado del EMC Escenario Agrícola.



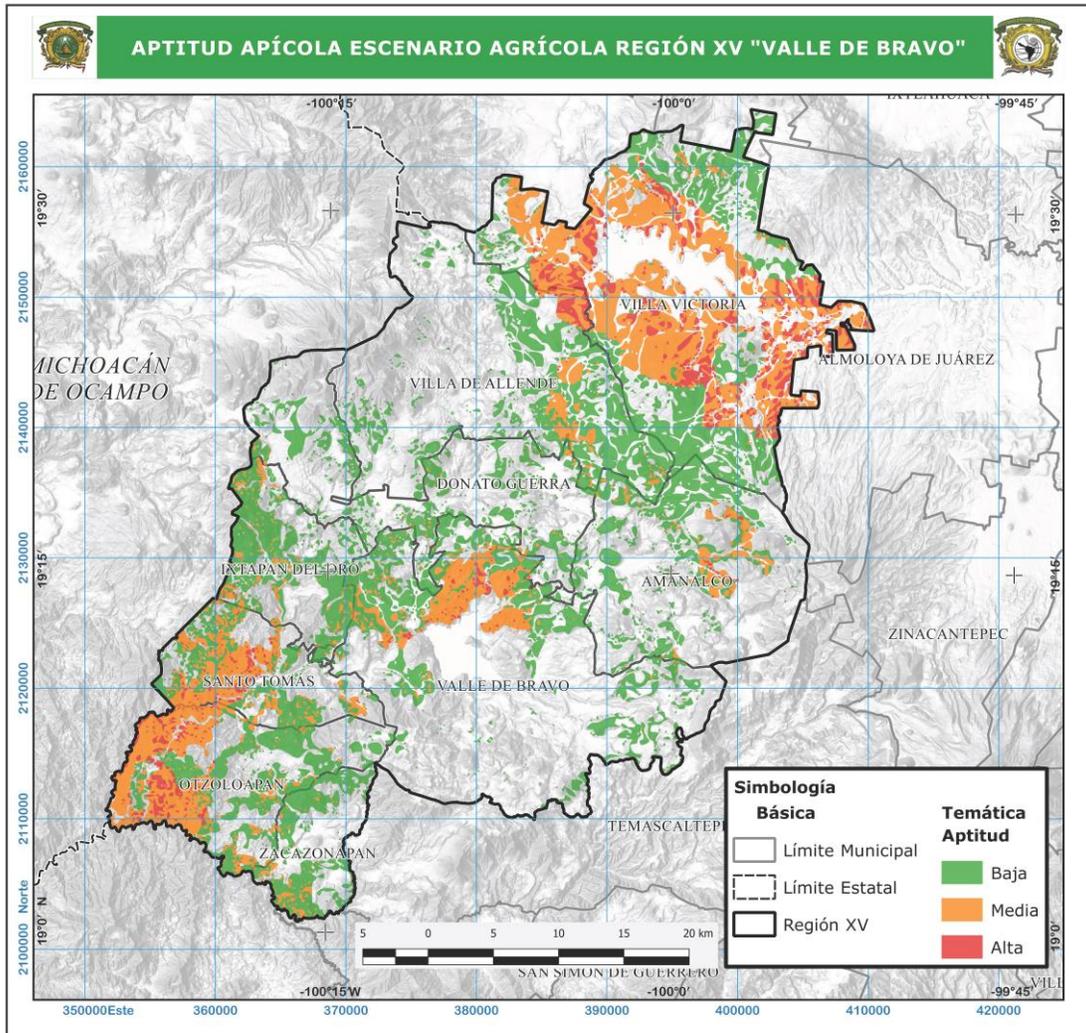
Con la ejecución del modelo en el escenario agrícola De acuerdo con los resultados obtenidos la región XV "Valle de Bravo", cuenta con 4,623 hectáreas con alta aptitud, 24,879 ha con aptitud media y 46,772 ha de aptitud baja en relación con las áreas expuestas anteriormente tuvo un incremento del doble en





todas las áreas. A continuación en la Figura 44 se presenta el mapa de la ubicación de estas zonas óptimas.

