



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“DISEÑO DE MICRORREGIONES DE PRODUCCIÓN RURAL EN EL MUNICIPIO DE TANTOYUCA, VERACRUZ UTILIZANDO EL MODELO p-MEDIANA”

TESIS

Qué Para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

presenta:

Ing. Javier Cruz Cruz

Director de tesis

Fabiola Sánchez Galván

**“DISEÑO DE MICRORREGIONES
DE PRODUCCIÓN RURAL EN EL
MUNICIPIO DE TANTOYUCA,
VERACRUZ UTILIZANDO EL
MODELO p-MEDIANA”**

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS DE POSGRADO

Tantoyuca, Ver., 03 de febrero de 2021

C. Javier Cruz Cruz
PRESENTE:

De acuerdo al dictamen emitido por el jurado asignado para la revisión de su Trabajo Profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE: Dra. Fabiola Sánchez Galván
SECRETARIO: M.C.C. Rogelio García Rodríguez
VOCAL: Dr. Leobardo Mendo Ostos
SUPLENTE: Dra. María Leonor Méndez Hernández

Y considerando que cumple con todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a usted la autorización para que proceda a imprimir su Trabajo de Posgrado para titulación por la:

Opción de "TESIS" cuyo nombre del trabajo es:

**"DISEÑO DE MICRORREGIONES DE PRODUCCIÓN RURAL EN EL MUNICIPIO DE TANTOYUCA,
VERACRUZ UTILIZANDO EL MODELO p- MEDIANA"**

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen de Grado de **Maestro en Ingeniería Industrial**, por lo cual deberá entregar al encargado de Titulación de Posgrado un ejemplar de su documento final de tesis empastado en color vino con letras doradas y cuatro CD's (debidamente rotulados) en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su LGAC al Centro de Información (Biblioteca).

Esperando que el logro del mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

ATENTAMENTE

Director Académico

C.c.p. Servicios Escolares.
Titulación de Posgrado

R02/0820

F.P. 02

III



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Tantoyuca, Veracruz a 03 de febrero de 2021

Yo, JAVIER CRUZ CRUZ, alumno (a) de la carrera de MAESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL, con número de control M18350001, por medio del presente declaro mi conformidad para ceder los derechos del proyecto: DISEÑO DE MICRORREGIONES DE PRODUCCIÓN RURAL EN EL MUNICIPIO DE TANTOYUCA, VERACRUZ UTILIZANDO EL MODELO p-MEDIANA, desarrollado en: INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA, durante el periodo comprendido del junio del 2019 a diciembre del año 2020 del cual declaro:

- Que es inédito
- Que es de mi autoría y me hago responsable por su contenido
- Que autorizo al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca para que, en el caso de que sea requerido pueda hacer uso libre de la totalidad del contenido del proyecto, para que sea desarrollado o divulgado en cualquier medio impreso o electrónico.
- El presente instrumento no contempla remuneración alguna por la transferencia de los derechos sobre dicho proyecto.

Lo anterior con el fin de que quede expresamente asentado mi consentimiento total a favor del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en todo lo relativo al proyecto en mención.

Para constancia firma:

JAVIER CRUZ CRUZ

Nombre y firma del(a) alumno(a)

Vo. Bo.

FABIOLA SÁNCHEZ GALVÁN

Nombre y firma del asesor interno.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Excepto cuando es implícitamente indicado en el texto, el siguiente trabajo de investigación fue realizado por el Ing. Javier Cruz Cruz, estudiante del programa de Maestría en Ingeniería Industrial de la Generación agosto 2018 - enero 2021. Las investigaciones obtenidas para esta tesis no han sido aplicadas anteriormente para obtener otros grados académicos, ni lo serán para tales fines en el futuro.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas, o datos del trabajo sin el permiso previamente del autor y/o director del mismo. Para obtener la información puede escribir a la siguiente dirección jccruz20@hotmail.com una vez obtenido el permiso deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ing. Javier Cruz Cruz

DEDICATORIA

∞ *A dios por darme la oportunidad de todo* ∞

A mis padres:

Nicasia y Francisco, que ha ellos debo la vida

A mi familia:

Mi esposa Salomé, mis hijos Alexa y Diego, grandes motivos para seguir adelante

Mis hermanos

Toño, Lorena, Lucas, Tito, Carlos, por su apoyo de cada uno incondicional y muestra de un ejemplo a seguir

Mis sobrinos

Lupe, tavo, florecita, chica, chucho, Kiko, por sus muestras de alegría y travesuras en casa

A mis amigos

Beto, Jona, Nora, Nely, Aranza, Mayra, Lessly, Zayda, por su apoyo incondicional durante toda la etapa M.I.I

A mis maestros

Fabiola, Horacio, Rogelio, Leonor, Leobardo, por sus enseñanzas, dedicación y esfuerzo, siempre con el objetivo de una mejor preparación.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por estar siempre apoyándome en cada decisión tomada, dándome ánimos para seguir adelante cumpliendo todos mis objetivos y metas.

