



ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA MODELAR
ESCENARIOS Y ESTABLECER PROYECTOS DE AGUA
POTABLE EN HUIMANGUILLO, TABASCO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

PRESENTA

OSCAR ITURRALDE MOTA

DIRECTORES

DRA. CAROLINA ZEQUEIRA LARIOS

DR. HUMBERTO HERNANDEZ TREJO

VILLAHERMOSA, TABASCO; MAYO DE 2017



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCION**



Villahermosa, Tab., a 28 de Abril de 2017

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. OSCAR ITURRALDE MOTA** egresado de la Maestría en **INGENIERIA Y PROTECCION AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA MODELAR ESCENARIOS Y ESTABLECER PROYECTOS DE AGUA POTABLE EN HUIMANGUILLO, TABASCO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado

**UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

Miembro CUMEX desde 2008

**Consortio de
Universidades
Mexicanas**
UPA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4308 y 358-1579 E-mail: dirección.dacbiol@ujat.mx



Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA MODELAR ESCENARIOS Y ESTABLECER PROYECTOS DE AGUA POTABLE EN HUIMANGUILLO, TABASCO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 28 de Abril de 2017.

AUTORIZO



OSCAR ITURRALDE MOTA



Agradecimientos

A mis asesores, profesores, a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y al Organismo Operador CEAS, por todas las facilidades y recomendaciones otorgadas para la realización de la presente investigación.

A todas las personas que he tenido el gusto de conocer en el transcurso de experiencia profesional. A la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, quién en el trayecto me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

Agradezco infinitamente a mi esposa Lupita e hijos: Fernando, Fátima y Gabriel; que sin duda han sido la principal motivación para concluir esta etapa de formación académica.



Tabla de contenido

Índice de tablas	4
Índice de Figuras.....	4
I. Introducción.....	6
II. Justificación.....	10
III. Antecedentes.....	12
IV. Objetivos.....	19
General:.....	19
Específicos:	19
V. Área de Estudio.....	20
VI. Método	23
VII. Resultados.....	31
VIII. Conclusiones y discusión	63
IX. Recomendaciones.....	66
X. Literatura citada.....	68
XI. ANEXOS.....	79



Índice de tablas

Tabla 1. Variables seleccionadas para analizar la delimitación del área de estudio	20
Tabla 2. Jerarquización de Indicadores analizados para la delimitación del área de estudio.....	20
Tabla 3. Identificación de componentes.	25
Tabla 4 Criterios y valores cuantitativos asignados en las modelaciones	30
Tabla 5. Cobertura de Agua potable en el Municipio de Huimanguillo, Tabasco. .	34
Tabla 6 Criterios y valores cuantitativos asignados en la modelación 1.....	38
Tabla 7. Resultados de Modelación 1	44
Tabla 8. Información Geoestadística de localidades seleccionadas Modelación 1	45
Tabla 9. Factores y valores cuantitativos asignados en la modelación 2	46
Tabla 10. Resultados de Modelación 2	52
Tabla 11. Información Geoestadística de localidades seleccionadas Modelación 2	53
Tabla 12. Factores y valores cuantitativos asignados en la modelación 3	55
Tabla 13. Resumen de resultados de modelación 3	61
Tabla 14. Población beneficiada por radios de influencia de sistemas existentes	62

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio	21
Figura 2. Diagrama general del Método.	24
Figura 3 Esquema el desarrollo de Proyectos de agua potable en el Organismo Operador.	31
Figura 4. Relación Ubicación <i>Geográfica</i> -Marginación.....	33
Figura 5. Fuentes de extracción de agua.	36
Figura 6. Vías de comunicación en el área de estudio.....	37
Figura 7. Esquema del Geoprocesamiento para modelado del escenario 1.	39



Figura 8. Criterio 1 de Modelación 1	40
Figura 9. Criterio 2-Modelación 1	41
Figura 10. Criterio 3-Modelación 1	42
Figura 11. Modelación del Escenario 1	43
Figura 12. Localidades seleccionadas en Modelación de Escenario 1	45
Figura 13. Esquema general para Geoprocesamiento de modelado de escenario 2	47
Figura 14. Criterio 1 de Modelación 2	48
Figura 15. Criterio 2-Modelación 2	49
Figura 16. Criterio 3-Modelación 2	50
Figura 17. Modelación del Escenario 2	51
Figura 18. Localidades seleccionadas en Modelación de Escenario 2	53
Figura 19. Esquema general para Geoprocesamiento de modelado de escenario 3	56
Figura 20. Criterios 1, 2 y 3 para modelación 4.....	58
Figura 21. Criterio 4 en modelación 3	59
Figura 22. Modelación del Escenario 2	60



I. Introducción

La dinámica de la población en la búsqueda de mejores oportunidades de trabajo, desarrollo profesional, acceso a fuentes de información, bienes, servicios y áreas de esparcimiento, genera presiones en la gestión continua y generalizada de recursos como el consumo de agua (Cruz A & Martínez C, 2015), energía, alimento, así como la consecuente generación de residuos. En la búsqueda de estrategias para mejorar la calidad de vida de la población, el análisis de la situación social se establece a partir de tres vertientes: el bienestar económico, las carencias sociales y el contexto territorial (SEGOB, 2004 y CONEVAL, 2010), la mayoría de las acciones emprendidas se centran en el criterio de hacer más con menos, que aunque en el mejor de los escenarios es una solución de maximización de los recursos económicos, pero no lo es así en la percepción de los grandes riesgos para la salud, al deficiente acceso a servicios urbanos, a los servicios de transporte y a las prácticas inadecuadas en el manejo de los residuos generados (PNUMA, 2003).

Desde un enfoque ambiental, los servicios urbanos como el abastecimiento de agua es un factor importante de presión sobre los ecosistemas, es decir, funge como medio para satisfacer las demandas de las poblaciones y de las actividades económicas, así también recibiendo de vuelta los residuos de la utilización de este recurso. Por lo cual, una de las estrategias fundamentales para coadyuvar a la reducción de la degradación ambiental progresiva, es la de adoptar una nueva perspectiva conceptual sobre los componentes naturales y su importancia como base en la toma de decisiones del gobierno local y de la sociedad.

En este sentido, dentro de las carencias sociales el acceso al agua potable en conjunción con otros indicadores como salud, educación, servicios básicos, calidad y espacio, contribuyen con la generación de datos para la toma de



decisiones en materia de política social, especialmente para analizar la desigualdad de coberturas sociales que subsisten en el territorio nacional (CONEVAL, 2010 y CONAPO, 2011), desglosándose en la intensidad de la pobreza de ingresos y la intensidad de las carencias de derechos sociales de la población pobre multidimensional (Vela H, Flores L, & Campa E, 2015).

De acuerdo al informe del año 2012 denominado *Progresos sobre el agua potable y saneamiento*, el 11% de la población mundial, o sea 783 millones de personas, aún carecen de acceso a fuentes de agua potable (World Health Organization; UNICEF, 2012). Por otra parte, de acuerdo a los resultados del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010), en la República Mexicana el 17.63% de las viviendas particulares habitadas carecen del vital líquido, mientras que en el estado de Tabasco este valor corresponde al 19.04%, lo cual hace referencia a 106,315 de 558,514 viviendas, siendo el municipio de Huimanguillo, Tabasco el que muestra la mayor carencia del servicio de agua potable (CONAPOb, 2012).

En el diagnóstico realizado por la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, en su Programa Especial para el ejercicio 2013-2018, se establece que el reordenamiento territorial efectivo, una mayor participación de la población en los temas de cuidado del agua y del medio ambiente y la aplicación de nuevas tecnologías en la administración del agua, permitirán disminuir los efectos de los fenómenos meteorológicos y prolongar la vida útil de la infraestructura instalada, obteniendo como resultado ahorro en la aplicación de recursos financieros, una plantilla laboral mejor preparada y servicios eficientes, oportunos, de calidad y al alcance de un mayor número de habitantes de la entidad (Gobierno del Estado de Tabasco, 2014).

A partir de un enfoque tradicional, los Organismos Operadores de los servicios públicos de Agua, Alcantarillado y Saneamiento en México, encargados de la planeación y administración de la Infraestructura hidráulica; dentro de sus principales funciones llevan a cabo acciones recurrentes, ya sea para analizar el comportamiento de los sistemas de agua potable existente o bien para realizar



una gestión eficaz para acceder a recursos económicos de nuevos proyectos, sin embargo; éstas tareas requieren del manejo de una importante cantidad de información, la cual posee distinta naturaleza: información técnica de los elementos del sistema e información geoestadística sobre la ubicación y el contexto socio demográfico de cada uno de los componentes. En comparación con el enfoque tradicional, un enfoque de planificación regional puede ayudar a desarrollar una visión integral para el crecimiento futuro, y como herramienta para la toma de decisiones espaciales, ya que puede utilizarse no sólo para clasificar la prioridad de las opciones y realizar el análisis de escenarios, sino también para proporcionar una visión de la extensión espacial de las alternativas (Mosadegui, Warnken, Tomlinson, & Mirfenderesk, 2015). Es así que, desde el ámbito de la planificación con el carácter de estratégica, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen una excelente versatilidad, ya que admiten el almacenamiento y visualización de mapas y datos espaciales proporcionando funciones de análisis técnico-social en la toma de decisiones para la identificación de sitios adecuados de acuerdo a los criterios considerados en los análisis geográficos (Meng & Malczewski, 2015).

La relevancia del uso de procesos tecnológicos en la simulación de datos, permite crear las condiciones para uniformizar y estandarizar información de diversos proyectos, al mismo tiempo que se organizan los procesos de planeación y administración de la infraestructura, conjuntándose con lo fácil que se ha convertido el crear un geodatabase¹ (base de datos geográfica) y agregarle comportamiento para visualizarse, y aunado a que el uso de las herramientas en sistemas de administración de datos (DBMS) permite la edición, análisis y creación de mapas, volviendo interactivo los análisis (Esri, 2012), es decir, los procesos de decisión multicriterios colaborativos parecen apropiados para abordar parte del desafío de la complejidad en diseños y análisis de alternativas (Ferretti, 2016).

¹ Es el almacenamiento físico de la información geográfica, que principalmente utiliza un sistema de administración de bases de datos (DBMS).



Considerando lo antes expuesto, éste proyecto también es congruente en el contexto del cumplimiento de parte de los objetivos, estrategias y líneas de acción del eje rector número ocho del Plan Estatal de Desarrollo (PLED, 2013-2018), en donde se considera importante la promoción del uso de tecnologías adecuadas que permitan coadyuvar a mejorar e incrementar el acceso al agua potable, lo cual a su vez será un incentivo para crear las condiciones del desarrollo humano equilibrado de la Entidad Tabasqueña (Gobierno del Estado de Tabasco, 2014).

La metodología utilizada en ésta investigación se fundamenta en la compilación de información multivariada y su correspondiente integración para el posterior análisis espacial, se plantea el uso de la tecnología SIG para la gestión estratégica de la información de proyectos de agua potable. Los procesos de modelado están orientados a describir las interacciones de los criterios seleccionados en la zona de estudio, para lo cual se recurre al análisis espacial, es decir al modelado cartográfico en donde el resultado son diversas alternativas que atienden la problemática identificada, las cuales a su vez se convierten en el insumo de soporte al tomador de decisión.

La toma de decisiones Multicriterio puede considerarse como un proceso que combina y transforma una serie de entradas de datos geográficos en una salida de decisión resultante. Lo cual, implica datos de entrada de la preferencia del tomador de decisiones y la manipulación de información utilizando reglas de decisión especificadas, además de que a cada criterio se le otorga un peso para representar su verdadera importancia en el proceso de modelación, siendo dependientes de la naturaleza de las alternativas consideradas y de los criterios utilizados para comparar alternativas.



II. Justificación

Es evidente que la pobreza está ligada a la falta de infraestructura básica (Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social [CONEVAL], 2013), el impacto de servicios inadecuados de agua y saneamiento recae principalmente sobre los sectores pobres, quienes a menudo deben hacer sus propios arreglos, muchas veces precarios para satisfacer sus necesidades básicas de sobrevivencia, repercutiendo en la salud de todas las personas (Reyna, 2011), siendo lo más recurrente la Alta incidencia de enfermedades causadas por el agua y la falta de higiene (Arroyo, Ballesteros, & Mejía, 2015). Como parte de la planeación demográfica, se busca incluir a la población más vulnerable en los programas de desarrollo económico y social que se formulan dentro del sector gubernamental, y vincular sus objetivos a las necesidades que plantean los fenómenos demográficos (Consejo Nacional de Población y Vivienda [CONAPO], 2012).

Actualmente, las actividades de gestión para la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento son realizadas por cuatro Organismos Operadores en la entidad, de los cuales la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS) tiene injerencia en 13 de 17 municipios en relación a la infraestructura hidráulica de servicios. Dentro de las actividades de planeación de la infraestructura, existe información que se puede separar en 3 grandes rubros: planos, memorias de cálculo de diseño y documentos de factibilidades (social, económica y ambiental). Sin embargo dentro de este archivo, la información se considera "almacenada" en el sentido de compilación y resguardo, ya que su consulta y análisis con enfoque de planeación y administración se continúa haciendo de forma tradicional, es decir, de forma separada, estudiando la estadística y posteriormente se analiza lo relacionado con datos geográficos impresos emitidos de forma oficial por el INEGI con fines de verificar la congruencia.

Aunque los criterios para la toma de decisión son diversos, su complejidad deriva de las fuentes de origen, ya que está integrado por múltiples áreas como son:



Técnica, Construcción, Operación/mantenimiento, Planeación, Comercialización, Desarrollo Social, Asuntos Jurídicos, Acceso a la información y Administración (CEAS, 2015); cuya función, entre otras cosas, es la de orientar políticas y estrategias en la prestación de los servicios (Gobierno del Estado, 2005).

De lo anterior, justifica la necesidad de contar con un adecuado manejo de la información generada en la planeación y/o control de la infraestructura, a través de esquemas SIG+EMC que permitan uniformizar la información que manifiesta un carácter Multicriterio; al mismo tiempo que permita establecer un análisis estratégico mediante la modelación del espacio geográfico, dando como resultado configuraciones espaciales, que puedan ser considerados como una herramienta de planificación surgidas desde los procedimientos de investigación científica.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



III. Antecedentes

La toma de decisiones por parte de los actores involucrados en la formulación y aplicación de las políticas públicas en beneficio de la sociedad ha sido una tarea compleja y desafiante, debido principalmente al número cada vez mayor de sujetos implicados y sus intereses, por lo cual desde los años 60's (Power, 2008) se ha optado en el desarrollo de sistemas que otorguen un soporte a las decisiones semiestructuradas y no estructuradas (Mysiak, Giupponi, & Rosato, 2005), y aunque en algunas ocasiones las decisiones se toman en un grupo reducido de expertos, la variedad de factores que afectan a la misma, ha hecho que se tome un enfoque multidisciplinario; sin embargo, los grupos también son susceptibles a la tendencia a establecer posiciones arraigadas o adoptar prematuramente una perspectiva común que excluye información en contrario (McDaniels, Gregory, & Fields, 1999).

Uno de los aspectos relevantes en la planificación estratégica, es sin duda los factores sociopolíticos, ambientales, ecológicos y económicos; los cuales modifican sustancialmente la selección de acciones adecuadas para la problemática detectada, siendo necesario la inclusión de múltiples criterios adicionales, alguno de los cuales son intangibles en parte debido a la percepción de la calidad ambiental, aspectos éticos o valores humanos, lo cual afecta al proceso de selección de alternativas al no poder otorgárseles un valor. En este sentido, el Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) mediante técnicas prácticas ha hecho posible la inclusión de enfoques teóricos en el esquema multicriterio con rigor científico para el análisis de problemas complejos (Kiker, Bridges, Varghese, Seager, & Linkov, 2005).

Por otra parte, cuando se emplean enfoques estructurados, pueden ser percibidos como que carece de la flexibilidad necesaria para adaptarse a las preocupaciones localizadas o representar fielmente los puntos de vista minoritarios, siendo necesaria una metodología sistemática que integre factores cuantitativos y cualitativos de diversas fuentes, ya sean científicos o de ingeniería de riesgos,



costes y beneficios, así como las opiniones de los interesados para presentar escenarios de alternativas a desarrollar (Kiker, Bridges, Varghese, Seager, & Linkov, 2005).

En cuanto a la estructuración de las metodologías de análisis de decisión, comparten los mismos pasos de organización en la construcción de la matriz de decisión, es decir, una matriz que clasifica las alternativas por diferentes medios (Yoe, 2002 citado en Kiker, Bridges, Varghese, Seager, & Linkov, 2005). Diferentes métodos requieren diversos tipos de información sobre el valor y siguen varios algoritmos de optimización. Algunas técnicas de categorizar las opciones, algunos identifican una única alternativa óptima, algunos ofrecen una calificación incompleta, y otros establecen diferencias entre las alternativas aceptables e inaceptables.

Se ha comprobado que la infraestructura de servicios mantiene una estrecha relación con la calidad de vida de las poblaciones, o en otros términos, la urbanización de la misma; por lo cual el uso de diversas herramientas tecnológicas se ha convertido en la base de los procesos destinados a la toma de decisiones cada vez más exigentes en cuanto a eficacia se refiere (Coutinho, Simao, & Antunes, 2011).

Desde el punto de vista hidráulico, se han desarrollado metodologías para el desarrollo y seguimiento de Sistemas de Decisión Multicriterio (MDS), incidiendo diversos proyectos de investigación donde el diseño integra modelos ambientales hidrológicos con los procedimientos de evaluación de criterios múltiples, con el principal objetivo de ayudar a tomar decisiones cada vez más complejas de la gestión general del agua (Mysiak, Giupponi, & Rosato, 2005). Aunque en la práctica profesional, los tomadores de decisiones, comúnmente tienen que considerar diversos aspectos o criterios para el análisis de la problemática a



solventar, por lo cual, comúnmente se recurre a sistemas computacionales para que pueda generar información altamente eficiente en poco tiempo de análisis, esta interacción se ha hecho evidente con el desarrollo de técnicas analíticas espaciales, generando una intersección de dos de las más grandes tendencias en la ciencia geoespacial: la Información geográfica y el análisis espacial, dando como resultado la conjugación de un sistema espacial de toma de decisiones o por sus siglas en inglés SDSS (Chakdar & Mousseau, 2008).

En éste mismo sentido, el análisis Multicriterio (MCA), hace referencia a una serie de acciones realizadas a través de distintas herramientas de búsqueda, las cuales han sido efectivas desde su aplicación a mediados del siglo pasado, sin embargo, desde la aparición y vinculación con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ha convertido en un coordinado adecuado para la integración de estrategias efectivas (Chakdar & Mousseau, 2008).

Por su parte, el papel de la Geomática es preponderante en el análisis Multicriterio a través de los Sistemas de Información Geográfica, la teledetección y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), ya que establece la vinculación de los componentes espaciales, técnicos y su representación georreferenciada, ofreciendo escenarios congruentes con los objetivos y coherentes con el entorno donde se desarrollan (Bastiaanse, Tahir, Kijne, Barker, & Molden, 2003).

En la actualidad, se han desarrollado programas de cómputo para el análisis geoespacial que contienen las herramientas necesarias para el procesamiento, producción y edición de datos, lo cual le otorga la característica de Multicriterio, con aplicaciones tanto en administración pública como en la iniciativa privada; mejorando la planeación regional y creando un análisis selectivo (Mena, Ormazábal, Llanos, & Díaz, 2007). Existe una gran cantidad de ejemplos en la última década sobre la aplicación de herramientas tecnológicas, que han sido aprovechadas en el sentido de mejorar los procesos de planeación y/o



administración pública y privada, traducándose en ahorro de recursos así como en su utilización congruente con el objetivo de satisfacer la demanda observada (Coutinho et al., 2011), teniendo como base a las técnicas geomáticas, mismas que han sido utilizadas para el análisis de posibles alternativas de solución, a través de las cuales se han integrado las variables físicas, económicas, operativas y sociales de determinado sitio demandante del proyecto (Coutinho et al., 2011). Es por ello, que los administradores de empresas públicas y privadas necesitan tomar decisiones sofisticadas, es decir, una planificación de rutas en el contexto de satisfacer las demandas de los usuarios (Niaraki & Kim, 2009), ya sea en el campo de la medicina donde se necesite crear una red estratégica de atención médica con criterios específicos de cobertura, tiempo de atención, mínimos impactos por contaminación, así como con bajos costos de inversión (Vahidria, Alesheikh, & Alimohammadi, 2009).