Figura 44
Mapa de zonas óptimas Escenario Agrícola.



En la Tabla 31 se presenta la división de las áreas óptimas para el Escenario Agrícola por cada uno de los municipios que integra la región, se observa que el municipio con mayor área de aptitud alta cambio de Ozoalapan a Villa Victoria incrementando casi 3,000 ha de aptitud alta.

Para la suma de las tres aptitudes el municipio con mayor área es ahora Villa Victoria seguido por Valle de Bravo, Ozoalapan y Villa de Allende con valores entre ellos muy cercanos.





Tabla 31
Calculo áreas optimas Escenario Agrícola por municipio

Municipio/Aptitud	Baja	Media	Alta	Total
Amanalco	4,072.04	861.30	49.29	4,982.63
Donato Guerra	3,677.12	135.23	1.56	3,813.91
Ixtapan del Oro	4,408.14	509.53	11.44	4,929.11
Otzoloapan	4,184.20	4,181.86	717.98	9,084.04
Santo Tomás	2,823.77	2,675.34	210.39	5,709.50
Valle de Bravo	6,657.58	2,901.77	187.11	9,746.46
Villa Victoria	7,580.85	12,121.12	3,143.27	22,845.23
Villa de Allende	6,741.02	1,248.54	299.62	8,289.19
Zacazonapan	2,628.17	245.16	2.63	2,875.96
Total	42,772.89	24,879.85	4,623.30	





IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





IV.1 CONCLUSIONES.

El modelo desarrollado en este estudio es el primer realizado en la zona y no se encontró trabajo similar en alguna parte de México durante la revisión bibliográfica, por ello es un primer acercamiento para determinar las zonas óptimas para la instalación de apiarios, principalmente para mejorar la producción de miel.

La integración entre los Sistemas de Información Geográfica y la Evaluación Multicriterio, permite que se realice una evaluación entre variables con diferentes escalas, unidades de medida e importancia, permitiendo obtener resultados para una planificación adecuada, reduciendo costos y tiempo, y obteniendo resultados para la toma de decisiones.

La metodología utilizada para evaluar la aptitud apícola resulto acertada de acuerdo con la validación que se realizó, ya que cumple un patrón similar con las áreas que arrojó el modelo con respecto a la ubicación actual de los apiarios, esta validación se tendría que llevar a mayor detalle obteniendo la producción de cada apiario comparándola con respecto a las áreas con mayor o mediana aptitud.

Con la realización del proyecto se encontró falta de información indispensable se podría realizar estudios detallados de diversas variables y con ello mejorar el detalle y la calidad del resultado.

El modelo propuesto puede ser aplicado para el Estado de México o para la zona del altiplano, solo integrando una o dos variables más, como es la presencia de sequias y límite altitudinal. Así mismo con la integración de estudios detallados como anteriormente se expuso.

La investigación en fuentes bibliográficas así como la asesoría por parte de los diferentes actores sobre manejo de abejas, instalación de apiarios, características biológicas, y características del medio, son determinantes para alcanzar estos resultados, en eso se sustenta el método de Evaluación Multicriterio.

Con los resultados del escenario actual para la instalación de apiarios se observa que no existen muchas áreas óptimas y que estas están fragmentadas a lo largo del territorio, esto se debe a que se tiene muchas limitantes tanto de las características del territorio, de alimentación, ambientales y por normatividad. Es de considerar estos resultados, porque estamos orillando a la desaparición de una actividad amigable con el ambiente, que genera beneficios económicos, sociales y contribuye con la polinización tanto de especies silvestres, para cultivo u ornamentales.

Debido a la utilización de agroquímicos los terrenos agrícolas ya no son aptos como anteriormente lo eran, y ahora se busca alejar los apiarios de ellos, pero tal como se ve en los resultados del Escenario Agrícola, donde se ubica a la





agricultura en una mejor posición en el factor vegetación se tiene un incremento en las zonas óptimas para la apicultura, esto no solo es por el cambio de posición si no a que en el área donde existe la agricultura se presentan las mejores condiciones para la apicultura. La autoridad podría realizar actividades en las cuales las dos actividades se beneficien, esta unión no implica una competencia al contrario implica una sinergia que podría ser aprovechada como ya está siendo explotada en diversos sitios tanto en el mundo como en México. Es importante tener una buena comunicación entre los que usan los insecticidas y los apicultores. No todos los insecticidas tienen los mismos efectos y es posible utilizar un material con menos toxicidad para las abejas.