A mis amigos por ese apoyo mutuo que siempre estuvieron ahí en cuanto surgía alguna duda y más que nada por ese apoyo verdadero de amistad.

A mis maestros, asesores de tesis, al departamento de posgrado de M.I.I. que sin su ayuda esto no sería posible, dándome un empujón más en mi carrera profesional.

Al Instituto Tecnológico superior de Tantoyuca, por haberme dado la oportunidad de seguir adelante con una meta más en mi vida y en mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el gran apoyo brindado durante toda la carrera de M.I.I. siendo un pilar en mi formación profesional.

Contenido

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
Resumen	XI
Abstract	XII
Introducción	1
CAPITULO 1	3
GENERALIDADES	3
1.1 CASO DE ESTUDIO	4
Organigrama Municipal Tantoyuca Veracruz	6
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos	8
1.4 JUSTIFICACIÓN	9
1.5 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	10
1.5.1 Hipótesis Nula	10
1.5.2 Hipótesis Alternativa	10
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROBLEMA	11
1.6.1 Alcances	11
1.6.2 Limitaciones	11
1.7 ESTADO DEL ARTE	12
Capitulo II	18
Marco teórico	18
2.1 GENERALIDADES	19
2.1.1 Ubicación de instalaciones:	19
2.1.2 Proximidad con los clientes:	19
2.1.3 Clima de negocios:	19
2.1.4 Costos totales:	19
2.1.5 Infraestructura:	19
2.1.6 Ubicación de las instalaciones de servicio:	20
2.1.7 Concepto de distancias	20

2.1.8	Definición de distancia	20
2.2	Concepto del problema de la p-mediana	20
2.3	Problema de localización de instalaciones.....	21
2.3.1	P-Centro	22
2.3.2	P-Mediana.....	22
2.4	Características del problema de la p-mediana	22
2.5	Formulación matemática	23
2.6	Ejemplo de ubicación en el área de PMP	24
2.7	Aplicaciones para el problema de la p-mediana.....	25
2.7.1	Facilidad de ubicación	25
2.8	Algoritmos de resolución del problema de las p-medianas	25
2.8.1	Algoritmos evolutivos.....	25
2.8.2	Búsqueda Dispersa	26
2.8.3	Búsqueda en Vecindarios Variables	26
2.8.4	K-Means	26
Capítulo III	.....	27
Marco metodológico	.....	27
3.1	Investigación	28
3.2	Tipo de investigación.....	28
3.3	Sujeto de estudio.....	28
3.4	Región de estudio.....	29
3.5	Métodos para la recopilar información.....	30
3.6	Elaboración de Matriz de distancias	30
Capítulo IV	.....	31
Marco operativo	.....	31
4.1	Descripción del municipio de Tantoyuca, Veracruz	32
4.1.1	Toponimia y escudo.....	32
4.1.2	Ubicación.....	32
4.1.3	Limites	33
4.1.4	Clima	33
4.2	Descripción Del Problema	33
4.3	Casos de estudio.....	34
Capítulo V	.....	36

5.1 Resultados y conclusiones	37
Anexos	38
Bibliografía	57
Abreviaturas / SIGLAS	61

Resumen

Este trabajo de investigación consiste en desarrollar una solución al problema de diseño de microrregiones de producción rural implementando el modelo de la p-Mediana, para el municipio de Tantoyuca Veracruz. Dicho modelo consiste en encontrar la mejor ubicación en un área, con oportunidades para las comunidades que se encuentran a sus alrededores. Este modelo se aplica, conociendo las distancias que hay entre una localidad con otra, las distancias se obtuvieron a través de coordenadas, (latitud y longitud) ejecutadas en la plataforma de google maps, dando como resultado una matriz de distancias. El problema pertenece a la categoría de problemas de optimización combinatoria, y se clasifica como un problema NP-Hard, es decir, no hay ningún algoritmo que garantice encontrar la mejor solución posible (solución óptima) en un tiempo polinomial. La consecuencia de este resultado es que es un problema difícil de resolver computacionalmente, ya que en tiempo de ejecución del método de solución crece exponencialmente con el tamaño del problema. Representando un reto de investigación. Desde la perspectiva práctica, una buena solución es muy importante ya que ayudaría a las empresas a distribuir mejor su área de trabajo de la mejor manera de acuerdo a sus criterios de planeación.

Abstract

This research work consists of developing a solution to the problem of designing micro-regions of rural production by implementing the p-Median model for the municipality of Tantoyuca Veracruz. This model consists of finding the best location in an area, with opportunities for the communities that are around it. This model is applied knowing the distances that exist between one locality with another, the distances were obtained through coordinates, (latitude and longitude) executed in the google maps platform, resulting in a matrix of distances. The problem belongs to the category of combinatorial optimization problems, and it is classified as an NP-Hard problem, that is, there is no algorithm that guarantees to find the best possible solution (optimal solution) in polynomial time. The consequence of this result is that it is a difficult problem to solve computationally, since at runtime the solution method grows exponentially with the size of the problem. Representing a research challenge. From a practical perspective, a good solution is very important, as it would help companies to better distribute their work area in the best way according to their planning criteria.