El uso de técnicas avanzadas de análisis incrementan las capacidades de comunicación (Makropoulos, Butler, & Maksimovic, 2003), han sido desarrolladas para proveer asistencia a los tomadores de decisiones en la estructuración formal de las alternativas de solución (Green, Devillers, Luther, & Eddy, 2011) de suelo-agua-vegetación (Santhi, Muttiah, Arnold, & Srinivasan, 2005), o en inventarios generales de una zona de interés (Sener, Davraz, & Ozcelik, 2005) & (Arancibia Pérez, 2002; López, Zequeira, & Campillo, 2008; Miranda Aragón, 2013).

En el contexto de los servicios básicos en los asentamientos humanos, se han identificado las diferencias entre las diferentes regiones del planeta, donde existe un contraste en cuanto al desarrollo socioeconómico de cada una de ellas y el acceso a adecuados estándares de calidad de vida, y es común observar una duplicidad de esfuerzos así como la escases de los recursos disponibles, generando un lento desarrollo local (Inga, 2010), no obstante, se aprecia que las políticas públicas referente a la disponibilidad de servicios básicos se encuentran orientadas en zonas urbanas (Mena, et al., 2007).



Específicamente en el servicio de agua potable, se ha estado utilizando una gestión estratégica, basado en el análisis Multicriterio apoyado con técnicas geoespaciales, como lo realizado en la Ciudad de Coímbra, Portugal, donde el crecimiento de la Población, generó una demanda de agua potable, siendo necesaria la evaluación de las condiciones actuales, desde un aspecto regional, con la finalidad de incorporar las características representativas de la zona; todo esto desde un enfoque multicriterio, técnico, económico y ambiental, dando como resultado un sistema prototipo integrado a manera de asistente, para los tomadores de decisiones en cuanto a infraestructura urbana se refiere; con la finalidad de analizar diversas alternativas y elegir, con fundamentos apropiados, la opción más adecuada a mediano y largo plazo que solucione el problema inicial (Coutinho et al., 2011).

En México, aunque existe un acceso desigual entre las zonas geográficas del país respecto del uso de herramientas tecnológicas (brecha digital) y que además son claramente dependiente de la infraestructura disponible y de las habilidades personales y empresariales para utilizar las tecnologías de la información y comunicación (TIC) (Tello, 2007), se ha logrado generar avances en la percepción remota, SIG, y otras relacionadas con el análisis espacial para la resolución de la problemática hídrica; al respecto se ha analizado información geográfica a través de técnicas geomáticas como los modelos digitales de elevación del terreno y sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) orientados a la percepción remota, para determinar la eficiencia del uso del agua (Mo, et al., 2005), así como la disponibilidad hídrica en acuíferos (Bastiaanssen, et al., 2005), Otra aplicación muy actual de las técnicas de la Geomática es la definición de zonas propensas a inundarse súbitamente (Tapia Silva, Nuñez, & López López, 2007), así también como lo fueron los mapas de las inundaciones en Tabasco generadas con el uso de los sensores MODIS y SRT publicados por UNOSAT (2007) (citado en Tapia-Silva, 2014), cuya información primordial estuvo disponible desde el 7 de noviembre de 2007 para atender esta contingencia.



Por su parte, en cuanto a acceso a las TIC se refiere, se observa que el sureste presenta la mayor brecha digital, donde la principal razón es debido a que no se cuenta con incentivos en el uso de éstas tecnologías, puesto que ni siquiera en los lugares de trabajo las TIC son parte de las herramientas que se usan cotidianamente (Tello, 2007).

En Tabasco, la aplicación de las herramientas de la Geomática, ha permitido generar conocimientos en temas de detección de cobertura e identificación de vegetación y su variación en el tiempo (Barba, Rangel & Ramos, 2006), identificación del potencial productivo y la zonificación agroecológica de cultivos para la planificación del uso del suelo agropecuario (Rivera et al., 2012; Zavala Cruz et al., 2014); de igual forma se han utilizado para realizar inventarios generales de los componentes específicos del área de estudio con el objeto de permitir una visualización integrada en la resolución de cierta problemática.

Respecto a los análisis de la problemática hídrica en la entidad tabasqueña, los esfuerzos se han enfocado principalmente al modelamiento de escenarios para la identificación y prevención de riesgos en los asentamientos humanos y su interacción espacio-tiempo por el crecimiento urbano (Caballero & Pérez, 2013); análisis de la erosión potencial a nivel de la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta (Sánchez, Mendoza, De la Cruz, Mendoza, & Ramos, 2013), así como los esfuerzos coordinados interinstitucionales para fortalecer la gestión efectiva y democrática del agua y saneamiento para apoyar al logro de los Objetivos del Milenio a través del análisis Multicriterio ("CRP+L Tabasco", 2011).

Es necesario considerar que en nuestro país, si bien es cierto la eficiencia física y comercial total no existe, es necesario que los organismos operadores de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, busquen el mejor nivel posible, ya que de lo contrario se acentúa la falta de sustentabilidad financiera y ambiental, poniendo en riesgo la cobertura de servicios a la población (Lutz & Salazar, 2011), ya que al contar con indicadores de desempeño como la eficiencia



en sus distintas formas tiene gran valor para los administradores, los diseñadores de políticas públicas y los usuarios (Alegre et al, 2006).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



IV. Objetivos

General:

- Analizar espacialmente los criterios técnicos, geográficos y sociodemográficos para localizar sitios óptimos para la gestión de proyectos para el abastecimiento de agua potable en el municipio de Huimanguillo, Tabasco a través de SIG y evaluación multicriterio

Específicos:

- Identificar los criterios técnicos, geográficos y sociodemográficos necesarios para determinar los sitios óptimos para desarrollar sistemas de abastecimiento de agua potable.
- Integrar la información gráfica y alfanumérica en una geobase de datos.
- Modelar escenarios para la identificación de zonas potenciales para la elaboración de proyectos de agua potable en el Municipio de Huimanguillo.



V. Área de Estudio

La delimitación del área de estudio resultó del análisis estadístico de variables sociodemográficas provenientes del INEGI y CONAPO (índice de marginación) a nivel de las viviendas (Torres, Nuño, & Hernández, 2011), acotando a aquellos municipios de Tabasco que actualmente son administrados por el Organismo Operador Estatal (CEAS)

Las variables consideradas para la selección del área de estudio fueron las siguientes:

Tabla 1. Variables seleccionadas para analizar la delimitación del área de estudio

Variable	Descripción
VPH	Viviendas particulares habitadas
SAGUAE10	Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada.
POB_TOT	Población total
PROM_OCC10	Promedio de Ocupantes por Vivienda
GM Alto	Grado de Marginación 2010 Alto
GM Muy Alto	Grado de Marginación 2010 Muy Alto

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el Censo de Población y Vivienda 2010.

En la tabla 2, se observan los resultados producto del análisis de variables, pudiendo identificar jerárquicamente cuál de los municipios presenta los mayores valores, determinando que el área objeto de estudio que cumple con estos criterios es el **Municipio de Huimanguillo**, Tabasco.

Tabla 2. Jerarquización de Indicadores analizados para la delimitación del área de estudio

Municipio	Viviendas Particulares Habitadas	% de Viv Sin Agua	Población Total	Promedio de Ocupantes	Grado de Marginación Alto	Grado de Marginación Muy Alto	
Balancán ^b	14739	11.36%	55909	2.50%	270.86	6531	277
Cárdenas	59580	9.97%	248423	11.11%	235.21	22611	217
Centla	24189	11.61%	101797	4.55%	256.3	16476	186
Centro ^b	168254	5.71%	640302	28.63%	256.3	5849	101
Comalcalco	46465	3.40%	192800	8.62%	153.01	17756	
Cunduacán	31324	5.94%	126416	5.65%	135.62	15721	8
Emiliano Zapata	7888	0.77%	29356	1.31%	51.78	947	



Huimanguillo	42329	62.57%	178859	8.00%	383.83	26487	347
Jalapa	9251	1.09%	36377	1.63%	72.06	1378	
Jalpa de Méndez	19627	1.11%	83336	3.73%	78.24	5157	
Jonuta	7476	3.97%	29359	1.31%	181.78	4119	80
Macuspana ^b	37528	12.20%	153089	6.85%	334.38	15812	91
Nacajuca	29028	1.35%	115063	5.15%	101.38	6229	14
Paraíso	21202	1.25%	86620	3.87%	56.54	2187	
Tacotalpa	10804	2.06%	46274	2.07%	137.15	7133	30
Teapa	13286	2.10%	53539	2.39%	74.7	5822	
Tenosique	15505	5.04%	58853	2.63%	181.6	6030	92
Total general	558514	100.00%	2236372	100%	2960.74	166734	1443

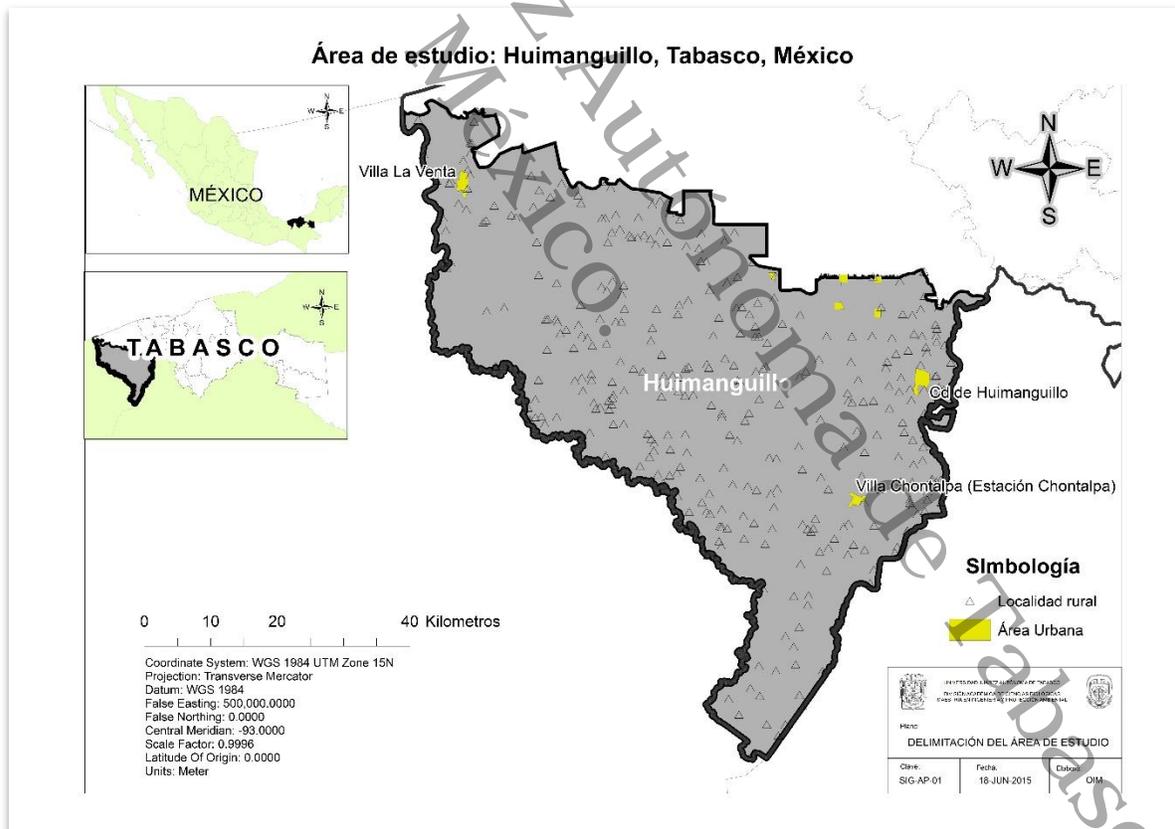
Notas:

^a Jerarquía por valor y color:

2do y 3er lugar

1er lugar

^b Balancán, Centro y Macuspana, son Municipios que autoadministran los servicios de Agua Potable, alcantarillado y Saneamiento, por lo cual fueron exceptuados en la jerarquización realizada.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio



A manera de resumen, se observa que de los 17 municipios integrantes de la entidad tabasqueña, **Huimanguillo** presenta un promedio de carencia del 85.9% en el total de viviendas del municipio, lo que se traduce en 33.8 puntos porcentuales arriba de la media estatal.

Aunado a esto, también es el municipio con mayor número de localidades en comparación al resto de sus homólogos, situación que se suma a que **Huimanguillo** se cuenta con la mayor superficie de todo el Estado.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



VI. Método

La metodología empleada fue la utilizada por Martínez Solano, (2002) & Arctur & Zeiler, (2004); optimizada para este proyecto, considerando como referencia el modelo conceptual para la solución espacial de problemas, enfocado en la búsqueda de zonas en los rangos de aceptables a óptimas para el desarrollo de acciones que permitan mejorar la cobertura del servicio en el área de estudio.

A continuación, se indican los pasos que se siguen en la construcción de la modelación:

A. Diseño conceptual: Recopilación y organización de la información

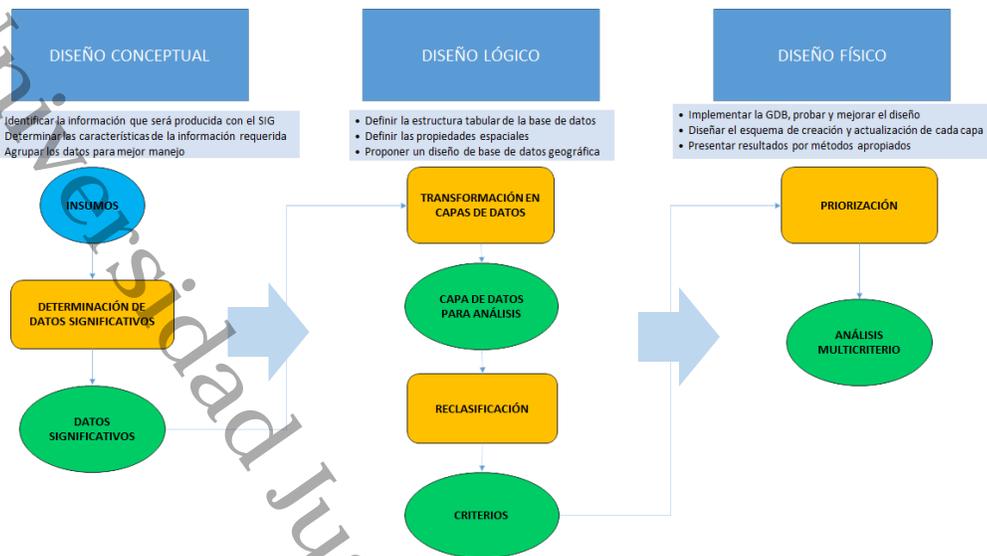
1. Definir enfoque de la modelación
2. Identificar los componentes y sus interacciones

B. Diseño Lógico: Integración de la Información en el SIG

3. Transformar/Reclasificar la información en una capa de datos
4. Otorgar pesos (priorizar) los criterios

C. Diseño físico: Análisis

5. Análisis Multicriterio (AMC)



Fuente: Elaboración propia con los pasos a seguir en el presente análisis

Figura 2. Diagrama general del Método.

VI.1. Diseño conceptual: Recopilación y organización de la información

En este apartado, la información relevante para la investigación radica en la fuente de obtención, es decir, a partir de lo generado por el Organismo Operador y de la información vectorial que el INEGI dispone².

Para fines prácticos, los datos se organizan en dos tipos: vectorial y alfanumérico, considerando su origen, ya que es clave para el uso posterior siguiendo para ello la estructura sugerida por Arctur & Zeiler, (2004).

² Con fecha de consulta a Diciembre de 2015.



1. Definir enfoque de la modelación

En este punto, es necesario retomar el enfoque para lo cual se plantea el análisis espacial, siendo la búsqueda de sitios idóneos.

2. Identificar los componentes y sus interacciones

La información utilizada tiene un origen vectorial (puntos, líneas, polígonos), fue necesario hacer las conversiones para generar productos tipo ráster, que fueron utilizados en el álgebra de mapas para la generación de sitios de interés.

Los procesos utilizados para preparar los componentes, previamente definidos fueron Densidad kernel, Distancia euclidiana, integrados gracias a la ayuda del Model Builder de ArcGIS.

Los componentes necesarios para desarrollar las modelaciones se agruparán como capas, por lo cual los **componentes** se organizaron de la siguiente manera:

Tabla 3. Identificación de componentes.

Componente	Factor	Criterio
Técnico	Radio de influencia de Infraestructura	Distancias de cobertura de agua potable
Técnico	Nivel de Inundación	Distancias a cuerpos de agua
Técnico	Topografía/accesibilidad	Distancias a vías de comunicación
Geográfico	Marco Geoestadístico Municipal	Municipio de Huimanguillo
Geográfico	Marco Geoestadístico Localidades rurales y Urbanas	Población total y Número de Viviendas particulares Habitadas
Geográfico	Cobertura de Agua potable	Infraestructura de abastecimiento
Geográfico	Vías de comunicación	Carretera Federal, Estatal y/o Municipal pavimentada
Geográfico	Cuerpos de agua	Superficial con condición perenne
Geográfico	Concesión de Aprovechamiento de Agua	Subterránea para uso Público-Urbano
Sociodemográfico	Carencia de Agua Potable	Número de Viviendas Sin Agua Potable
Sociodemográfico	Grado de Marginación a nivel localidad	Alto y Muy Alto grado

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que cada uno de los factores antes mencionados, presentan Interacciones diversas con potencial para analizarse, se decidió hacer la separación de sus características enfocadas en las modelaciones para la identificación de zonas viables para el desarrollo de proyecto de abastecimiento de agua:



A continuación se detallan cada uno de las interacciones definidas:

- a) **Interacción 1:** Accesibilidad (conectividad) determinado por la distancia a vías principales de comunicación del tipo carreteras (federal, estatal y municipal) y su interacción con las localidades rurales con más del 75% de las viviendas sin agua potable y con Alto grado de Marginación.
- b) **Interacción 2:** Distancia (buffer) en metros a los cuerpos de agua superficiales con una condición perenne y su intersección con localidades rurales con más del 75% de las viviendas sin agua potable y con Alto grado de Marginación.
- c) **Interacción 3:** Total de habitantes en localidades de alto grado de marginación con más del 75% de sus viviendas sin agua potable.
- d) **Interacción 4:** Cobertura (habitantes) de agua potable en relación al 50, 75 y 100% de las viviendas de localidades rurales sin acceso a agua potable con Alto grado de Marginación.

VI.2. Integración de la Información en el SIG (Diseño Lógico)

Una vez que ya se ha identificado el objetivo de las modelaciones, los componentes, sus interacciones y los insumos requeridos; el siguiente paso es su integración en la plataforma SIG para realizar los análisis correspondientes.

En esta etapa, se identifican las herramientas requeridas para realizar las modelaciones, así como de las consideraciones técnicas y/o propiedades para integrar la totalidad de la información, dando como resultado la creación de un mapa con sitios viables para el desarrollo de proyectos de abastecimiento de agua potable.



El conjunto de procedimientos que se mencionan a continuación permitió obtener un valor de idoneidad para cada uno de los sitios que cumplen con los criterios en el municipio de Huimanguillo.

Dentro de las propiedades espaciales, se utilizó el sistema de coordenadas WGS 84, con la proyección UTM 15N.

VI.3. Reclasificar o transformar la información en una capa de datos

Partiendo de que los componentes están en formatos raster, fue necesario hacer una reclasificación de los valores en un número específico de grupos, para de esta forma asignar la prioridad al criterio de cada una de las capas que intervienen en el análisis.

Se realizó mediante la asignación numérica a cada una de las 5 clases definidas, o reclasificación en orden de prioridad, Muy Baja, Baja, Medio, Alta y Muy alta, siendo el valor 5 el correspondiente al de Muy Alta prioridad. Es este sentido, es como se construye inicialmente la modelación, generando los escenarios o interacciones que reflejan las alternativas de solución.

En esta actividad se utilizó la herramienta Reclassify con el criterio de natural Jenks para la definición de los intervalos.

3. Otorgar pesos (priorizar) los criterios

Los pesos son atributos numéricos asociados a las capas que intervienen en el análisis, en donde los valores más altos, corresponde a las capas cuyos criterios son de mayor prioridad en el proceso general de búsqueda de sitios idóneos.