La información obtenida es de importancia tanto para el apicultor como para las dependencias encargadas de fomentar el desarrollo de la región, teniendo una actividad amigable con la naturaleza y que puede diversificar las actividades económicas del lugar donde se ubiquen.

IV.2 RECOMENDACIONES

Para poder aplicar el modelo a otra región o Estado se tendría que consultar las variables y factores determinantes para poder realizar un análisis adecuado, tendría que llevar a cabo una serie de procesos de evaluación de calidad de los datos y consulta bibliográfica sobre las características del entorno en sus aspectos físicos y biológicos. Realizar el modelo mínimo con los factores que este trabajo se determinaron.

Hay una gama de estudios que pueden complementar de manera sustancial el modelo del análisis multicriterio estos tienen un nivel de detalle muy específico, pero que poco a poco se están trabajando en diversos lugares con buenos resultados, si estos estudios empiezan a realizarse en la región estudiada tendría una buena repercusión para la actividad apícola. A continuación describen de manera general.

- **Inventario de los apiarios de la región**

Para poder realizar una validación más acertada y detallada del modelo de Evaluación Multicriterio se debe contar con el inventario de todos los apiarios que se encuentran en la región, se recopilaría información sobre ubicación geográfica de las instalaciones, producción por año y número de colmenas.

- **Determinación de fuentes de alimentación mediante análisis de polen**

Las abejas pueden volar varios kilómetros para obtener el néctar y polen de las flores el cual después es transformado en miel, pero para la región se desconoce cuál es la flor preferida por las abejas, teniendo esta determinación de su alimentación se podría realizar actividades de conservación de flor de algún tipo específico.





Recomendando a los apicultores lleven a cabo trabajos de recuperación de la flora nativa con propiedades néctar-poliníferas, tales como el acopio de semillas, conservación y reproducción, con la finalidad de incrementar las cosechas, sobre todo si florecen en forma alterna.

- **Estudio florístico de especies néctar-poliníferas y épocas de floración**

La Ley de Apicultura del Estado de México menciona realizar el inventario florístico de especies que benefician a las abejas pero este no se ha llevado a cabo a pesar que era obligación de la dependencia de gobierno, teniendo este estudio se podría cartografiar las zonas con floración de esta clase así como inventariarla por época del año, ayudando al apicultor en su actividad.

Complementando el inciso anterior donde se determinaría cual especie es la predilecta por la abeja.

- **Cálculo de la capacidad de carga apicultura-territorio.**

La capacidad de carga se debe de entender, hasta donde un territorio tiene la capacidad de soportar una actividad determinada sin perder su calidad, cantidad de recursos.

Traducido a la apicultura es calcular cuantas colmenas dentro de los apiarios podría soportar una zona para tener buenos rendimientos, no tener competencia entre colonias o entre otras especies.

- **Estudios de polinización de cultivos mediante el uso de abejas *Apis Mellifera***

Existen estudios sobre polinización de diversos cultivos utilizando la abeja doméstica, pero cada región tiene diversos factores, físicos y sociales, además de que el comportamiento de los cultivos varían de lugar a lugar, por lo cual se debería realizar un estudio de esta clase para poder realizar una fusión o sinergia entre la Agricultura y la Apicultura.

- **Realizar medición de temperatura por hora**

Una de las variables más difíciles de integrar al modelo fue el de temperatura ya que las temperatura medias no nos reflejan mucho de la actividad que podría realizar la colonia.

Con una medición de temperatura por hora tendríamos los datos de estrés de la colonia y se podría determinar estadísticamente las épocas o las horas de mayor producción y las temperaturas óptimas.