Para los tres componentes considerados en este estudio, los pesos se priorizaron siguiendo la importancia del factor sociodemográfico de Alto grado de marginación y del total de Viviendas sin Agua Potable.

En este contexto, es evidente que la importancia de cada uno de los factores difiere y por lo tanto, no son equitativamente preponderantes; por lo cual, y derivado de la apreciación del organismo operador, el factor que refleja las



condiciones del total de población y carencia (marginación) de agua potable en las viviendas es quien mantiene una proporción mayor.

En los escenarios analizados, se priorizaron valores aprovechando la versatilidad del esquema, para que de esta manera, el tomador de decisión, tenga la mayor cantidad de elementos (criterios) para la elección de la o las alternativas de mayor impacto.

VI.4. Análisis Multicriterio (Diseño Físico)

La metodología seleccionada, se centra en el análisis de sobreposición de múltiples criterios ponderados (tabla 4), aplicando la modelación espacial para generar sitios óptimos o idóneos en el desarrollo de proyectos de agua potable en el Municipio de Huimanguillo.

	Criterio	% Influencia	Rango	Escala del valor
MODELACIÓN 1	1.-Carreteras	20	0-500	5
			500-1000	4
			1000-1500	3
			1500-2000	2
			>2000	1
	2.-Ríos	10	0-500	1
			500-1000	2
			1000-1500	3
			1500-2000	4
			>2000	5
	3.-Índice de marginación	70	0-0.02	1
			0.02-0.07	2
			0.07-0.13	3
			0.13-0.21	4
			0.21-0.46	5
MODELACIÓN 2	Factor	% Influencia	Campo	Valor de importancia
	Carreteras	20	0-500 m	5



			500-1000m	4
			1000-1500m	3
			1500-2000m	2
			>2000m	1
			0-500m	1
			500-1000m	2
			1000-1500m	3
			1500-2000m	4
			>2000m	5
			50	1
			100	2
			150	3
			200	4
			>200	5
MODELACIÓN 3	Factor	% Influencia	Campo	Valor de importancia
			<i>Distancia (m)</i>	
			0-500 m	5
			500-1000m	4
			1000-1500m	3
			1500-2000m	2
			>2000m	1
			<i>Distancia (m)</i>	
			0-500m	1
			500-1000m	2
			1000-1500m	3
			1500-2000m	4
		>2000m	5	
			<i>Hab/km2</i>	
			0-10	1
			oct-32	2
			32-62	3
			62-106	4
			106-234	5
			<i>Distancia (m)</i>	
			1,000	5
			2,000	4



radio	de	3,000	3
influencia		4,000	2
		5,000	1

Tabla 4 Criterios y valores cuantitativos asignados en las modelaciones

4. Análisis

Consistente en las operaciones matemáticas realizadas de forma automática mediante la herramienta de análisis espacial del otorgamiento de pesos de importancia, los cuales están ponderados de acuerdo a la percepción homologada de los diseñadores de proyectos del Organismo Operador.

VII. Resultados

Derivado del enfoque de la actual gestión de los proyectos para el abastecimiento de agua potable en el Municipio, específicamente del Organismo Operador, se identificaron oportunidades, para la georreferenciación de proyectos existentes, así como aquellos en proceso, para evaluar la factibilidad socioeconómica de realizar inversiones posteriores y su vinculación con las que se tiene programado, con el objeto de generar una gestión hídrica eficiente, incrementando así la relación beneficio/costo (Figura. 3).

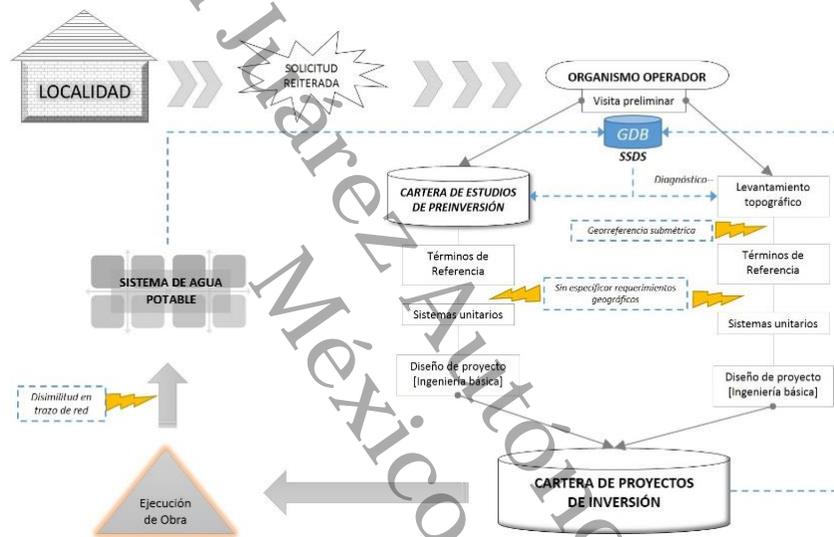


Figura 3 Esquema el desarrollo de Proyectos de agua potable en el Organismo Operador.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo antes descrito, los resultados se agruparon en dos secciones, la primera integra la visión generalizada a manera de un diagnóstico de la situación actual en relación al abasto de agua potable, de las características sociodemográficas y geográficas en el municipio de Huimanguillo. La segunda establece la interacción de los criterios propuestos para la determinación de zonas adecuadas para la gestión de proyectos de agua potable.



VII.1. Situación Actual

En México, las carencias son concebidas como el reflejo de la Marginación que padece la población, medida a través del déficit de ciertos indicadores como el acceso al agua potable entre otros, lo cual refleja claramente la situación en la que se encuentran las entidades, municipios y localidades. Aunque según el Censo de Población y Vivienda 2010, el 56.3% de la población Nacional está catalogada como de Muy bajo grado de Marginación, es evidente que la distribución está orientada hacia la porción centro-norte del país. En ese sentido, en Tabasco, con una población total de 2,238,603 habitantes, el grado de marginación recurrente con el 31.86% es de Alta marginación. Siendo los municipios de Balancán, Cárdenas, Centla, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Jonuta, Macuspana, y Tacotalpa en los que predomina esta condición.

Específicamente, en el Municipio de Huimanguillo, el Alto Grado de marginación de la población, afecta a 116,743 habitantes, en donde la disponibilidad de agua a nivel de viviendas, indica una marcada desigualdad, ya que en 184 de las 261 localidades³ del Municipio, se observa una carencia de agua en más del 75% del total de viviendas.

Por otro lado, en cuanto a la infraestructura de agua potable, existen 58 localidades que forman parte de algún sistema de abastecimiento, de los cuales el 93.1% es administrado por la CEAS⁴. Siendo estos sistemas en su mayoría unitarios (72.41%) que corresponde a 41 localidades, mientras que en los sistemas múltiples están contempladas un total de 16 localidades con un promedio de 2.17 localidades por sistema (figura 4). En general, estos sistemas proporcionan el servicio al 65.48% de la población Municipal, la cual está concentrada en 11 localidades urbanas y 47 localidades rurales.

³ Localidades que presentaron datos en la Base de datos del Índice de Marginación 2010.

⁴ De acuerdo al informe 2014 de Sistemas Administrados por el Organismo Operador en materia de agua potable.

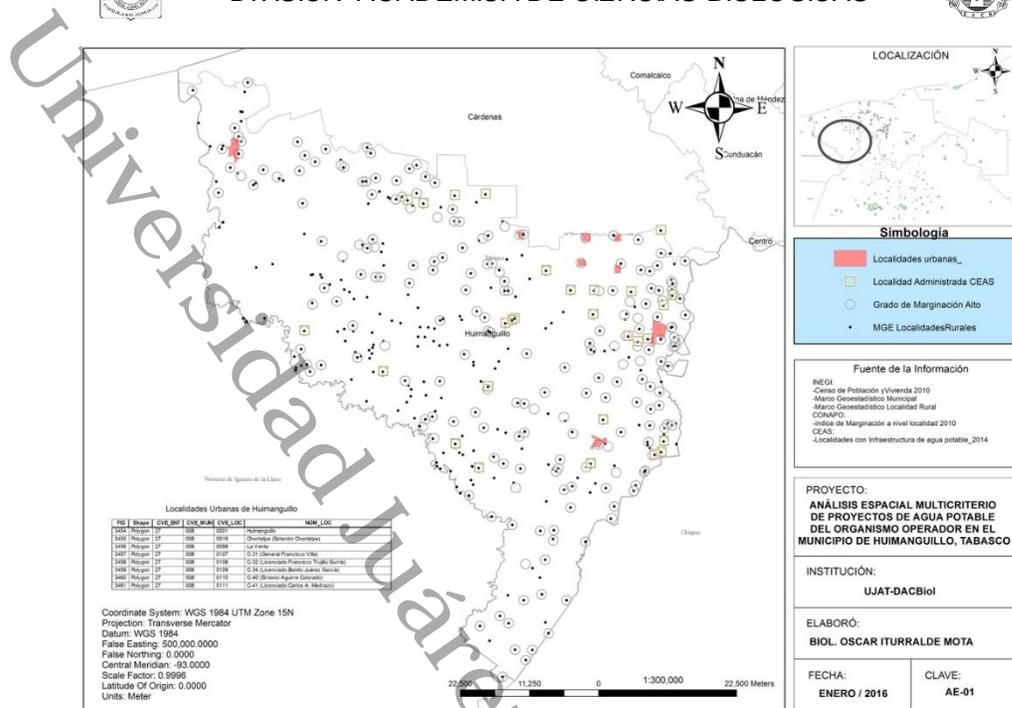


Figura 4. Relación Ubicación Geográfica-Marginación

Notas:

- Se aprecia que a nivel municipal, predominan las carencias medidas como un Alto Grado de Marginación.
- La infraestructura de Agua Potable que administra la CEAS se observa concentrada en los alrededores de Centros Urbanos de Población.
- La infraestructura de agua potable es en su totalidad basada en aprovechamiento subterráneo.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien es cierto, que el principal indicador de cobertura de agua potable refleja a la mayor cantidad de personas con el servicio, esto no es congruente con el enfoque de mejorar las condiciones de las comunidades con más desventajas sociales, ya que más de la mitad de la población de Huimanguillo presenta un alto grado de marginación (65.27%), estando por encima de la media estatal de 31.86%, y en cuanto al abasto de agua potable, sólo está presente en 46 de 222 localidades de este tipo, lo que representa el 20.72% del total. Mientras que la situación en las comunidades con Muy Alto Grado de Marginación empeora, ya que no existe infraestructura de agua potable en ninguna de estas 19 localidades identificadas.



Aunado a lo anterior, en el ámbito de la cobertura, existe una desigualdad en los datos reportados, ya que de acuerdo al organismo operador, en el municipio el abastecimiento de agua potable es de 47.2%, sin embargo, los datos del CPV 2010 indica que la proporción es de apenas el 31.1% (tabla 5).

Tabla 5. Cobertura de Agua potable en el Municipio de Huimanguillo, Tabasco.

Etiquetas de fila	Estimación del Organismo Operador	Estimación del CPV2010
Población con agua potable	84,246	55,525

Pob total del Municipio= 178,674 habitantes

Fuente: Elaboración propia con datos del Organismo Operador e INEGI.

El diseño de los sistemas de agua potable presentes en el Municipio están representados por la fuente de captación de origen subterráneo (pozo profundo), con características similares en el sistema de distribución, es decir, la extracción es impulsada a la estructura de regulación (tanque elevado) y el excedente a la red. De los sistemas existentes digitalizados, se observa que el material utilizado es PVC para la conducción y distribución del agua, en diámetros que van de 2 a 6 pulgadas, en tanto que las longitudes son variables dependiendo del trazado de las vialidades y de la ubicación de la localidad, por lo que en promedio por localidad se tiene instalado 9,182 metros lineales. Si bien es cierto que por el tipo de material utilizado en las tuberías, la vida útil es prolongada, no lo es para el caso del tipo de captación utilizada, ya que en términos técnicos, el periodo de diseño para un pozo profundo es en promedio de 10 años. En este ámbito, las fechas de diseño de los sistemas existentes se ubican en promedio del año 2003, siendo un punto de partida para analizar a detalle el volumen disponible y en el mejor de los casos, considerar las posibilidades de ampliar la cobertura, creando sistemas integrales que beneficien a múltiples localidades, que en términos socioeconómicos, permitiría maximizar los escasos recursos con los que dispone la administración pública.



Un factor esencial para determinar el diseño y que por consiguiente, refleja los costos del proyecto, es el tipo de fuente de extracción de agua, ya sea de los mantos acuíferos o de los cuerpos de agua superficiales. En el municipio, el agua subterránea, representada por los acuíferos 2701 y 2702, mantienen una condición de No explotado con un volumen de agua disponible de 553.04 MMm³/año, sin embargo, esta cantidad no es exclusiva para uso doméstico, ya que la presencia de la actividad agropecuaria, comercial, industrial y de servicios, aplica un nivel de presión mayor en el recurso. Esto se denota en la figura 5, donde se visualizan que de las 224 concesiones emitidas por la CONAGUA, el uso Público-Urbano representa el 21.43% del volumen total concesionado. En caso contrario, los cuerpos de agua superficial, no han sido ampliamente explotados para el uso Público-Urbano, ya que la condición para que sean considerados, es que tengan un caudal permanente, a lo cual en las nueve subcuencas en el municipio, pertenecientes a la cuencas RD30D y RH29A, solo se pueden observar tres corrientes que confluyen sus descargas hacia el Golfo de México, siendo el Río Zanapa con una longitud estimada de 218 kilómetros, el Río Tonalá con una longitud de 196 kilómetros y el Río Mezcalapa con una longitud de 57 kilómetros, a los cuales se les considera los flujos que le aportan los ramales de orden 5.

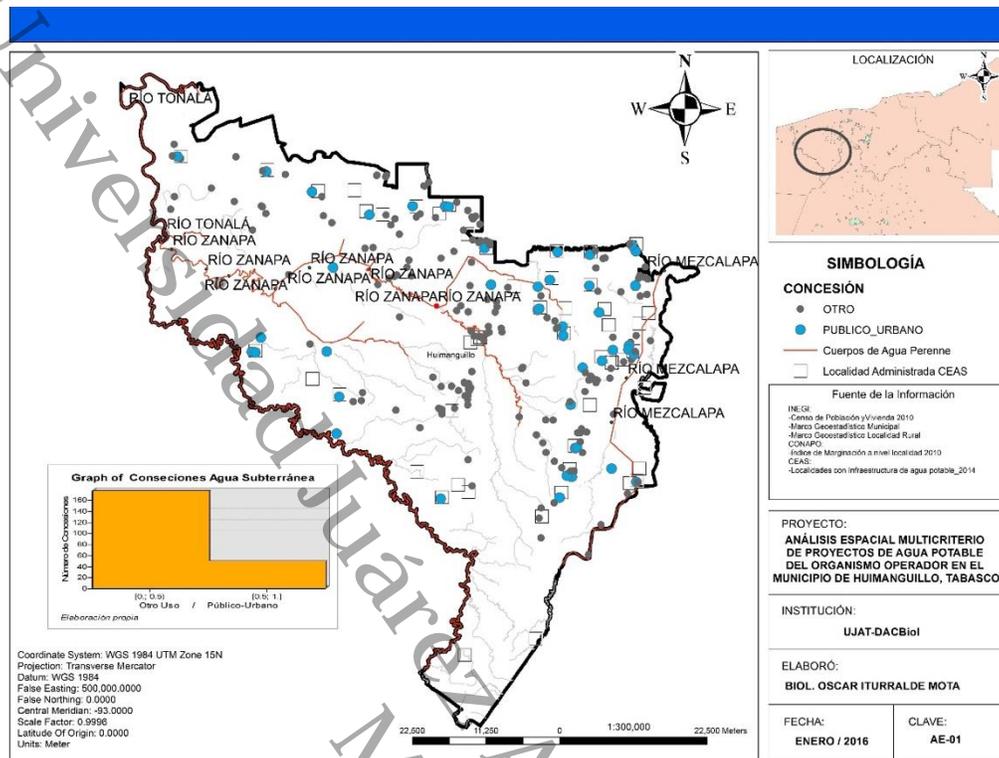


Figura 5. Fuentes de extracción de agua.

Nota: -Los cuerpos de agua representados fueron sólo contemplando su condición permanente con un nivel de corriente superior a 1.

Fuente: Información vectorial extraída del Sistema de Información Geográfica del Agua (SIGA) de CONAGUA y de la cuenca hidrológica RH29 y RH30 del Simulador de Cuenas Hidrográficas del INEGI, filtrados para su esquematización de análisis.

La accesibilidad es un parámetro que muchas de las veces obstaculiza la selección de localidades para brindar algún servicio público, siendo necesario destinar recursos adicionales para facilitar la conectividad. Es así que el 44.8% de las localidades en el Municipio, se localizan a menos de 500 metros de las principales carreteras en condiciones regulares-adequadas para el tránsito vehicular, coincidiendo en un 67.24% de localidades que son beneficiadas con el suministro de agua potable; por el contrario, existen 143 comunidades en donde el tránsito vehicular es limitado por las condiciones de la vía que las comunican, siendo en su mayoría de terracería.

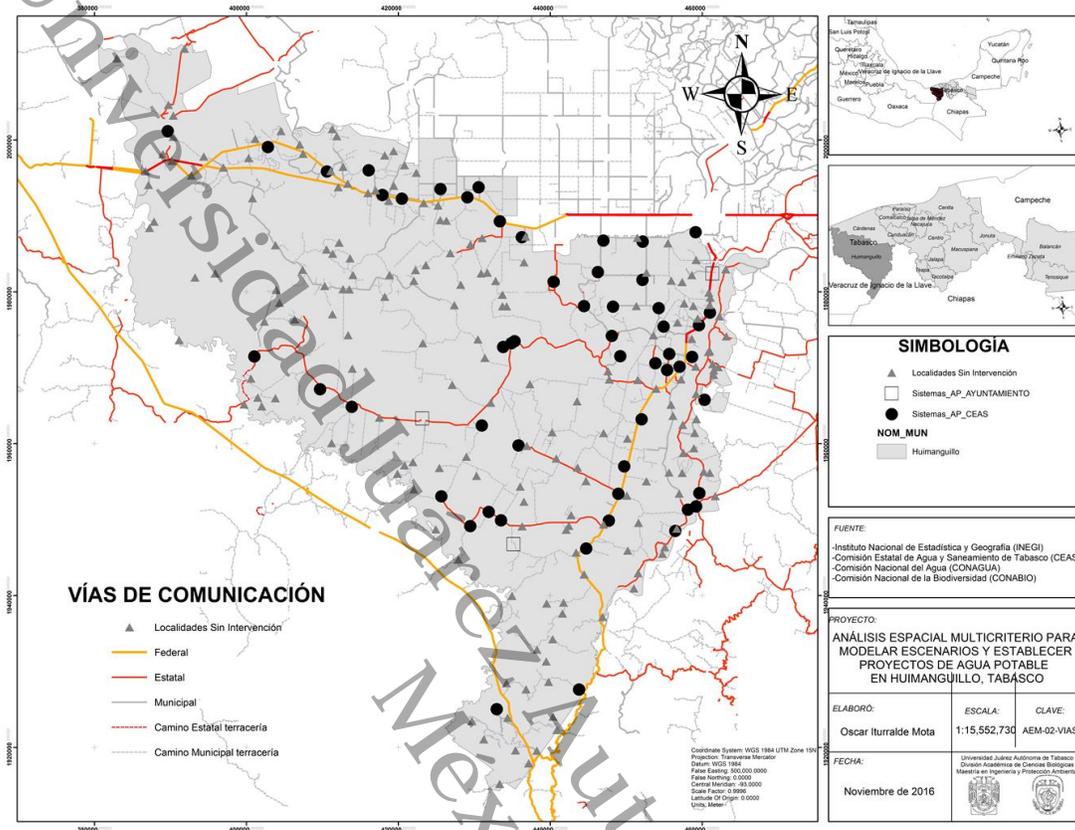


Figura 6. Vías de comunicación en el área de estudio.

Nota: Para cuestiones del análisis, sólo se contempla la vialidad del tipo carreteras

Fuente: Información vectorial de vías de comunicación extraída de las cartas topográficas 1:20,000. INEGI y de localidades con infraestructura de agua potable del Organismo Operador. Se toma como base el Marco Geoestadístico de localidades Rurales y Urbanas del INEGI.

VII.2. Análisis Multicriterio: Modelación para localización de sitios óptimos

Como se indicó en el capítulo VI, la metodología seleccionada se centra en el análisis de sobre posición de múltiples criterios, aplicando la modelación espacial para generar sitios óptimos o idóneos para el desarrollo de proyectos de agua potable en el Municipio de Huimanguillo.



VII.2.1. Modelación de Escenario 1

Localización de sitios óptimos en base a la densidad de Viviendas con carencia de Agua Potable.

En este escenario, la modelación se realiza considerando 3 criterios específicos:

1. Distancia de las localidades sin infraestructura de agua potable ubicadas a una vialidad de 0 a >2000 metros de las carreteras ya sea federal, estatal y/o municipal, de igual forma se considera importante en la simulación, el peligro implícito por eventos de inundación, por lo cual el factor 2 es la distancia de las localidades ubicadas entre 0 y 200 metros de un cuerpo de agua perenne; finalmente el factor 3, indica la densidad de en la distribución de las viviendas respecto de su carencia de agua potable, definido por el índice de Marginación, en este sentido, en la tabla 6 se muestra los valores otorgados a cada criterio.

A continuación, se muestran los criterios utilizados, los cuales se encuentran detallados en la figura 7 como parte del esquema del ModelBuilder.

Tabla 6 Criterios y valores cuantitativos asignados en la modelación 1

Criterio	% Influencia	Rango	Escala del valor
1.-Carreteras	20	0-500	5
		500-1000	4
		1000-1500	3
		1500-2000	2
		>2000	1
2.-Ríos	10	0-500	1
		500-1000	2
		1000-1500	3
		1500-2000	4
		>2000	5
3.-Índice de marginación	70	0-0.02	1
		0.02-0.07	2
		0.07-0.13	3
		0.13-0.21	4
		0.21-0.46	5

Fuente: Valores derivado de la percepción homologada de los diseñadores de proyectos de agua potable del Organismo Operador.

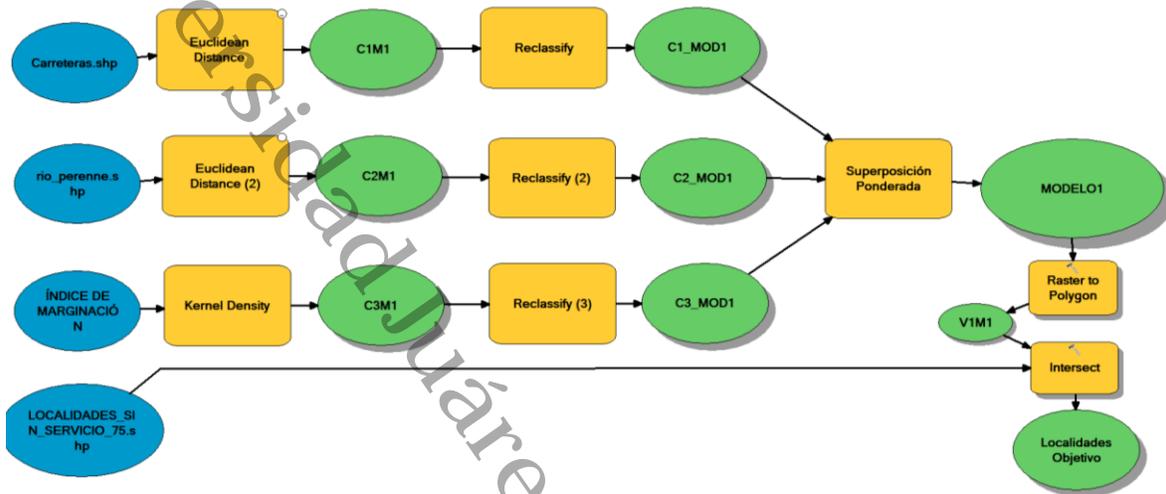


Figura 7. Esquema del Geoprocesamiento para modelado del escenario 1.

Fuente: Elaboración propia utilizando la herramienta ModelBuilder, para esquematizar el Geoprocesamiento de la información en el modelado del Escenario 1.

Distancia a Carreteras Criterio 1-Modelo 1

Se utilizó como base la información vectorial de las cartas topográficas 1:20,000 del INEGI, para lo cual solamente se utilizó el tipo de vialidad de “carreteras” independientemente de los distintos órdenes de administración (Federal, Estatal y/o Municipal). El procesamiento geográfico para determinar las áreas de relevancia para este criterio, consistió en la determinación de la distancia euclidiana y su reclasificación en la escala nominal en cinco categorías de acuerdo a su distancia en metros; atendiendo lo establecido en la tabla 6, generando como resultado su visualización gráfica en el entorno del área de estudio (figura 8) como se muestra a continuación.

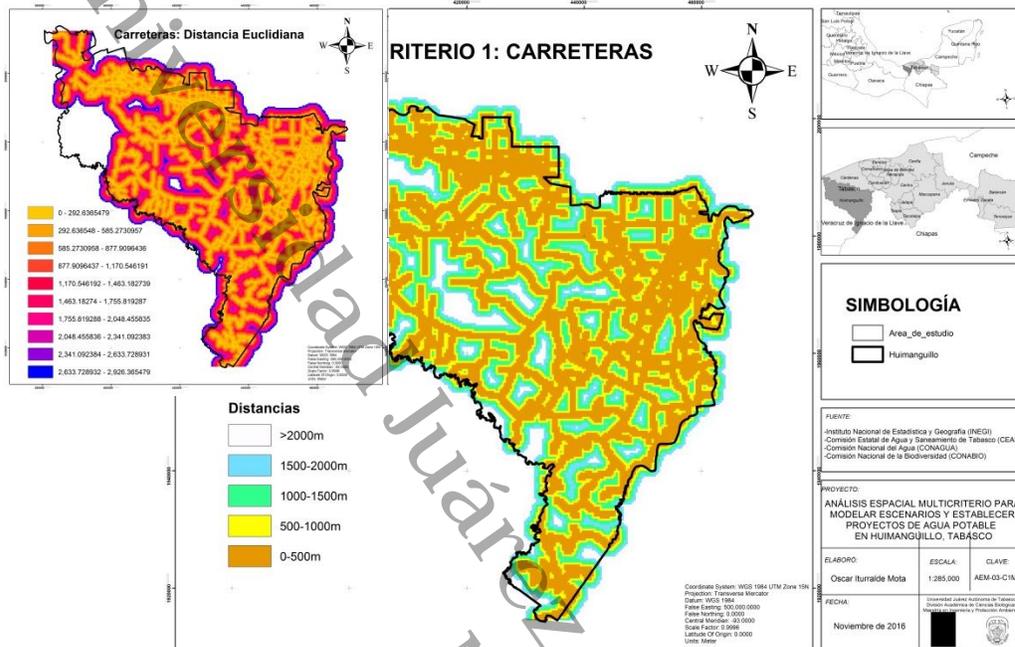


Figura 8. Criterio 1 de Modelación 1

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5. Utilizando las herramientas Euclidean Distance & Reclass.en ArcGIS.

Distancia a Ríos Criterio 2-Modelo 1

Considerando la perspectiva del riesgo de inundación, este criterio se basa en la definición de distancias a partir del eje del cuerpo de agua, con una condición perenne, para lo cual se proyectó un rango de hasta 3 km de longitud paralelo al vector. El origen de la información vectorial, fue de las cartas hidrológicas 1:50,000 del INEGI, determinando las distancias euclidianas, su reclasificación en la escala nominal de 1-5 (otorgando importancia a mayor distancia), de acuerdo a lo establecido en la tabla 6, generando zonas de interés en el entorno del área de estudio (figura 9).

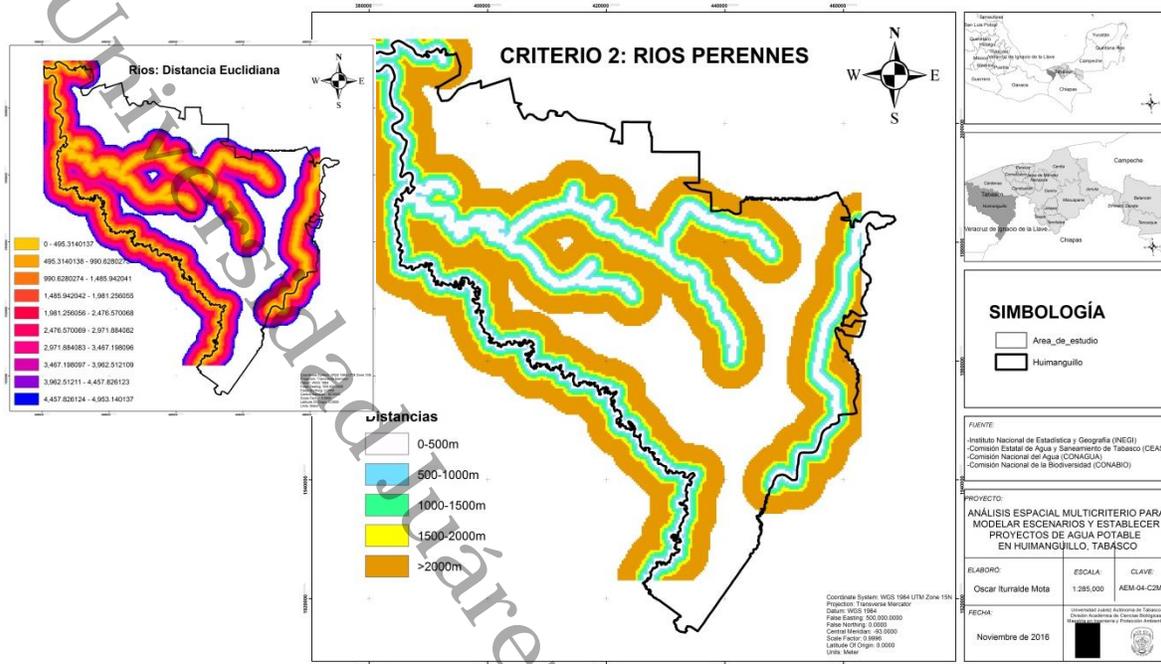


Figura 9. Criterio 2-Modelación 1

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5.

Densidad de Localidades: Criterio 3-Modelo 1

Para este criterio, se incluyó el índice de marginación que calcula la CONAPO a nivel localidad, el vector consistió en el punto georreferenciado de las localidades cuya carencia de agua potable está por encima del 75% de las viviendas que la integran. Al igual que los otros dos criterios previos, fue necesaria la reclasificación en la escala nominal de 1 a 5, quedando gráficamente de la siguiente manera:

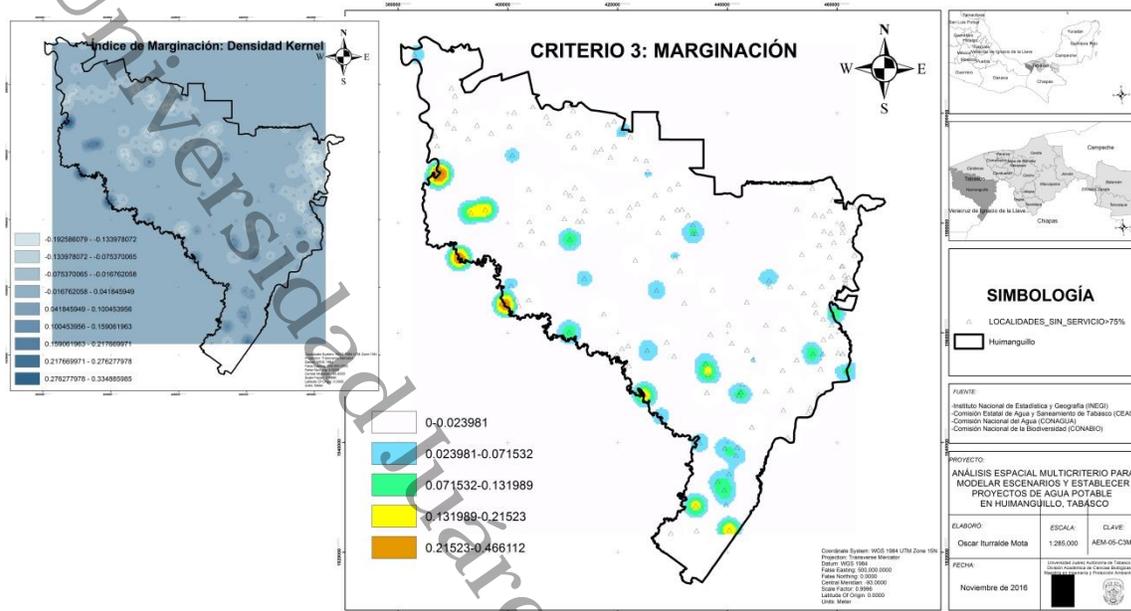


Figura 10. Criterio 3-Modelación 1

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5.

Ponderación porcentual

Como puede apreciarse en la tabla 6, el factor de índice de Marginación, refiere el mayor peso porcentual otorgado, ya que de acuerdo a las consideraciones del Organismo Operador, en este modelado, se busca mejorar la cobertura de agua potable a los habitantes que más lo necesitan. En este contexto, se realizó la superposición ponderada de los 3 criterios, obteniendo un nuevo raster de salida, es decir el escenario o Modelo número 1.

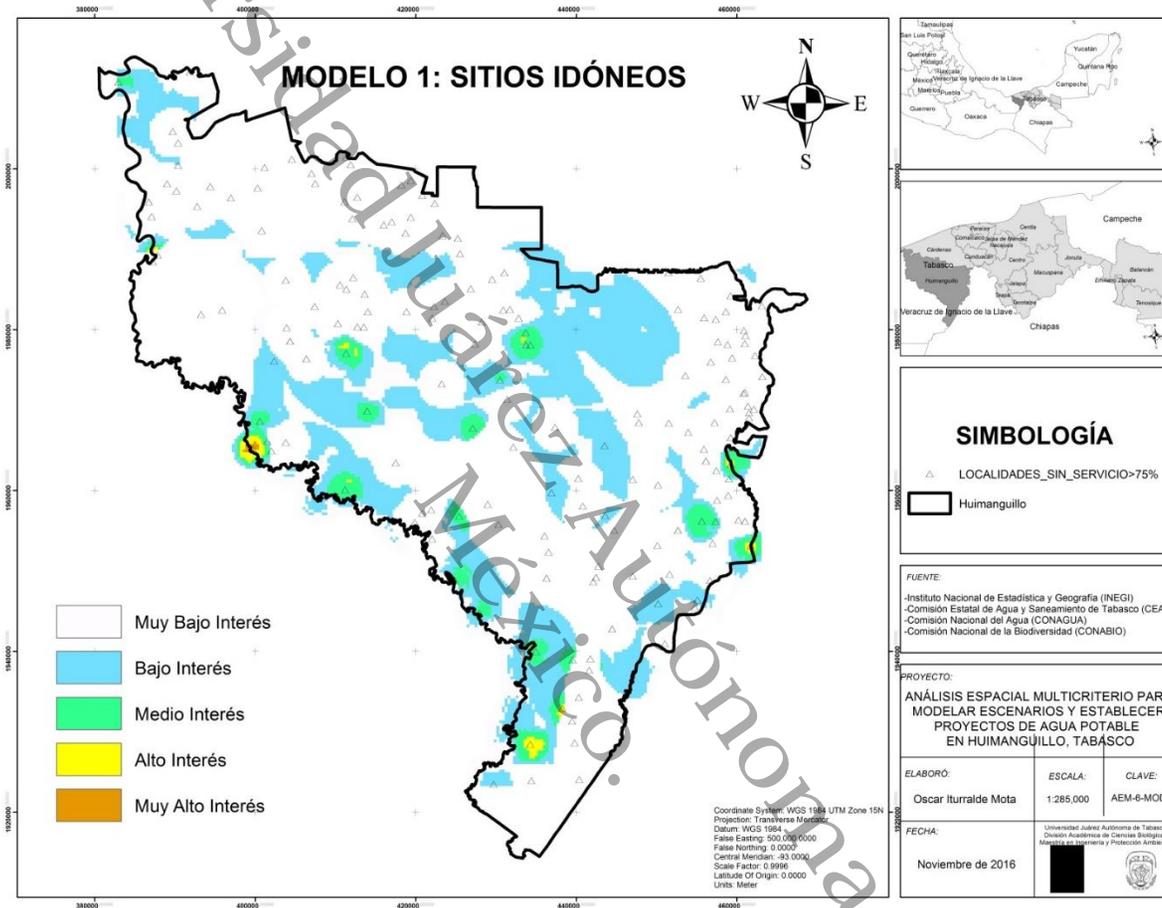


Figura 11. Modelación del Escenario 1

Nota: Pesos ponderados en porcentaje, Carretera= 20%, Cuerpos de agua perenne= 10% e Índice de Marginación=70%. Fuente: Modelación realizada por la sobreposición de pesos ponderados (Weighted overlay) en Spatial Analyst Tools. ArcGIS 10.2.2.



Como resultado de esta modelación (tabla 7), y considerando que a mayor número de proyectos a desarrollar mayor será el costo de inversión, se observa que en las zonas de interés Alto y Muy Alto, existe un potencial para la implementación de proyectos de agua potable ya que sólo se incidiría en 5 asentamientos humanos, sin embargo, se aprecia una variación en cuanto a la población y su concentración en localidades.

Tabla 7. Resultados de Modelación 1

Zona de Interés	Número de localidades	Suma de Población Total SUM_POB_TOT	Porcentaje de Población Sin Agua %_SAGUAE10
Muy bajo	150	50,524	97.03
Bajo	8	2,044	95.68
Medio	18	2,197	99.89
Alto	4	962	98.85
Muy Alto	1	12	100.00

Fuente: Resumen de principales resultados por zonas de intersección del vector Modelación del Escenario 1 y de Localidades sin Intervención (infraestructura de agua potable).

A manera de alternativa, la modelación 1, determina que la decisión del Organismo Operador estaría enfocado en maximizar los recursos disponibles, en este sentido, la primera opción que se recomienda de este análisis es la de continuar con el estudio de prefactibilidad/factibilidad solo en 4 de 5 localidades, es decir sólo en las de la Zona de Alto Interés, ya que potencialmente podría generarse sólo dos sistemas múltiples beneficiando a 4 localidades, caso contrario como se observa en la figura 12, la localidad situada en la zona de Muy alto interés está significativamente alejada del resto, aunado a la poca población que la integra.

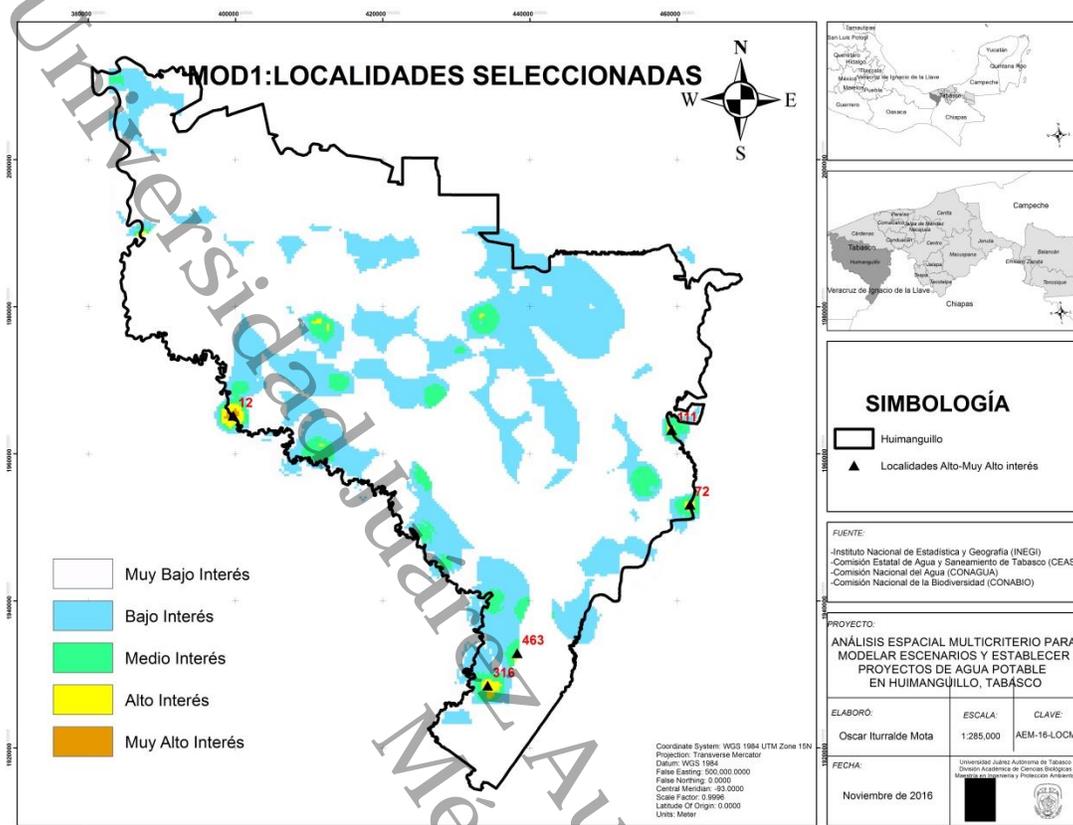


Figura 12. Localidades seleccionadas en Modelación de Escenario 1

Fuente: Elaboración propia con datos Geoestadísticos de localidades del CPV2010 e intersección de los polígonos de Alto y Muy alto interés del Modelado de Escenario 1.