Dependiendo de la temperatura la abeja se comporta diferente pero tiene que tener una temperatura para empezar a trabajar, pero si esta temperatura se eleva demasiado también dejara de trabajar, por lo cual el medir la temperatura del día se podría realizar estadísticas de horas productivas para cada apiario y saber en qué zonas una colonia trabajaría más y en cuales se vería disminuida su actividad.





- **Estudio de antagonismo de abeja doméstica y abejas nativas.**

La abeja domestica (*Apis mellifera*) al ser una especie introducida en muchos ecosistemas puede llegar a competir con especies de abejas nativas o con especies polinizadoras, y ya que la abeja domestica tiene ventaja al ser alimentada en época de escases de alimento le da fortaleza contra las demás especies silvestres.

Empiezan a realizarse estudios en Europa sobre el antagonismo de la abeja con respecto otras especies, si compiten por recursos o si la abeja desplaza a las demás especies de su entorno.

Se tendría que evaluar esta clase de estudio para alejar o no a los apiarios de zonas con vegetación conservada o con presencia de alguna especie frágil.

V. ANEXOS

- Mapa Ubicación Región XV "Valle de Bravo"
- Mapa de zonas óptimas Escenario Actual
- Mapa de zonas óptimas Escenario Agrícola





VI. BIBLIOGRAFÍA

- ANMVEA, 2017. Ponencias del 24° Congreso Internacional de Actualización Apícola, Morelia, Michoacán.
- Argüello. O, y Vandame. R, 2008. El uso de sistemas de geoposicionamiento global en la apicultura Chiapaneca, presentado en el 15° Congreso Internacional de Actualización Apícola, Tuxtla Gutiérrez, México.
- Apiculturaenvalero, 2010. Informe "Las abejas y el clima", El Blog de las abejas serranas, publicado el 16 de enero de 2010, extraído de <https://apiculturaenvalero.wordpress.com/2010/01/16/aspestos-tecnicos-de-las-abejas/>
- Basualdo, M.; Bedascarrasbure, E. 2003. Rol de las abejas en la polinización de cultivos. IDIA XXI. Revista de Información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario del INTA. N° 5. Diciembre 2003. Pág. 18-22.
- Cajero, A.S., 2005. "México, tercer exportador mundial de miel". En Gómez, M.C. 13 de mayo 2005. Sociedad y Justicia. Periódico La Jornada.
- Caron. D, 2010. Manual práctico de apicultura, Food 4 farmers organization, recuperado de <http://food4farmers.org/es/category/apicultura-tutoriales/>
- Chakhar, S. 2003. Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions. Journal of Geographic Information and Decision Analysis
- Chen, S., Jiang, Y., Lui, Y. & Diao, C. 2012. Cost constrained mediation model for analytic hierarchy process negotiated decision making. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 19, 3-13.
- CGG y el SENASICA, 2014. Manual de Buenas Prácticas de Producción de Miel, Coordinación General de Ganadería y Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. México.
- CONABIO, 2017. Malezas de México, Ficha informativa por especie, México.
- Contreras, E. y Pacheco, J. F. 2007. Evaluación Multicriterio para Programas y Proyectos Públicos.
- Coppa, R. (2006). La colmena: un ecosistema en equilibrio, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina





- Coppock, J, Rhind, J, 1991. "The History of GIS", en Maguire D., Goodchild M. y Rhind D. (eds) Geographical Information Systems, Vol. 1, New York, Longman.
- Correa, A, Guzmán, E. 2011. Apuntes de Zootecnia Apícola, Unidad 11. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma Nacional. México, D.F.
- Crane Eva, 1990. "Bees and Beekeeping Science, Practice and World Resources", New York U.S.A 1990.
- Dadant and Sons, 1999. The hive and the honeybee. 9ª edición. Editorial Continental.
- Dadant, C, 1975. La colmena y la abeja melífera. Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay.
- Eastman J.R. 1997. Idrisi for Windows. Tutorial exercises. Clark University.
- Estoque, R y Murayama, Y. Suitability Analysis for Beekeeping Sites in La Union, Philippines, Using GIS and Multi-Criteria Evaluation Techniques. University of Tsukuba, Tsukuba City, Japan
- Flores, J, 2006. Termorregulación, Departamento de Zoología, Universidad de Córdoba, España.
- FOMIN-BID, 2010. Guía Práctica sobre Manejo técnico de colmenas, Managua, Nicaragua.
- GEM, 2012. Gobierno del Estado de México, Regionalización socioeconómica del Estado de México a través de Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de México (COPLADEM), extraído de <http://copladem.edomex.gob.mx/regionales> en fecha 14 noviembre 2017.
- GEM, 2016. Ley de Apicultura del Estado de México, Publicado en la gaceta de gobierno el 20 de diciembre 2016.
- G. Korte. 2001. The GIS Book (5th Ed. Rev.). Autodesk Press.
- Gómez, M, Barredo. J. 2005. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio, Editorial Ra-Ma, 2ª Edición, Madrid, España.
- Goodchild. M, 2000. "New horizons for the social sciences: geographic information systems" en Social Sciences for a Digital World: Building Infrastructure and Databases for the Future. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 163-172.





Grille y Calviño, 2011. Factores de estrés en apicultura, Facultad de Veterinaria de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela, España.

Guzmán-Novoa E, Page RE. 1994 The impact of Africanized bees on mexican beekeeping. *Am Bee J.*1994b; 134:101-106.

Henrico, 2017. Geographic Information Systems, Herico Country, Virginia, US. Recuperado de <http://henrico.us/it/gis/>.

INEGI, 1998. Conjunto de Datos Vectoriales de Edafología escala 1:1'000,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI, 1999. Conjunto de Datos Vectoriales de Unidades Geológicas escala 1:1'000,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI, 2000. Diccionario de datos climáticos escalas 1:250,000 y 1:1'000,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Publicado el 30 de septiembre de 2000.

INEGI, 2010. XIII Censo de Población y Vivienda, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Publicado el 26 de junio de 2013.

INEGI, 2016. Red Hidrográfica escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Edición 2.0. México.

Jacinto. S, 2014. Los factores climáticos y su relación con los tipos polínicos presentes en la miel. Tesis de Maestría, del Colegio de Postgraduados, Tabasco, México.

Labougle. R, Zozaya. A, 1986. *Ciencia y Desarrollo*, 69:17.

Lepton. 2013. Reportaje de BeeTracker en Innovadores de El Mundo. Consultado en: <http://goo.gl/EgWF1v>

Mendizábal, F. (2006). *Abejas: manuales esenciales* 1ª ed., Ed. Albatros. Buenos Aires.

Munda, G. 1993. *Información difusa en los modelos de evaluación multicriterio Ambiental*. Ámsterdam: Universidad Libre de Amsterdam.

Munda, G., Nijkamp, P. & Rietveld, P. 1995. Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems: An illustration of economic-ecological evaluation.

Olaya, Victor. 2011. *Sistemas de información Geográfica*.

Path. L, 2017. Entrevista realizada en las instalaciones de ECOSUR, campus Campeche, México, del 1 al 3 de marzo de 2017.





- Pineda. N, 2010. "Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el Estado de México mediante tecnología de la información geográfica". Tesis Doctoral. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. Madrid.
- Rojas. A, 2014. Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- SAGARPA, 2014. "Manual Básico de Apícola", Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Coordinación General de Ganadería.
- SAGARPA, 2016. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Producción estimada de miel de apiarios inscritos al programa de buenas prácticas de producción de miel, a través del Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de México. Producción del año 2016.
- SAGARPA, 2016b. Atlas Agroalimentario, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- Serrano, S. et al. 2008. GIS design application for "Sierra Morena Honey" designation of origin.)
- Star. J, y Estes. J, 1990. Geographic Information Systems: An Introduction. Prentice-Hall, 1990.
- Uribe T., D. A. 2001. La evaluación multicriterio y su aporte en la construcción de una función de valor económico total para los bosques en piedras blancas. Medellín, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Valdés, Paula. 2012. "Apicultura de Precisión". Informativo producido y editado por ODEPA, Santiago de Chile.