Dichas localidades, de acuerdo al CPV2010 del INEGI, cuenta con la siguiente información geoestadística:

Tabla 8. Información Geoestadística de localidades seleccionadas Modelación 1

Zona de Interés MUY ALTO	Clave Geoestadística	Suma de Población Total (SUM_POB_TOT)	Porcentaje promedio de Viviendas Sin Agua (SAGUAE10)
Gustavo Díaz Ordaz 3ra. Sección	270080553	316	100
La Arena 2da. Sección	270080113	463	95.402299
Paredón 1ra Sección (La Isla)	270080465	111	100
Santa Cecilia	270080661	72	100

Nota:

-Clave Geoestadística determinada por la entidad, municipio y localidad, obtenida de la relación entre la base de datos de los Principales Resultados a nivel Localidad del Censo de Población y Vivienda 2010 (ITER) y del Grado de Marginación a nivel Localidad 2010 emitida por la CONAPO.

-Información obtenida de la zona de interés Muy Alto del Modelo 1, con intersección de las localidades Sin Intervención (Sin Infraestructura de agua potable).

-El porcentaje corresponde al promedio de viviendas sin Agua potable a nivel Localidad

Fuente: Elaboración propia, resumen de las localidades de interés derivado de la Modelación del escenario 1.



VII.2.2. Modelación de Escenario 2

Localización de sitios en base a la Cobertura por Densidad del Total de Población.

En este escenario se consideró como base los mismos parámetros en la clasificación de criterios para los factores Cuerpos de Agua perennes y Carreteras, es decir, una ponderación de distancia euclidiana cada 500 metros, mismos que se continuaron estructurando en 5 niveles (1,2,3,4 y 5), sin embargo, la variante se enfocó en el tercer factor, ya que el criterio se basó en la densidad de población en base a su dispersión sin servicio de agua potable.

A continuación, se muestran los criterios utilizados, los cuales se encuentran detallados en la figura 13 como parte del esquema del ModelBuilder.

Tabla 9. Factores y valores cuantitativos asignados en la modelación 2

Factor	% Influencia	Campo	Valor de importancia
Carreteras	20	0-500 m	5
		500-1000m	4
		1000-1500m	3
		1500-2000m	2
		>2000m	1
Ríos	10	0-500m	1
		500-1000m	2
		1000-1500m	3
		1500-2000m	4
		>2000m	5
Densidad de Población	70	50	1
		100	2
		150	3
		200	4
		>200	5

Fuente: Elaboración propia con información derivada de la percepción técnica de los responsables de la toma de decisión del Organismo operador.

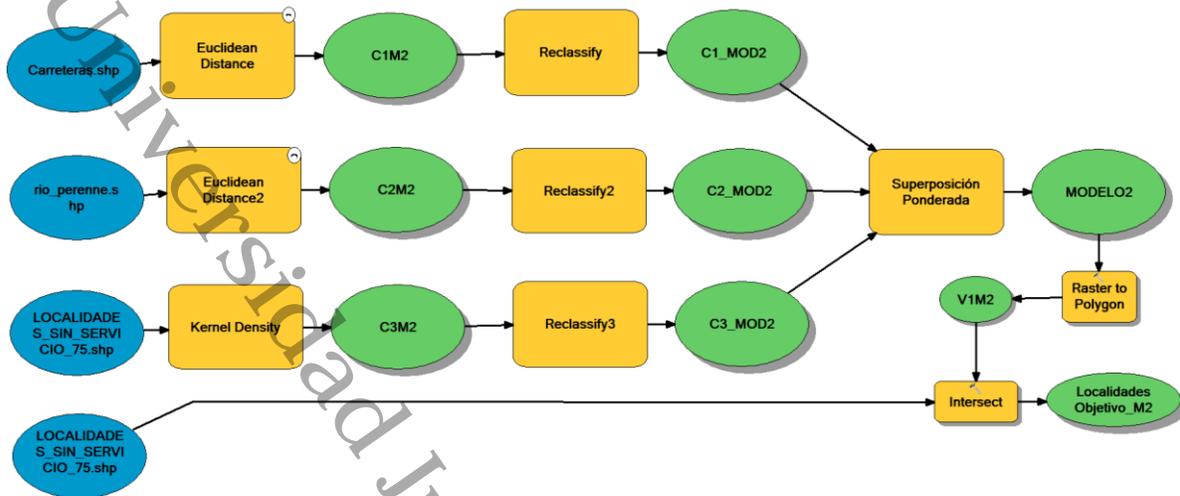


Figura 13. Esquema general para Geoprocesamiento de modelado de escenario 2

Fuente: Elaboración propia utilizando la herramienta ModelBuilder, para esquematizar el Geoprocesamiento de la información en el modelado del Escenario 2.

Criterios para modelación

Con fines de comparación, se optó por incluir los mismos 2 criterios del modelo 1, con una variante en el tercero, es decir, para este escenario se incluyó el criterio de densidad poblacional por kilómetro cuadrado, información generada a partir de la información vectorial de la base de datos del índice de marginación.

Para el modelado, se siguieron los procedimientos mostrados en la figura 13, resultando en los siguientes submodelos en formatos raster, los cuales de acuerdo a la metodología utilizada, fueron reclasificados en congruencia con los datos de la tabla 9.

Carreteras: Criterio 1, modelo 2

El factor de decisión fue la distancia a la que se encuentran los asentamientos humanos, en un rango de 0 a 3000 metros, reclasificándolo en la escala de valor de 1 a 5, otorgándole el mayor valor conforme la distancia se acercaba a cero.

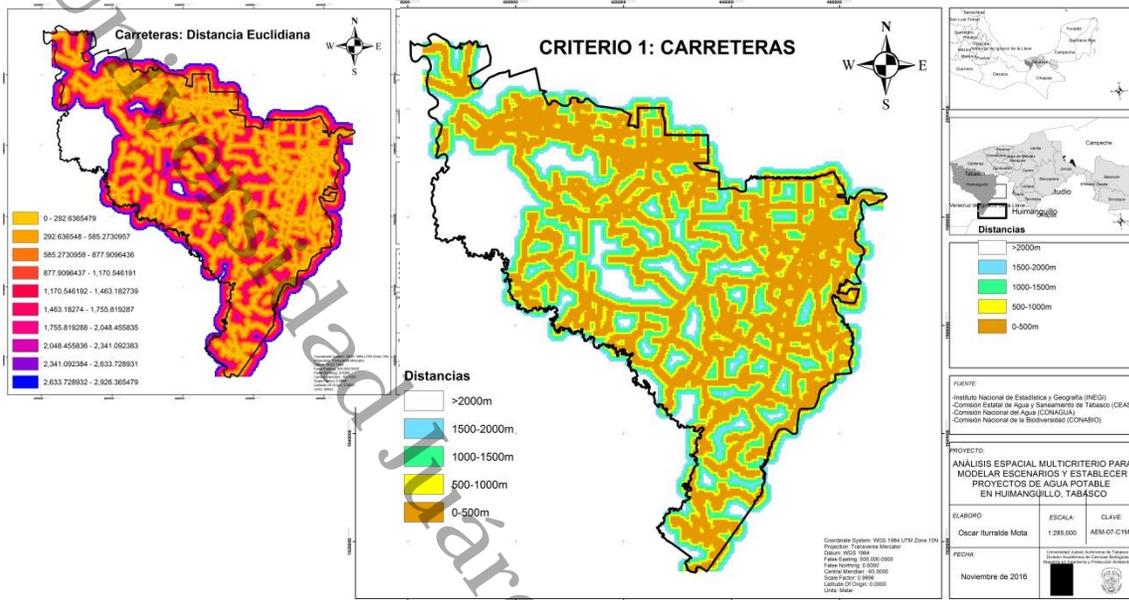


Figura 14. Criterio 1 de Modelación 2

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5. Utilizando las herramientas Euclidean Distance & Reclass. en ArcGIS.

Ríos: Criterio 2-Modelo 2

En este modelo, la perspectiva se enfocó en considerar al cuerpo de agua como una fuente de extracción para el abastecimiento de la red pública, motivo por el cual las distancias a este componentes juega un papel importante, ya que a mayor lejanía de la localidad mayor es el costo estimado para el desarrollo y operación de proyectos de agua potable. De lo cual, en la tabla 9, se establece el rango de búsqueda con límite a 5000 metros, con una posterior reclasificación en la escala de valor del 1 al 5 (otorgando importancia a menor distancia), generando zonas de interés en el contexto del área de estudio (figura 15).

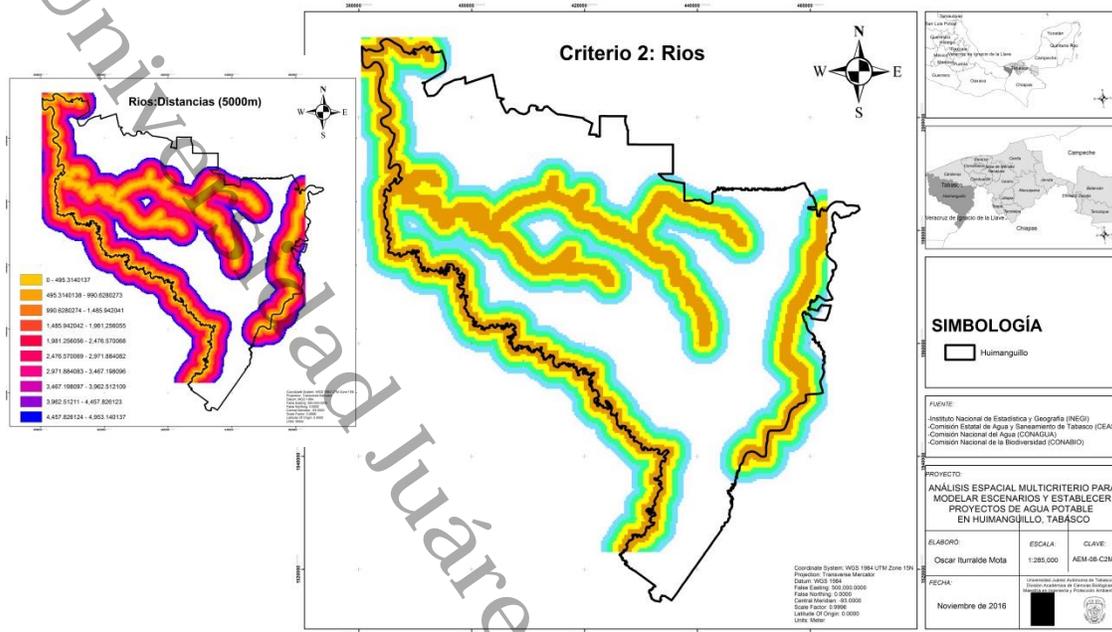


Figura 15. Criterio 2-Modelación 2

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5.

Densidad de Población con carencia: Criterio 3-Modelo 2

Utilizando nuevamente como fuente la información del índice de marginación de la CONAPO, se determinó la densidad de población con carencia superior al 75% en sus viviendas, con una unidad de kilómetro cuadrado, en base al total de población por localidad. El análisis espacial de esta información fue realizada con el componente de “densidad Kernell” para la entidad de puntos, con una distancia máxima de búsqueda de 3000 m, reclasificándolos en 5 clases de acuerdo a los rangos establecidos para este criterio (tabla 9).

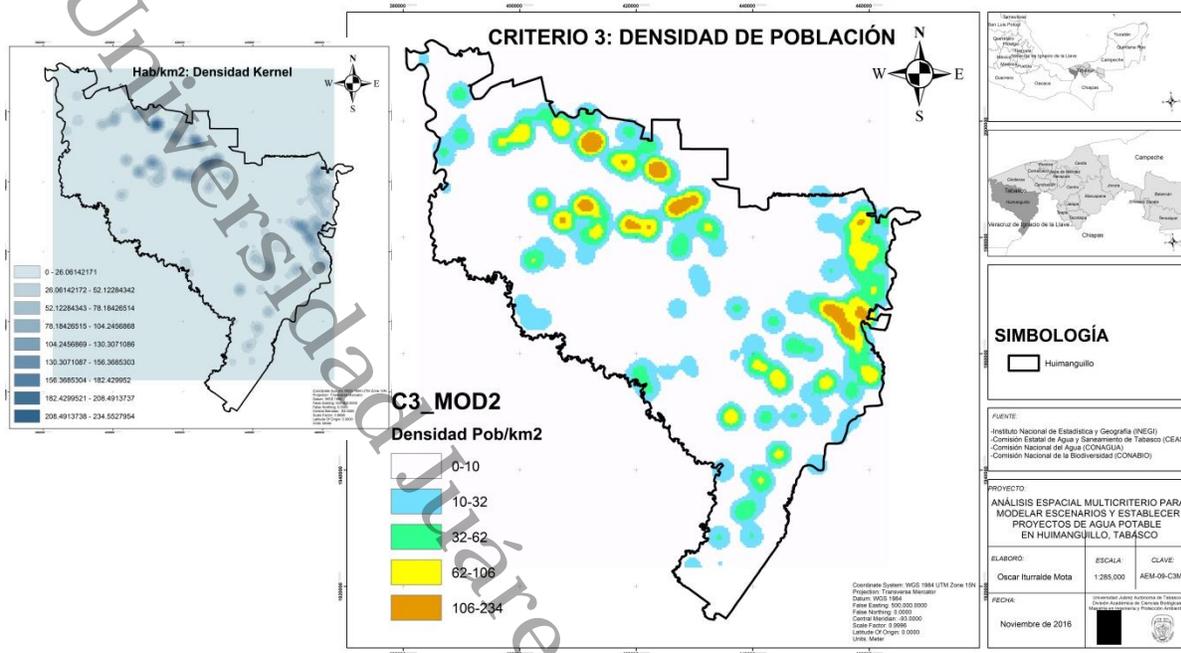


Figura 16. Criterio 3-Modelación 2

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5.

Ponderación porcentual

En este escenario, la perspectiva se continúa orientando hacia el criterio de la carencia, al ser un factor determinante en la selección de beneficiarios por parte de la federación al otorgar apoyos para el desarrollo de proyectos de agua potable. Es así que los pesos porcentuales otorgados a cada uno de los 3 criterios descritos previamente (tabla 9), modifican el escenario a modelar, quedando identificadas las 5 zonas de interés en donde se organizan las localidades dependiendo del valor final de la superposición ponderada (Weighted Overlay) identificados en la figura siguiente.

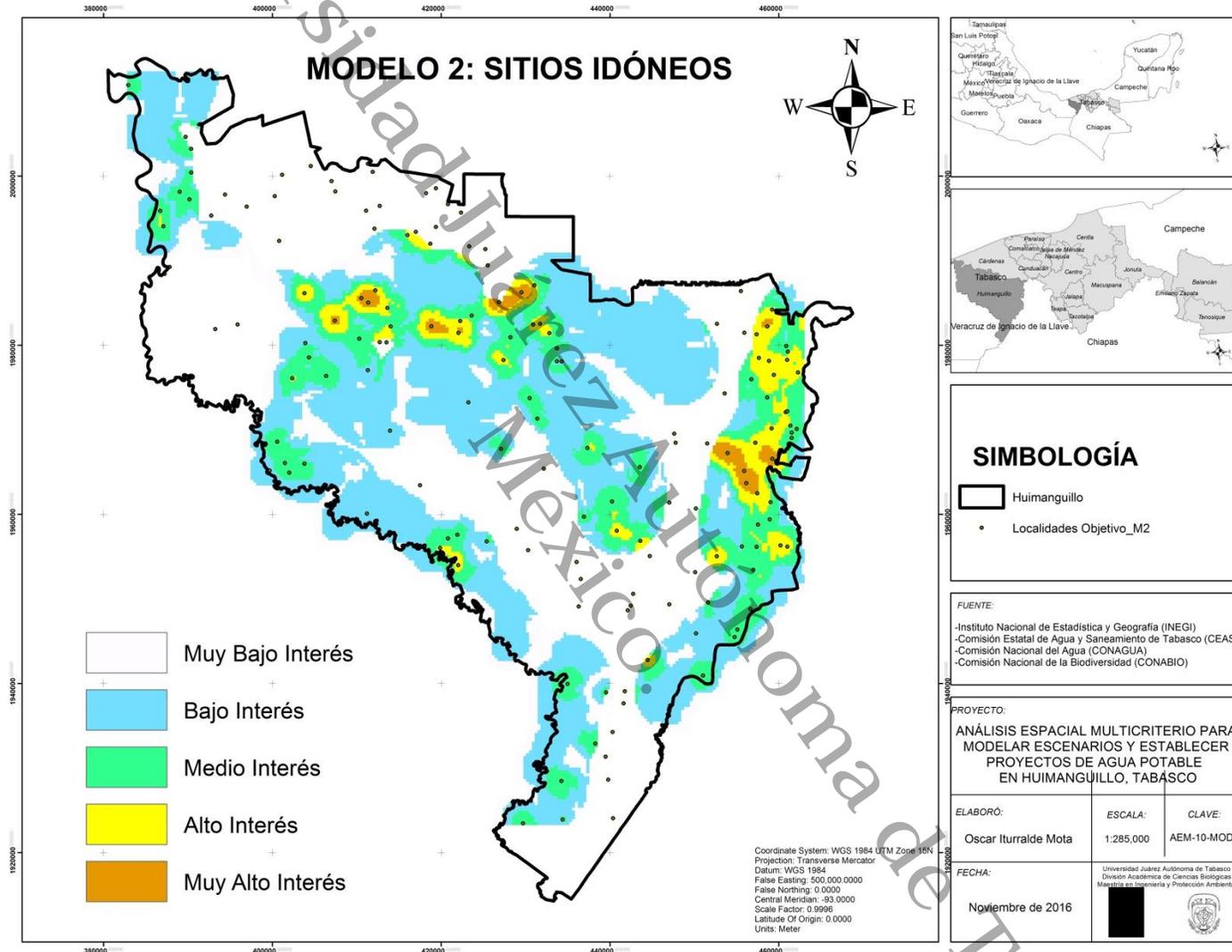


Figura 17. Modelación del Escenario 2

Nota: Pesos ponderados en porcentaje, Carretera= 20%, Cuerpos de agua perenne= 10% Y Densidad de Población= 70%.

Fuente: Modelación realizada por la sobreposición de pesos ponderados (Weighted overlay) en Spatial Analyst Tools. ArcGIS 10.2.2.



Es notable observar que en esta modelación, se incrementan las probabilidades de beneficiar a más personas ubicadas en sitios idóneos catalogados como de Muy alto Interés, que representaría el 31.9% del total de personas incluidas en este escenario.

Tabla 10. Resultados de Modelación 2

Zona de Interés	Número de localidades	Suma de Población Total SUM_POB_TOT	Porcentaje Promedio de Población Sin Agua %_SAGUAE10
Muy bajo	1	20	100.00
Bajo	12	742	98.61
Medio	55	10483	96.81
Alto	34	13030	97.47
Muy Alto	14	11358	97.37

Fuente: Resumen de principales resultados por zonas de intersección del vector Modelación del Escenario 2 y de Localidades sin Intervención (infraestructura de agua potable).

Como puede apreciarse en la figura 18, potencialmente podrían generarse sólo 5 sistemas integrales para lograr la cobertura de agua potable en las 14 localidades situadas en estos sitios idóneos de Muy alto interés. Esta condición encaja dentro del factor económico general para el desarrollo de las políticas presupuestales del organismo operador, en el sentido de que se busca maximizar los recursos en mayor beneficio social.

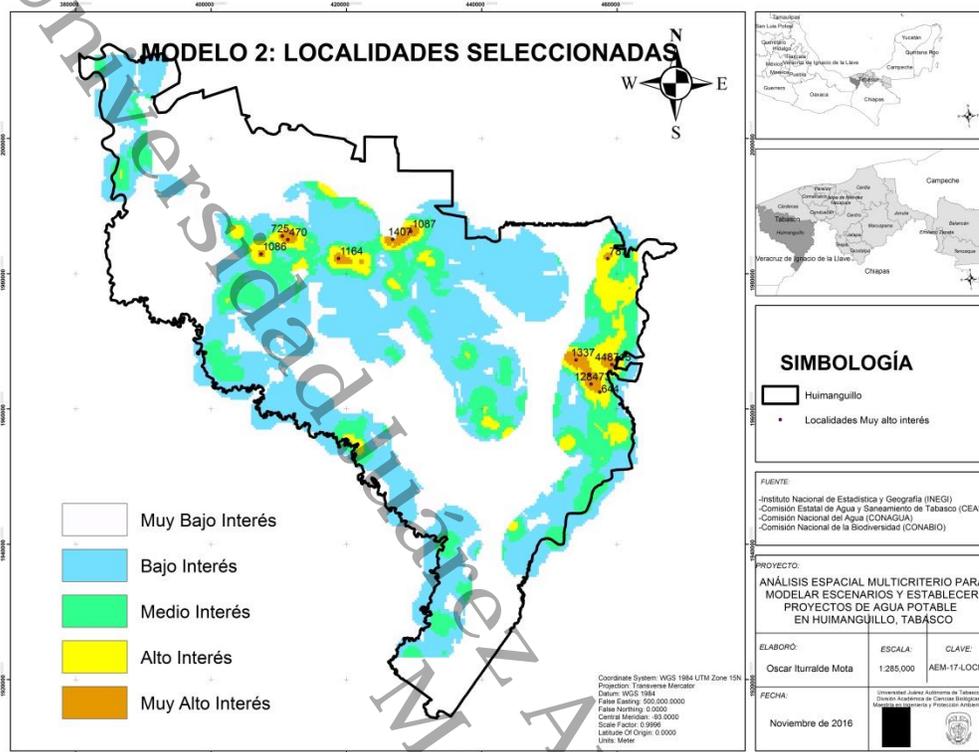


Figura 18. Localidades seleccionadas en Modelación de Escenario 2

Fuente: Elaboración propia con datos Geoestadísticos de localidades del CPV2010 e intersección de los polígonos de Alto y Muy alto interés del Modelado de Escenario 1.

Dichas localidades, de acuerdo al CPV2010 del INEGI, cuenta con la siguiente información geoestadística:

Tabla 11. Información Geoestadística de localidades seleccionadas Modelación 2

Zona de Interés MUY ALTO	Clave Geoestadística	Suma de Población Total (SUM_POB_TOT)	Porcentaje promedio de Viviendas Sin Agua (SAGUAE10)
Huapacal 1ra Sección	270080038	1164	100.00
Ignacio Gutiérrez 2da Sección	270080041	470	100.00
Ostitán 1ra Sección	540160232	601	99.08
Ostitán 2da Sección	270080117	887	96.17
Otra Banda 2da Sección	540160122	1163	99.52



Paredón 1ra Sección	270080064	644	100.00
Paso de la Mina 2Da. Sección (Barrial)	270080172	1407	99.67
Paso de la Mina 3ra Sección	270080191	1087	75.53
Río Seco Y Montaña 3ra Sección (Chinal)	270080165	787	97.84
Tierra Nueva 2da Sección	270080095	1337	98.15
Tres Bocas 1ra Sección	270080097	1086	99.22
Zanapa 1ra Sección	270080187	725	99.43
Huapacal 1ra Sección	270080038	1164	100.00
Ignacio Gutiérrez 2da Sección	270080041	470	100.00
Ostitán 1ra Sección	540160232	601	99.08

Nota:

-Clave Geoestadística determinada por la entidad, municipio y localidad, obtenida de la relación entre la base de datos de los Principales Resultados a nivel Localidad del Censo de Población y Vivienda 2010 (ITER) y del Grado de Marginación a nivel Localidad 2010 emitida por la CONAPO.

-Información obtenida de la zona de interés Muy Alto del Modelo 1, con intersección de las localidades Sin Intervención (Sin Infraestructura de agua potable).

-El porcentaje corresponde al promedio de viviendas sin Agua potable a nivel Localidad

Fuente: *Elaboración propia, resumen de las localidades de interés derivado de la Modelación del escenario 2.*

VII.2.3. Modelación de Escenario 3.

Abastecimiento por ampliación de sistemas de agua potable existentes.

Como una de las opciones plausibles para incrementar el abastecimiento, los técnicos del Organismo Operador, también consideran el optimizar la situación actual de su infraestructura, es decir, la ampliación del servicio existente a localidades en un área de influencia. Para lo cual, este escenario considera utilizar los criterios de la modelación anterior, adicionando el criterio referente al área de influencia radial de máximo 5 kilómetros, para lo cual se seguirá usando la ponderación en una escala del 1 al 5, asignando mayor valoración al primer radio de 1 km por suponer una alta probabilidad de ahorro al requerirse menos conceptos de obra para su ejecución.

A continuación, se muestran los criterios utilizados:



Tabla 12. Factores y valores cuantitativos asignados en la modelación 3

Factor	% Influencia	Campo	Valor de importancia
Carreteras	20	<i>Distancia (m)</i>	
		0-500 m	5
		500-1000m	4
		1000-1500m	3
		1500-2000m	2
		>2000m	1
Ríos	10	<i>Distancia (m)</i>	
		0-500m	1
		500-1000m	2
		1000-1500m	3
		1500-2000m	4
		>2000m	5
Densidad de Población	35	<i>Hab/km2</i>	
		0-10	1
		10-32	2
		32-62	3
		62-106	4
		106-234	5
Ampliación de sistemas existentes por radio de influencia	35	<i>Distancia (m)</i>	1-5
		1,000	5
		2,000	4
		3,000	3
		4,000	2
		5,000	1

Notas:

*La reclasificación del factor de densidad de la población con carencia se hizo utilizando el método de natural breaks (jenks) distribuidos en 5 clases, por lo cual los valores se expresan en la densidad del número de habitantes siendo de mayor importancia aquellas con mayor población por el criterio default en kilómetros cuadrados, siendo la referencia estimada en un radio de 22.5 km².

Fuente: Elaboración propia basados en la densidad kernel, la reclasificación en 5 clases y la ponderación por orden de importancia utilizando Spatial Analyst tools from ArcMap 10.2.2.

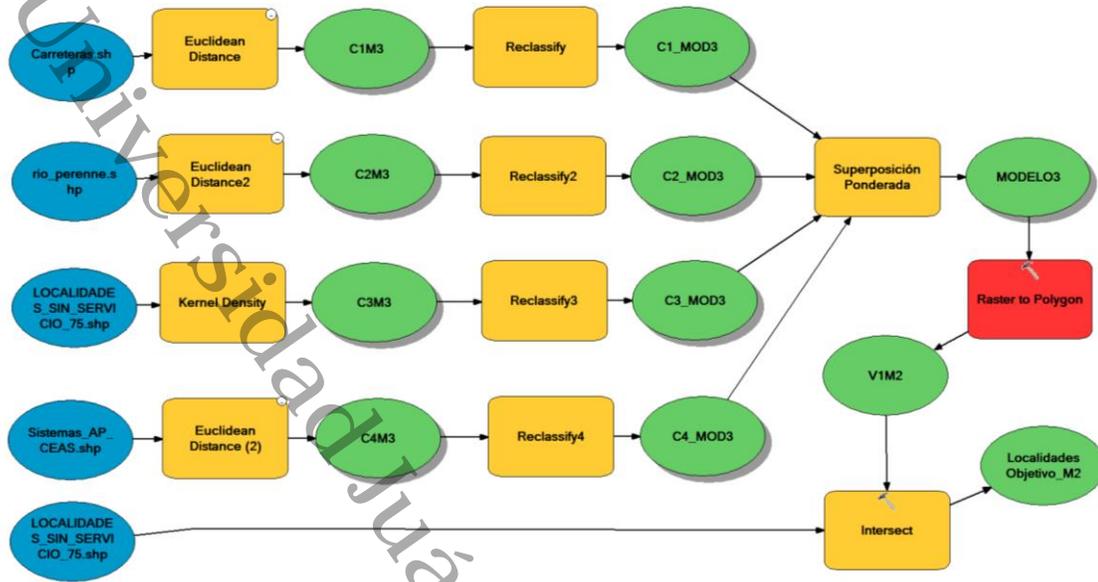


Figura 19. Esquema general para Geoprocesamiento de modelado de escenario 3

Fuente: Elaboración propia utilizando la herramienta ModelBuilder, para esquematizar el Geoprocesamiento de la información en el modelado del Escenario 2.

Criterios para modelación

Con fines de comparación, se optó por incluir los mismos 3 criterios del modelo 2, con una variante, es decir añadiendo un cuarto criterio, es decir, para este escenario se incluyó la búsqueda de localidades en zonas de influencia de sistemas de agua potable existentes en el municipio de Huimanguillo, información generada a partir de la información vectorial proveniente del inventario proporcionado por el Organismo Operador.

Para el presente modelado, se siguieron los procedimientos mostrados en la figura 19, resultando en los siguientes submodelos en formatos raster, los cuales de acuerdo a la metodología utilizada, fueron reclasificados en congruencia con los datos de la tabla 12.

Carreteras: Criterio 1, modelo 3



El factor de decisión fue la distancia a la que se encuentran los asentamientos humanos, en un rango de 0 a 3000 metros, reclasificándolo en la escala de valor de 1 a 5, otorgándole el mayor valor conforme la distancia se acercaba a cero.

Ríos: Criterio 2-Modelo 3

En este modelo, la perspectiva se enfocó en considerar al cuerpo de agua como una fuente de extracción para el abastecimiento de la red pública, motivo por el cual las distancias a este componentes juega un papel importante, ya que a mayor lejanía de la localidad mayor es el costo estimado para el desarrollo y operación de proyectos de agua potable. De lo cual, en la tabla 9, se establece el rango de búsqueda con límite a 5000 metros, con una posterior reclasificación en la escala de valor del 1 al 5 (otorgando importancia a menor distancia), generando zonas de interés en el contexto del área de estudio (figura 20).

Densidad de Población con carencia: Criterio 3-Modelo 3

Utilizando nuevamente como fuente la información del índice de marginación de la CONAPO, se determinó la densidad de población con carencia superior al 75% en sus viviendas, con una unidad de kilómetro cuadrado, en base al total de población por localidad. El análisis espacial de esta información fue realizada con el componente de "densidad Kernell" para la entidad de puntos, con una distancia máxima de búsqueda de 3000 m, reclasificándolos en 5 clases de acuerdo a los rangos establecidos para este criterio (tabla 12).

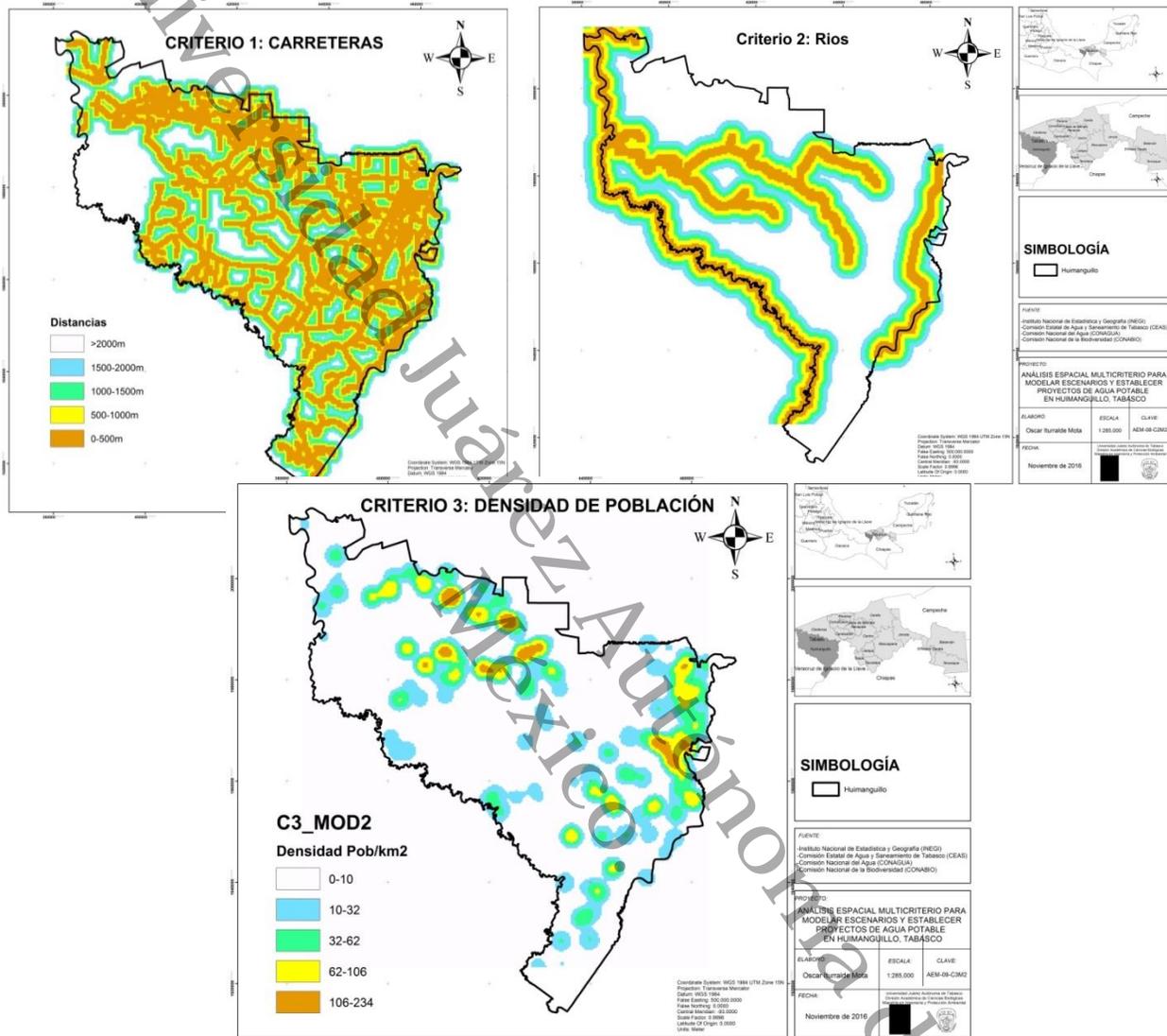


Figura 20. Criterios 1, 2 y 3 para modelación 4

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5.

Área de influencia: Criterio 4-Modelo 3

Este criterio, hace referencia a la viabilidad técnica y económica estimada por el Organismo Operador para ampliar los sistemas existentes, considerando inversamente proporcional costos de construcción/operación con la distancia, es

decir, entre más cerca se ubiquen las localidades beneficiarias, menor será el costo por desarrollar los proyectos de ampliación de cobertura. Las distancias se definieron en 5 clases, en metros, otorgando mayor valor de importancia a la zona con menor distancia a partir del punto que indica al sistema de agua potable existente. Al igual que el resto de criterios analizados, se siguieron los procedimientos de rasterización para reclasificación, otorgamiento de pesos y ponderación porcentual, de lo cual se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 21.

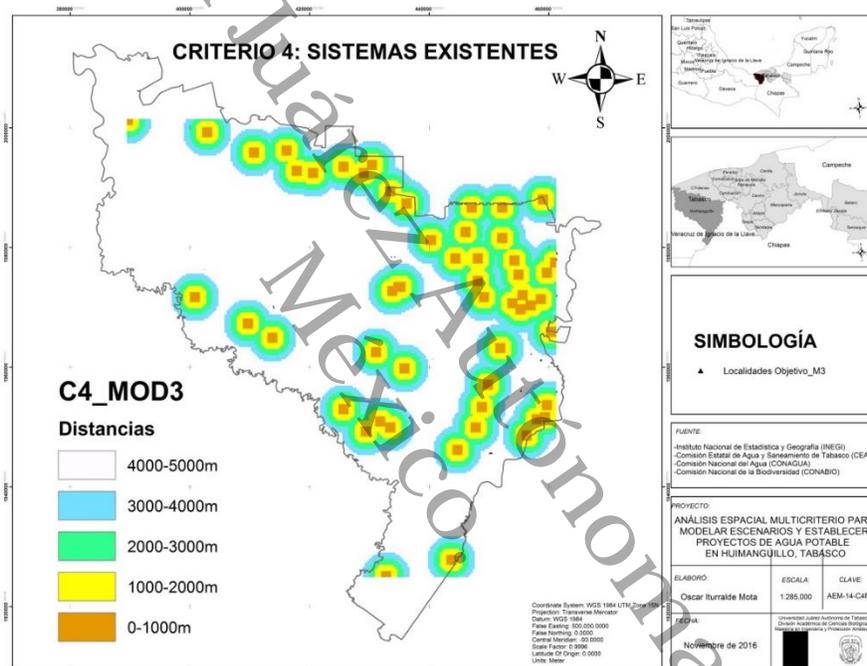


Figura 21. Criterio 4 en modelación 3

Fuente: Elaboración propia con información vectorial y procesamiento en formato raster para reclasificación en escala de valor nominal en orden de importancia de 1 a 5.

Ponderación porcentual

Los pesos porcentuales otorgados a cada uno de los 4 criterios descritos previamente (tabla 12), modifican el escenario a modelar, quedando identificadas las 5 zonas de interés en donde se organizan las localidades dependiendo del valor final de la superposición ponderada (Weighted Overlay) identificados en la figura siguiente:

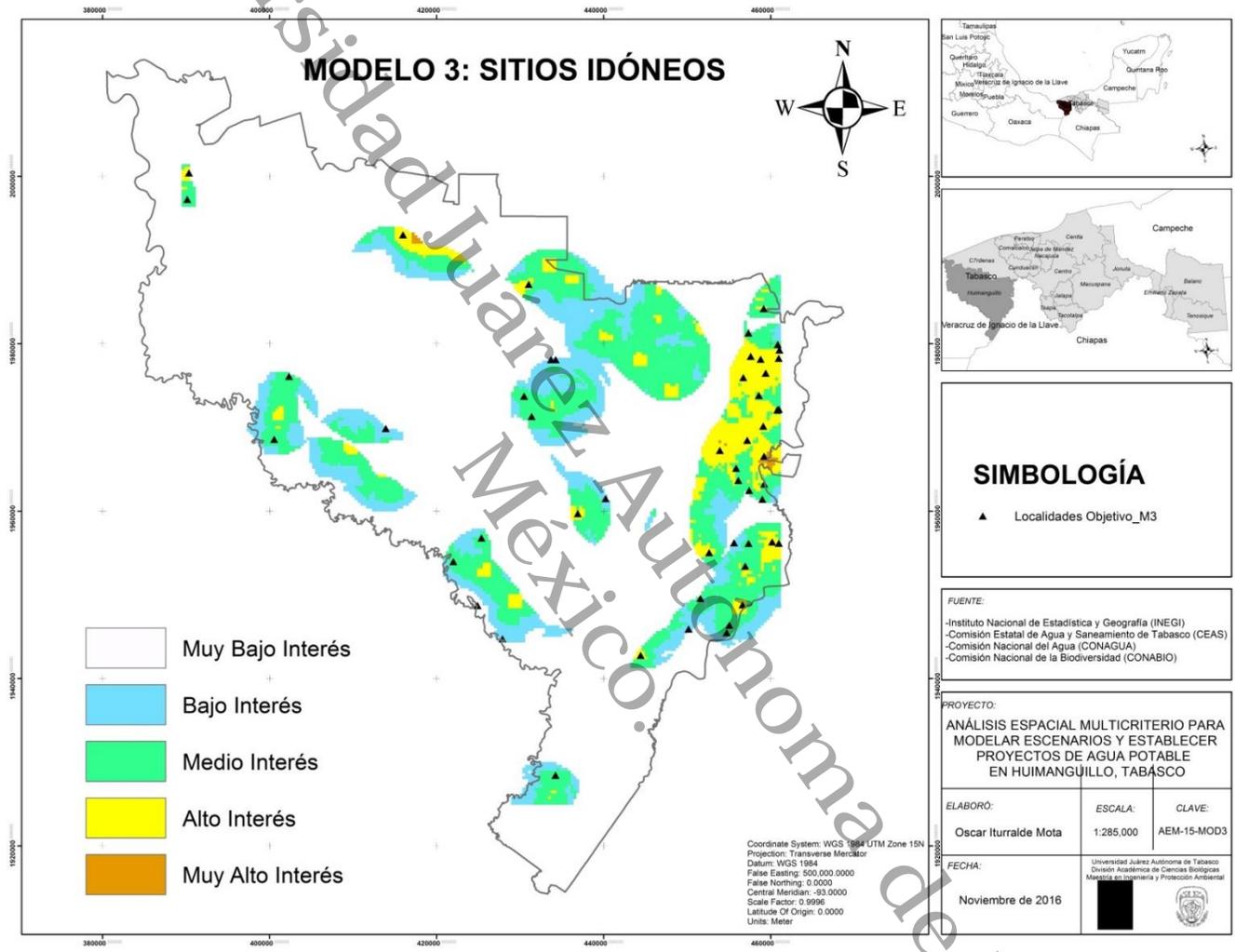


Figura 22. Modelación del Escenario 2

Nota: Pesos ponderados en porcentaje, Carretera= 20%, Cuerpos de agua perenne= 10% Y Densidad de Población= 70%. Fuente: Modelación realizada por la sobreposición de pesos ponderados (Weighted overlay) en Spatial Analyst Tools. ArcGIS 10.2.2.



Es notable observar que en esta modelación, se incrementan las probabilidades de beneficiar a más personas ubicadas en sitios idóneos catalogados como de Muy alto Interés, que representaría el 31.9% del total de personas incluidas en este escenario.

Tabla 13. Resumen de resultados de modelación 3

Zona de interés	Cuenta de localidades	Suma de Población Total (POB_TOT)	% Promedio de viviendas sin Agua (SAGUAE10)	Suma de Viviendas sin agua (VIVSAGUA)
1 Muy Bajo Interés	1	20	100.00	5
2 Bajo Interés	7	589	100	137
3 Medio Interés	23	6784	97.01	1540
4 Alto Interés	23	8359	95.64	1915
5 Muy Alto Interés	1	715	100	159
Otra Banda 2Da. Sección				
Total general	55	16467	96.93	3755

Notas

-Considerando una población total municipal de 178,674 habitantes

Fuente: Resumen de Intersección vectorial de zonas de Modelación de escenario 3 y Localidades Sin Servicio en más del 75% de las viviendas de cada localidad de la Base de Datos de Marginación-Organismo Operador.

Esta modelación potencializa la inclusión de infraestructura existente y las viviendas con mayor carencia de agua potable, lo cual desde el punto de vista técnico y operativo, es un factor a considerar en las alternativas para el incremento de la cobertura de abastecimiento de agua de la red pública.

Un aspecto apreciable del análisis multicriterio, es que en caso de la ampliación de sistemas existentes, bien pudiera considerarse sólo el radio de influencia (Tabla 14), sin contemplar aspectos que repercuten directamente sobre el costo del proyecto, como es el caso de las vías de comunicación o de la carencia de agua potable en las viviendas de cada localidad.



Tabla 14. Población beneficiada por radios de influencia de sistemas existentes

Radios de Influencia (metros)	Total de Localidades	Suma de POB_TOT
5000	1	20
4000	7	589
3000	23	6784
2000	23	8359
1000	1	715
Total general	56	16467

Fuente: Elaboración propia a través de la intersección de los radios de influencia de sistemas de agua existentes.

En términos generales, el optar por esta alternativa para el desarrollo de proyectos de agua potable, representaría incrementar 0.4% a la cobertura de abastecimiento de agua municipal. Pero que considerando el costo de oportunidad de los recursos para realizar inversiones en otros rubros, resulta atractiva esta alternativa, ya que el análisis de la identificación de sitios idóneos se especifica en una sola localidad que cumple con los criterios ponderados en la modelación.



VIII. Conclusiones y discusión

Es evidente que el procesamiento realizado en este proyecto de la información geográfica con técnicas de Evaluación Multicriterio adquiere una enorme relevancia en la innovación de estudios de análisis territorial, debido a que es uno de los enfoques más utilizados en el análisis de superposición para resolver problemas de varios criterios como lo es la selección de sitios idóneos y su correspondiente visualización espacial, generando valiosa información de soporte a los tomadores de decisión, específicamente en problemas de asignación de prioridades para el desarrollo de proyectos de abastecimiento de agua. En la actualidad, el uso de herramientas de análisis geográfico con enfoque al análisis de servicios urbanos, se presenta como un área de investigación de gran dinamismo al centralizar sus procesos metodológicos en la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Aunado a esto, la toma de decisiones relacionado con la ubicación de sitios idóneos, ha sido impulsado por la estandarización de procedimientos a través de la superposición cuantitativa de mapas y principalmente debido al avance que proponen las técnicas de evaluación multicriterio (EMC).

El primer objetivo específico de ésta investigación, estuvo orientado a la identificación de los criterios técnicos, geográficos y sociodemográficos necesarios para determinar los sitios óptimos para desarrollar sistemas de abastecimiento de agua potable, el cual fue posible realizarlo gracias a la vasta información con se cuenta de manera oficial así como aquella que se genera técnicamente en el organismo operador, los cuales estuvieron basados en el enfoque tradicional para la selección de localidades con potencial para implementar proyectos de abastecimiento del vital líquido, siendo los relacionados a las distancias a las principales vías de comunicación, cuerpos de agua permanentes, densidad de viviendas con carencia del servicio y lo relacionado a las zonas de influencia directa por sistemas de agua potable existentes. Es notable mencionar que esta última fuente originó actividades de geo procesamiento adicional para estandarizar



el enfoque geográfico de cada uno de los criterios, debido a que en el área técnica de la CEAS, los procedimientos de georreferenciación sólo se limita a vectores, es decir sin incluir la tabla de atributos como parte de la misma entidad, aunado a que dicho esquema es de reciente aplicación, lo que dificulta sustancialmente incluir proyectos con una antigüedad superior a 5 años. Lo anterior fue indispensable para la posterior integración y homologación de los factores, así como para su contraste y análisis geográfico.

Del punto anterior, se desprende el siguiente objetivo específico, es decir, la integración de una geobase de datos, para crear las representaciones de cada uno de los elementos o factores previamente identificados. Esto se realizó mediante el uso del esquema que utiliza la personal geodatabase del programa ArcMap de ArcGIS, en el cual a partir de la definición de su vector y posición geográfica en unidades métricas se organizaron en clases o *feature class* cuya compactación permite una fácil manipulación de la información. Cabe mencionar que también se generaron archivos con características de interoperabilidad, siendo elegido la extensión .shp (shapefiles).

Otro de los objetivos específicos fue modelar escenarios para la identificación de zonas potenciales para la elaboración de proyectos de agua potable en el Municipio de Huimanguillo, el cual se logró realizar el uso de las herramientas de análisis espacial del SIG, basados en procesos algebraicos como la intersección de geometrías, la determinación de distancias euclidianas, densidad de kernell, reclasificaciones numéricas en orden de importancia así como la de superposición ponderada en base a criterios definidos previamente. Y del cual surgieron productos resultantes, denominados “mapas” de fácil identificación para fungir como soporte de la estrategia elegida.

Cabe mencionar que un elemento interesante que se incluyó como organizador de los procesos geográficos a realizar en cada modelación, fue el Model builder, cuya función fue la de esquematizar las herramientas utilizadas así como los productos resultantes de ellas, facilitando su seguimiento y minimizando los errores por



pérdidas de datos durante su integración, lo cual simuló el uso de un mapa conceptual en el proceso de modelación. Esta herramienta informática, optimizó la múltiple modelación de los criterios, creando escenarios dependiendo de las variables otorgadas, radicando allí su eficacia.

Como resultado de los escenarios, se pueden hacer las siguientes conclusiones parciales: Las localidades identificadas como idóneas o de alto/muy alto interés, aunque son el resultado de la múltiple evaluación de los expertos consultados y cumplen con la integración de las variables incluidas en la presente investigación, responden principalmente a tres criterios incluidos en el análisis: accesibilidad de los sitios, distancia a cuerpos de agua perennes y la carencia de agua potable en las viviendas; aunque de manera excepcional, también se incluyó el área de influencia de fuentes de abastecimiento existentes en el municipio. De igual manera, la mayoría de los sitios candidatos corresponden a localidades rurales con un promedio inferior a los 1,000 habitantes por asentamiento. Los sitios poseen accesos en buen estado, correspondiendo generalmente a caminos apropiados, que permiten un acceso expedito durante todo el año. Sin embargo, es importante considerar que, para acceder de manera completa a estos sitios, en algunas ocasiones, se deben recorrer varios kilómetros que en la mayoría de las veces no se encuentran habilitadas para el tránsito de vehículos pesados durante todo el año. Un punto relevante es que la totalidad de los sitios seleccionados se supuso el uso del derecho de vía para la instalación de la infraestructura de conducción y/o distribución, por lo que la utilización de estos sitios para las actividades de ejecución de infraestructura será indispensable hacer un análisis de factibilidad o en el mejor de los casos de proyecto ejecutivo.

En términos generales se concluye que, analizar espacialmente los criterios técnicos, geográficos y sociodemográficos para la localización de sitios óptimos/idóneos para el desarrollo de proyectos con fines de abastecimiento de



agua potable mediante las técnicas incorporadas en los Sistemas de Información Geográfica, como lo es la modelación de escenarios utilizando la superposición ponderada integrada en una geobase de datos, es viable como herramienta de soporte para la toma de decisiones en la orientación de los esfuerzos para realizar posteriores análisis de mayor rigor técnico, con la finalidad de disminuir la carencia de agua potable en las viviendas de alto y muy alto grado de marginación en una zona específica.

IX. Recomendaciones

Los criterios aquí utilizados no son limitativos, lo cual sugiere que cuando mejor se vayan especificando, mayor serán los factores a considerar, por lo que la ponderación de su importancia tendrá que ser estructurada de forma consensuada. En este sentido, es conveniente hacer las siguientes recomendaciones:

- Es necesario impulsar acciones para la geo rectificación de los trazos en campo de cada uno de los componentes de los sistemas existentes de agua potable en el municipio, especialmente en las redes de distribución y sus respectivos cruceros, así como de las piezas especiales, lo que facilitará el desarrollo de estrategias encaminadas a improvisar las eficiencias técnicas y/o comerciales de este tipo de proyectos.
- Utilizando el esquema seguido en esta investigación, sería conveniente aplicarlo a los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, con la finalidad de ampliar la geo base de datos.
- Con fines de coadyuvar a que los datos georreferenciados estén disponibles para los técnicos y tomadores de decisiones en general, se recomienda analizar la posibilidad de integrar el esquema desarrollado en ésta investigación basado en una plataforma web o en sistemas de información geográfica internos dentro del organismo operador, que permita verificar la mejora en eficiencias de diseño y/o administración de los sistemas a través de los indicadores adecuados.



- Por último, es recomendable que en los proyectos de agua a desarrollarse, el Organismo Operador, haga modificaciones estratégicas a los términos de referencia para que orienten a los contratistas y personal técnico al interior de la dependencia, para que la generación de archivos mantenga una condición de confiables e interoperables.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



X. Literatura citada

"CRP+L Tabasco". (2011). *Sistema de Información Geográfica (SIG) básico para el municipio de Cunduacán, Tabasco*. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de http://www.cinu.mx/minisio/Programa_Conjunto_Agua/Informe_final_SIG_Cunduac%C3%A1n_21-Feb-2011_GMP-DJR.pdf

Alegre et al. (2006). *Performance Indicators for water supply Services* (2da ed.). Londres: IWA. Recuperado el 20 de junio de 2015, de http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/2431LQ3DKG76DEGGILURAJF89RFCEQ.pdf

Arancibia Pérez, H. (2002). *Técnicas Geomáticas para el Apoyo cartográfico de proyectos de Ingeniería en sus diferentes etapas*. Universidad de Santiago de Chile. Obtenido de http://www.cartografia.cl/download/arancibia_perez_hernan.pdf

Arctur, D., & Zeiler, M. (2004). *Designing Geodatabase: Case Studies in GIS Modelling*. California. USA: Esri Press.

Arroyo, V., Ballesteros, M., & Mejía, A. (2015). *Inseguridad Económica del Agua en Latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad*. Corea: VII Foro Mundial del Agua : CAF. Banco de Desarrollo de América Latina.

Barba-Macías, E., Rangel-Mendoza, J., & Ramos Reyes, R. (2006). Clasificación de los humedales de Tabasco mediante Sistemas de Información Geográfica. *Universidad y Ciencia, trópico húmedo*, 22(2), 101-110. Recuperado el 22 de junio de 2015, de <http://132.248.10.25/era/index.php/rera/article/view/313>



- Bastiaansse, W., Tahir, Z., Kijne, J., Barker, R., & Molden, D. (2003). Upscaling water productivity in irrigated agriculture using remote-sensing and GIS technologies. *Water productivity in agriculture*, 289-300.
- Caballero Potenciano, V., & Pérez Sánchez, E. (2013). Importancia del análisis de la interacción Espacio-temporal de la expansión urbana y los eventos de inundación en el Municipio de Centro, Tabasco, México. *kuxulkab*, 19(36). Recuperado el 24 de junio de 2015, de <http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/338/261>
- Camacho Vazquez, H. I., Fernández Ordoñez, Y. M., Soria Ruiz, J., & Escalona Maurice, M. J. (2015). Enfoque metodológico para la construcción de una Geobase como apoyo a la investigación en agricultura y recursos naturales. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*(87), 39-50. doi:dx.doi.org/10.14350/rig.37303
- Catari, X. (2012). DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL CON USO DE SOFTWARE LIBRE. *Terra Nueva Etapa*, 28(44), 11-38. Obtenido de http://portal.ucv.ve/fileadmin/user_upload/cenamb/Desarroll_SIG_softw_libre_xavier.pdf
- CEAS. (Primer trimestre de 2015). ceas.tabasco.gob.mx/. Recuperado el 09 de Octubre de 2015, de <http://ceas.tabasco.gob.mx/sites/all/files/sites/ceas.tabasco.gob.mx/fi/Organograma%20CEAS%203er%20Trimestre%202015.pdf>
- Chakdar, S., & Mousseau, V. (2008). *MULTICRITERIA SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEMS*. Dauphine, France: University of Paris. Recuperado el 25 de Junio de 2015, de LAMSADE: <http://www.lamsade.dauphine.fr/mcda/biblio/PDF/ChakharMousseauInbook2007a.pdf>



CONAGUA. (2007). Datos Básicos. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Distrito Federal, México: CONAGUA.

CONAPO. (2011). *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010, Primera edición*, 311. Distrito Federal, México: CONAPO. Obtenido de http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/mf2010/CapitulosPDF/1_4.pdf

CONAPO. (2012). *Consejo Nacional de Población*. Obtenido de Índice de Marginación por Localidad 2010: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/2010/basedatos/baseentidad.xlsx

CONAPOb. (2012). *Base de datos del Índice de Marginación a nivel localidad 2010*. México, D.F: CONAPO.

CONEVAL. (2010). *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social*. Recuperado el 11 de Junio de 2015, de <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/IRS/Paginas/%C3%8Dndice-de-Rezago-social-2010.aspx>

CONEVAL. (2010). LINEAMIENTO y criterios generales para la definición, identificación y medición de la pobreza. Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social [CONEVAL]. (Julio de 2013). *Medición de la pobreza en México y en las Entidades Federativas 2012*. Obtenido de <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/MP/Paginas/Metodologia.aspx>

Consejo Nacional de Población y Vivienda [CONAPO]a. (2012). *Índice de Marginación por localidad 2010*. México, DF: Consejo Nacional de Población y Vivienda. Recuperado el 20 de junio de 2015, de



http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/2010/documentoprincipal/Capitulo01.pdf

Cortés, F., & Vargas, D. (2011). Marginación en México a través del tiempo: a propósito del Índice de CONAPO. *Estudios Sociológicos*, 361-387. Recuperado el 03 de abril de 2015, de http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/95CBM23V2SSVCHHP6E1CVR5Y2T1IRX.pdf

Coutinho Rodrigues, J., Simao, A., & Antunes, C. (2011). A GIS based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, 51(3), 720-726. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923611000698>

Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, 51(3), 720-726. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923611000698>

Cruz A, C., & Martínez C, C. (2015). El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. *CULCyT*, 31.

Esri. (2011). *ESRI Developer Network EDN*. Obtenido de Geodatabase design steps: <http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/welcome.htm>

Esri. (12 de Enero de 2012). *Tutorial de Geodatabase*. Obtenido de http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/pdf/tutorial_building_a_geodatabase.pdf

Esri. (2015). *ArcGis for desktop*. Obtenido de ArcMap. Almacenamiento de geodatabase en bases de datos relacionales: <http://desktop.arcgis.com/es/desktop/latest/manage-data/gdb-architecture/geodatabase-storage-in-relational-databases.htm>



- Ferretti, V. (2016). From stakeholders analysis to cognitive mapping and Multi-Attribute Value Theory: An integrated approach for policy support. *European Journal of Operational Research*, 253(2), 524-541.
- Gobierno del Estado. (21 de Mayo de 2005). Ley de Usos del Agua del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México: Periódico Oficial del Estado.
- Gobierno del Estado de Tabasco. (2014). *Programa Especial de La Comisión Estatal de Agua y Saneamiento 2013-2018*. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Villahermosa, Tabasco: Talleres gráficos de Gobierno del Estado. Recuperado el 11 de Junio de 2015, de <http://spf.tabasco.gob.mx/sites/all/files/sites/administracion.tabasco.gob.mx/files/05-PROGRAMA-ESPECIAL-DE-CEAS.pdf>
- Green, R., Devillers, R., Luther, J., & Eddy, B. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography Compass*, 5, 412–432. doi:10.1111/j.1749-8198.2011.00431.x
- INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Recuperado el 03 de Junio de 2015, de http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=27875
- INEGI. (22-23 de marzo de 2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de Dirección General de Geografía y Medio Ambiente: http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/15-%20imagenes_digitales_ortorectificadas_fotogrametricamente.pdf
- INEGI. (2013). Marco Geoestadístico Nacional 2013 (Inventario Nacional de Viviendas 2012). México.
- INEGI. (diciembre de 2015). *Imágenes del Territorio*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ortofoto/>



INEGI. (Enero de 2015). *Mapa Digital de México*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>

Inga, O. (2010). La geomática y el Catastro como Herramientas para el Desarrollo Local: Experiencias del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador-IERSE. *Catastro: formación, investigación y empresa: Selección de ponencias del I Congreso Internacional sobre catastro unificado y multipropósito* (págs. 663-672). Jaén, España: Universidad de Jaén.

Kiker, G. A., Bridges, T., Varghese, A., Seager, T., & Linkov, I. (2005). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated environmental assessment and management*, 1(2), 95-108. Obtenido de http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1897/IEAM_2004a-015.1/full

López, P., Zequeira Larios, C., & Campillo Gama, L. (2008). Aplicación de un SIG para ubicar e identificar las zonas de interés turístico y la Infraestructura en la Reserva Ecológica Cascadas de Reforma, Balancán, Tabasco. *Semana de Divulgación y Video Científico* (págs. 173-178). Villahermosa, Tabasco: UJAT. Obtenido de Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Lutz Ley, A. N., & Salazar Adams, A. (2011). Evolución y perfiles de eficiencia de los organismos operadores de agua potable en México. *Estudios demográficos y Urbanos*, 26(3), 563-599. Recuperado el 23 de abril de 2015, de http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/2431LQ3DKG76DEGGILURAJF89RFCEQ.pdf

Makropoulos, C., Butler, D., & Maksimovic, C. (2003). Fuzzy logic spatial decision support system for urban water management. *Journal of water Resources Planning and Management*, 129(1), 69-77. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de http://www.researchgate.net/profile/Christos_Makropoulos/publication/24888



0073_Fuzzy_Logic_Spatial_Decision_Support_System_for_Urban_Water_Management/links/53d112c70cf2f7e53cfbc6e5.pdf

Martínez Solano, F. J. (2002). Aplicación de los sistemas de información geográfica a la gestión técnica de redes de distribución de agua potable [Tesis doctoral]. *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión técnica de redes de distribución de agua potable*. Valencia, España: Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/46025

McDaniels, T., Gregory, R., & Fields, D. (1999). Democratizing risk management: Successful public involvement in local water management decisions. *Risk analysis*, 19(3), 407-510. Obtenido de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1539-6924.1999.tb00424.x/full>

Mena F, C., Morales H, Y., Gajardo V, J., & Ormazábal R, Y. (2007). Análisis Geoespacial de Servicios Básicos para las Viviendas de Longaví, Retiro y Parral, Región del. *Panorama Socioeconómico*, 25(35), 106-116. Recuperado el 25 de Junio de 2015, de <http://www.redalyc.org/pdf/399/39903503.pdf>

Mena, C., Ormazábal, Y., Llanos, J. L., & Díaz, J. (2007). Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para Mejorar la Gestión del Agua de Riego del Embalse Convento Viejo, Chile. *Agricultura Técnica*, 67(1), 49-59. Recuperado el 2015 de junio de 2015, de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072007000100006&script=sci_arttext&tlng=pt

Meng, Y., & Malczewski, J. (2015). A GIS-based multicriteria decision making approach for evaluating accessibility to public parks in Calgary, Alberta. *Human Geographies*, 9(1), 29.

Miranda Aragón, L. (2013). *Monitoreo de la deforestación mediante técnicas geomáticas en una porción de la Región Centro-Norte de México (Doctoral Dissertation)*. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.



- Mosadegui, R., Warnken, J., Tomlinson, R., & Mirfenderesk, H. (2015). Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. *Computers, Environment and Urban Systems*(49), 54-65.
- Mysiak, J., Giupponi, C., & Rosato, P. (2005). Towards the development of a decision support system for water resource management. *Environmental modelling & software*(20), 203-214. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815204000386>
- Niaraki, A., & Kim, K. (2009). Ontology based personalized route planning system using a multi-criteria decision making approach. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2250-2259. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417407006902>
- PLED. (2013-2018). *Plan Estatal de Desarrollo*. Villahermosa, Tabasco: Gobierno del Estado de Tabasco.
- PNUMA. (2003). *Metodología para la elaboración de los informes GEO Ciudades*. México, DF: GEO-ALC del PNUMA. Recuperado el 24 de mayo de 2016, de www.rolac.unep.mx/dewalac/esp
- Power, D. (2008). Decision support systems: a historical overview. En *Handbook on Decision Support Systems* (págs. 121-140). Springer Berlin Heidelberg.
- Reyna Bensusán, N. (2011). *Retos de la Gestión Sustentable de los servicios de agua y saneamiento en comunidades rurales. Caso de estudio de Tacotalpa, Tabasco*. México, D.F.: Naciones Unidas-CEPAL. Recuperado el 18 de junio de 2015
- Reyna, N. (2011). *Retos de la Gestión Sustentable de los servicios de agua y saneamiento en comunidades rurales. Caso de estudio de Tacotalpa, Tabasco*. México, D.F.: Naciones Unidas-CEPAL. Recuperado el 18 de junio de 2015



- Rivera Hernández, B., Aceves Navarro, L., Juárez López, J., Palma-López, D., González-Mancillas, R., & González-Jiménez, V. (2012). Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(1), 29-47. Obtenido de <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2012/enero/2.pdf>
- Sánchez Hernández, R., Mendoza Palacios, J. D., De la Cruz Reyes, J. C., Mendoza Martínez, J. E., & Ramos Reyes, R. (2013). Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG. *Universidad y Ciencia*, 29(2), 153-161. Recuperado el 25 de Junio de 2015, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792013000200005&script=sci_arttext
- Santhi, C., Muttiah, R., Arnold, J., & Srinivasan, R. (2005). A GIS-Based Regional Planning for Irrigation demand Assessment and saving using SWAT. *Transactions of the ASAE*, 48(1), 137-147. Obtenido de <http://naldc.nal.usda.gov/naldc/catalog.xhtml?id=5474>
- Santhi, C., Muttiah, R., Arnold, J., & Srinivasan, R. (2005). A GIS-based regional planning tool for irrigation demand assessment and savings using SWAT. *Transactions of the ASAE*, 48(1), 137-147.
- SEGOB. (2004). *LEY GENERAL DE DESARROLLO SOCIAL*, 21. Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 05 de Junio de 2015, de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/264.pdf>
- Sener, E., Davraz, A., & Ozcelik, M. (2005). An Integrated of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 13(5-6), 826-834. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007/s10040-004-0378-5>
- SNIEG. (20 de Febrero de 2014). Principios y Buenas Prácticas para las Actividades Estadísticas y Geográficas del SNIEG. México: Publicación



propia del INEGI. Obtenido de
<http://www.snieg.mx/contenidos/blogforo/docforos/Buenas%20pr%C3%A1cticas%20estad%C3%ADsticas%20y%20geogr%C3%A1ficas%20del%20SNI EG%20240214.pdf>

Tapia Silva, F. O., Nuñez, J., & López López, D. (2007). Using SRTM DEM, LANDSAT ETM+ Images and a Distributed Rainfall-Runoff Model to Define Inundation Hazard Maps on Urban Canyons. *Proceedings 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment*. San José, Costa Rica.

Tapia-Silva, F. (2014). Avances en geomática para la resolución de la problemática del agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 131-148. Recuperado el 23 de Junio de 2015, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n2/v5n2a9.pdf>

Tello, E. (2007). Las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) y la brecha digital: su impacto en la sociedad de México. *Universities and Knowledge Society Journal*, 4(2), 8.

Torres, M., Nuño, P., & Hernández Z. (2011). Análisis de la marginación de los servicios de agua potable y alcantarillado a partir de datos del Censo General de Población y Vivienda 2000. *Coloquio: Mesa de trabajo Planeación Estratégica y Dirección de Tecnologías*. Puebla, Puebla, México: Universidad Popular Autónoma de Puebla.

Universidad de Murcia. (2006). *SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia*. Obtenido de Tema 9: <http://www.um.es/geograf/sigmur/>

Vahidria, M., Alesheikh, A., & Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Journal of environmental management*, 90(10), 3048-3056. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709001327>



Vela H, M., Flores L, G., & Campa E, E. (2015). Análisis cualitativo de la medición multidimensional de la pobreza en México. *Economía Informa*(395), 22-34.

World Health Organization; UNICEF. (2012). *Progress on drinking water and sanitation. Joint Monitoring Programme update 2012*. Switzerland: World Health Organization.

Yoe, C. (2002). Obtenido de Trade-off analysis planning and procedures guidebook: <http://www.iwr.usace.army.mil/iwr/pdf/tradeoff.pdf>.

Zavala Cruz, J., Salgado García, S., Marín Aguilar, Á., Palma López, D. J., Castelán Estrada, M., & Ramos Reyes, R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 123-137. Recuperado el 25 de Junio de 2015, de www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200004&lng=es&tlng=es



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

XI. ANEXOS



**X.1. Localidades del
Municipio de
Huimanguillo,
Tabasco**

1. Huimanguillo
2. Alto Amacohíte 3Ra. Sección (Kilómetro 32)
3. Amacohíte 1ra Sección
4. Amacohíte 2Da. Sección
5. La Arena 1ra Sección
6. Blasillo 1ra Sección (Nicolás Bravo)
7. Caobanal 1ra Sección (Mezcalapa)
8. La Ceiba 1ra Sección
9. Central Fournier 1ra Sección (El Coleto)
10. Chicoacán
11. Chontalpa (Estación Chontalpa)
12. El Desecho 1ra Sección
13. El Desecho 2Da. Sección
14. Economía
15. Emiliano Zapata (Chichonal de la Boyería)
16. El Encomendero
17. Las Flores
18. Francisco I. Madero
19. Francisco J. Santamaría 1ra Sección
20. Francisco Martínez Gaytán
21. Francisco Rueda
22. Francisco Sarabia
23. Gilberto Flores Muñoz 2Da. Sección
24. Gregorio Méndez 2Da. Sección
25. Guadalupe Victoria
26. Güiral Y González 1ra Sección
27. Güiral Y González 2Da. Sección
28. Huapacal 1ra Sección
29. Ignacio Gutiérrez 3Ra. Sección
30. Ignacio Gutiérrez 1ra Sección
31. Ignacio Gutiérrez 2Da. Sección
32. José María Pino Suárez 1ra Sección
33. José Mercedes Gamas 2Da. Sección
34. José Narciso Roviroso
35. Laguna de los Limones
36. Libertad
37. Macayo Y Naranjo 1ra Sección
38. Macayo Y Naranjo 2Da. Sección
39. Macayo Y Naranjo 3Ra. Sección (San Agustín)
40. Malpasito
41. Manuel Sánchez Mármol
42. Mecatepec
43. Monte de Oro 1ra Sección
44. Los Naranjos 1ra Sección (Campechito)
45. Los Naranjos 2Da. Sección
46. Ocuapan
47. Otra Banda 3Ra. Sección
48. Otra Banda 1ra Sección
49. Otra Banda 2Da. Sección
50. Palo Mulato (Zapotal)
51. Paredón 1ra Sección
52. Paso del Rosario
53. Pedregal Moctezuma 1ra Sección
54. Pedregal Moctezuma 2Da. Sección (Leyva)
55. Pedregal Moctezuma 1ra Sección
56. Pedregalito 1ra Sección
57. Pejelagartero 1ra Sección (Plataforma)
58. La Vencedora
59. Pico de Oro 1ra Sección
60. El Puente 1ra Sección
61. El Puente 2Da. Sección
62. Río Seco Y Montaña 1ra Sección
63. Río Seco Y Montaña 2Da. Sección
64. San Fernando
65. San Manuel
66. Tecominoacán
67. Tierra Colorada 2Da. Sección (Silbarán)
68. Tierra Nueva 1ra Sección
69. Tierra Nueva 2Da. Sección
70. Tierra Nueva 3Ra. Sección
71. Tres Bocas 1ra Sección
72. La Venta
73. Venustiano Carranza
74. Villa Flores 1ra Sección
75. Villa Flores 2Da. Sección
76. Estación Zanapa
77. C-31 (General Francisco Villa)
78. C-32 (Licenciado Francisco Trujillo Gurría)
79. C-34 (Licenciado Benito Juárez García)
80. C-40 (Ernesto Aguirre Colorado)
81. C-41 (Licenciado Carlos A. Madrazo)
82. La Arena 2Da. Sección
83. Ostitán 1ra Sección
84. Ostitán 2Da. Sección
85. Benito Juárez 1ra Sección
86. Marcelino Inorrueta de la Fuente
87. Gregorio Méndez
88. Río Pedregal
89. Unidad Modelo Sábana Larga
90. Aquiles Serdán 1ra Sección
91. Benito Juárez
92. Caobanal 2Da. Sección
93. Cuauhtémoc
94. Chimalapa 1ra Sección
95. Chimalapa 2Da. Sección
96. El Guanaj
97. Gustavo Díaz Ordaz 1ra Sección
98. La Candelaria
99. La Soledad 1ra Sección
100. Las Piedras
101. Carlos A. Madrazo
102. Las Girdaldas
103. Miguel Hidalgo Y Costilla
104. Ostitán 1ra Sección
105. Rafael Martínez de Escobar
106. Río Seco Y Montaña 3Ra. Sección (Chinal)
107. Villa de Guadalupe
108. Paso de la Mina 2Da. Sección (Barrial)
109. Paredón 2Da. Sección
110. Paredón 3Ra. Sección
111. Estación Martínez Gaytán
112. Aureo L. Calles
113. Santa Lucía
114. Ignacio Allende
115. Gustavo Díaz Ordaz 2Da. Sección
116. Zanapa 1ra Sección
117. Zanapa 2Da. Sección (El Tumbo)
118. Blasillo 2Da. Sección (Otates)
119. Tierra Colorada 1ra Sección
120. Paso de la Mina 3Ra. Sección
121. Los Naranjos 3Ra. Sección
122. José María Morelos Y Pavón
123. Central Fournier 2Da. Sección
124. Huapacal 2Da. Sección
125. Pico de Oro 3Ra. Sección
126. Paredón 1ra Sección (El Porvenir)
127. Paredón 2Da. Sección (Álvaro Obregón)
128. Blasillo 4Ta. Sección
129. El Cabrito
130. El Carmen
131. La Ceiba 2Da. Sección
132. El Chapo 1ra Sección
133. Chicoacán
134. Aquiles Serdán 2Da. Sección (Azucehita)
135. Francisco J. Mújica
136. Francisco Trujillo Gurría
137. Francisco Villa
138. José Mercedes Gamas 1ra Sección
139. Gregorio Méndez Magaña
140. Guadalupe Victoria



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



141. Ogarrio (Rancho de los Manzanilla)
142. Guerrero
143. Ignacio Gutiérrez 4Ta. Sección
144. José María Morelos Y Pavón
145. José María Pino Suárez
146. Luis Cabrera
147. Macabillito
148. Central Fournier 2Da. Sección
149. La Esperanza
150. El Paraíso
151. Pedregal Moctezuma 2Da. Sección
152. Pejelagartero 1ra Sección (Los Pinos)
153. Pico de Oro 4Ta. Sección (Pejelagartero)
154. C-25 (Isidro Cortés Rueda)
155. Ramírez
156. Las Giraldas
157. La Ceiba 1ra Sección (Ruiz Cortines)
158. Zapotal 1ra Sección (San Miguel)
159. El Suspiro
160. Tierra Colorada 3Ra. Sección
161. Tres Bocas 2Da. Sección (El Zapotal)
162. Esperanza del Bajío
163. Arriba Y Adelante
164. Licenciado Antonio Zamora Arrijoa
165. Miguel Alemán Valdez
166. Organización Campesina Cnc
167. Vieja Guardia Agrarista
168. Tembladera (Paso Viejo)
169. Laguna del Rosario
170. Paso de la Mina 1ra Sección
171. El Complejo
172. Nuevo Progreso
173. Pejelagartero 1ra Sección (Gpe. Victoria)
174. Pejelagartero 1ra Sección (Chichonal)
175. Pejelagartero 1ra Sección (El Filero)
176. Zapotal 4Ta. Sección (Zapotalito)
177. Zapotal 3Ra. Sección (El Corchal)
178. Pejelagartero 2Da. Sección (Nueva Reforma)
179. El Desecho 1ra Sección (Playa I)
180. El Dorado
181. La Trinidad
182. José María Pino Suárez 2Da. Sección
183. Chicoacán (Ampliación)
184. Monte de Oro 2Da. Sección
185. Los Naranjos
186. C-26 (General Pedro C. Colorado)
187. Paredón 1ra Sección (La Isla)
188. Celia González de Rovirosa
189. La Lucha
190. La Luz
191. Enrique Rodríguez Cano
192. Emiliano Zapata (Kilómetro 4)
193. Economía
194. Eduardo Alday Hernández
195. Gilberto Flores Muñoz
196. Panga Nueva (La Central)
197. Benito Juárez 2Da. Sección (Monte Alegre)
198. Ernesto Aguirre Colorado
199. La Lima (Tres Bocas)
200. San Alfredo
201. Caobanal 1ra Sección (La Victoria)
202. Pedro Sánchez Magallanes
203. Pejelagartero 2Da. Sección
204. Agapito Domínguez Canabal
205. Otra Banda 2Da. Sección
206. Pedro C. Colorado 3Ra. Sección
207. Samaria
208. Oaxaca
209. Grano de Oro
210. Francisco Martínez Gaytán 2Da. Sección
211. Gustavo Díaz Ordaz 3Ra. Sección
212. Tierra Nueva 4Ta. Sección
213. Las Granjas
214. José Narciso Rovirosa
215. Tío Moncho (Caobanal 1ra Sección)
216. Monte de Oro 3Ra. Sección
217. Río Seco Y Montaña 3Ra. Sección (Ampliación)
218. Rancho Alegre
219. Emiliano Zapata 2Da. Sección
220. Chicoacán 1ra Sección
221. San Manuel Tenerife
222. La Soledad 2Da. Sección
223. Santa Cruz
224. Poblado C-31
225. Poblado C-41
226. Pejelagartero 1ra Sección (Nuevo Progreso)
227. Zapotal 5Ta. Sección
228. Ignacio Gutiérrez 5Ta. Sección
229. Tres Bocas 3Ra. Sección
230. Tierra Colorada 4Ta. Sección
231. Enrique Rodríguez Cano
232. Tomás Garrido Canabal
233. El Carmen
234. Ignacio Allende (Chapingo)
235. Cuauhtémoc Y Palmira
236. Huapacal 3Ra. Sección
237. Mastelero
238. Los Naranjos 4Ta. Sección
239. Pedregalito 1ra Sección (Vicente Guerrero)
240. Pedro C. Colorado 1ra Sección
241. Pejelagartero 2Da. Sección (Jahuacte)
242. Poblado C-34
243. Río Pedregal 2Da. Sección (Guadalupe Victoria)
244. Roberto Madrazo Pintado
245. Salvador Neme Castillo
246. El Sauce
247. Tierra Nueva 1ra Sección (Las Palmas)
248. La Venta (El Cuatro)
249. Por la Moral de Un Presidente
250. Huapacal 4Ta. Sección
251. Francisco I. Madero (Los Naranjos)
252. Poblado C-31 Uno
253. Pejelagartero 1ra Sección (El Arroyito)
254. El Puente 2Da. Sección
255. Manuel Andrade Díaz
256. Palo Mulato Viejo
257. Santa Cecilia
258. Zapotal San Miguel 1ra Sección Ramal Uno
259. General Miguel Orrico de los Llanos
260. La Florida
261. La Trinidad



**X.2. Localidades con
Infraestructura de agua
potable administrada por la
CEAS**

1. Huimanguillo
2. Alto Amacohite 3ra. Sección (Kilómetro 32)
3. Blasillo 1ra Sección (Nicolás Bravo)
4. Caobanal 1ra Sección (Mezcalapa)
5. Chontalpa (Estación Chontalpa)
6. El Desecho 1ra Sección
7. Francisco J. Santamaría 1ra Sección
8. Francisco Martínez Gaytán
9. Francisco Rueda
10. Guadalupe Victoria
11. José María Pino Suárez 1ra Sección
12. José Narciso Rovirosa
13. Laguna de los Limones
14. Libertad
15. Manuel Sánchez Mármol
16. Mecatepec
17. Monte de Oro 1ra Sección
18. Los Naranjos 1ra Sección (Campechito)
19. Ocuapan
20. Palo Mulato (Zapotal)
21. 66
22. Pedregal Moctezuma 1ra Sección
23. Pedregal Moctezuma 2da. Sección (Leyva)
24. Pico de Oro 1ra Sección
25. El Puente 1ra Sección
26. Río Seco y Montaña 2da. Sección
27. San Fernando
28. San Manuel
29. Tecominoacán
30. Tierra Nueva 1ra Sección
31. Tierra Nueva 3ra. Sección
32. La Venta
33. Villa Flores 1ra Sección
34. Estación Zanapa
35. C-31 (General Francisco Villa)
36. C-32 (Licenciado Francisco Trujillo Gurría)
37. C-34 (Licenciado Benito Juárez García)
38. C-40 (Ernesto Aguirre Colorado)
39. C-41 (Licenciado Carlos A. Madrazo)
40. Benito Juárez
41. Caobanal 2da. Sección
42. Chimalapa 2da. Sección
43. El Guanal
44. Pejelagartero 1ra Sección (Los Pinos)
45. C-25 (Isidro Cortés Rueda)
46. Licenciado Antonio Zamora Arrijoa
47. Miguel Alemán Valdez
48. El Dorado
49. Chicoacán (Ampliación)
50. Monte de Oro 2da. Sección
51. C-26 (General Pedro C. Colorado)
52. La Luz
53. Emiliano Zapata (Kilómetro 4)
54. Pejelagartero 2da. Sección
55. Agapito Domínguez Canabal
56. San Manuel Tenerife
57. Zapotal 5ta. Sección



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.