Introducción

Las poblaciones urbanas han sido un lugar de crecimiento y desarrollo económico, atrayendo un flujo continuo de migración desde el campo hacia las zonas urbanas. En la actualidad se implementan estrategias innovadoras que permite a la población ajustarse adecuadamente a las necesidades, con el objetivo de mejorar los tiempos de viaje y costos. El problema de la p-mediana consiste en encontrar la mejor configuración de instalaciones para atender de la mejor forma, la demanda de la población, sobre una comunidad que permita mejorar la competitividad con el objetivo de optimizar la rentabilidad (Bastías, Padilla, Ortega, & Oliva, 2010). La idea principal de una heurística es analizar todos los nodos, y reducir el número de variables de los que se compone un conjunto de elementos para una mayor detección en cada zona.

El modelo de la p-mediana consta de una amplia aplicación para diferentes campos, tanto en investigación operativa, como, en la cadena de la gestión de suministros, cumpliendo los requerimientos de planificación. Estos requerimientos satisfacen ciertas características de planeación definidas como la compactibilidad y la conectividad que definen el problema de ubicación y el equilibrio entre cada instalación.

El problema de la p- mediana está catalogado como un problema NP-hard, mencionado así debido que no se ha encontrado algún algoritmo que encuentre la solución óptima, considerado un problema difícil de resolver. Tomando en cuenta que una buena solución sería de gran importancia.

El municipio de Tantoyuca, se ubica en la zona norte del Estado de Veracruz, perteneciente a la región de la Huasteca Alta, conocida popularmente como “La Perla de las Huastecas” con alrededor de 633 localidades, y una población de 104,599 habitantes de acuerdo a los datos proporcionados (ONU, INFONAVIT, SEDATU, & CIDS, 2018).

En particular la marginación, falta de servicios de salud, infraestructura, trabajo, son algunos de los temas importantes que hacen resaltar la importancia de la investigación.

Con este trabajo se pretende ubicar instalaciones en zonas estratégicas del municipio de Tantoyuca, para poder utilizar en aplicaciones, como la industria, telecomunicaciones, transporte, distribución, entre otras, haciendo ejemplo objetos de interés como hospitales, estaciones de servicio, centros de almacenamiento, antenas, ubicados de tal manera que cubran cierto rango, con el propósito de beneficiar a los pobladores de las comunidades cercanas, mejorando la logística, así como el tiempo de los usuarios.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 CASO DE ESTUDIO.

Tantoyuca (en huasteco, Tam-tuyic) ubicado en la zona norte del Estado de Veracruz, perteneciente a la región de la Huasteca Alta, conocida popularmente como “La Perla de las Huastecas” con alrededor de 633 localidades, y una población de 104,599 habitantes de acuerdo a los datos proporcionados (CEIEG, 2019). Municipio que se presenta como objeto de estudio al presente trabajo, recabando datos obtenidos de la memoria municipal para mencionar, como antecedente histórico Tantoyuca fue fundada por los huastecos donde se conoció como villa el 12 de abril de 1850 y finalmente como ciudad el 25 de julio de 1901.

La superficie del municipio es de 1,303.3 kilómetros cuadrados, teniendo una densidad de población de 79.5 habitantes por cada kilómetro cuadrado. Por las características de sus localidades se considera como un municipio preponderantemente rural (Segob & Sefiplan, 2016).

Las principales actividades económicas del municipio se generan a partir del uso del suelo, Sus actividades principales son

Agricultura (maíz grano, frijol, naranja). Ganadería y Avicultura (bovino, porcino, ovino, caprino, ave, guajolotes) teniendo una superficie de 92,984.0 hectáreas dedicadas a la ganadería (Sedesol, 2017).

Los habitantes se dedican principalmente a la agricultura, ganadería, industria, comercio, quehaceres del hogar; así como al desempeño de diferentes profesiones: maestros de educación desde preescolar hasta instituciones de estudios superiores, licenciados en derecho, administración de empresas, educación básica, ingenieros civiles, arquitectos, agrónomos, sistemas computacionales , doctores en medicina general, especialistas ginecólogos, odontólogos, pediatras, técnicos en diferentes ramas, artesanos como carpinteros, torneros, plomeros, zapateros, talabarteros, (Gonzalez, 2010)

El clima que prevalece es Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (64%), y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (36 %), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (8%) y semicálido húmedo con abundantes lluvias en

verano (2%). Con un rango de temperatura de 22 a 26 °C, y un rango de precipitación de 100 - 1 300 mm. (CEIEG, SEFIPLAN, & SEGOB, 2015).

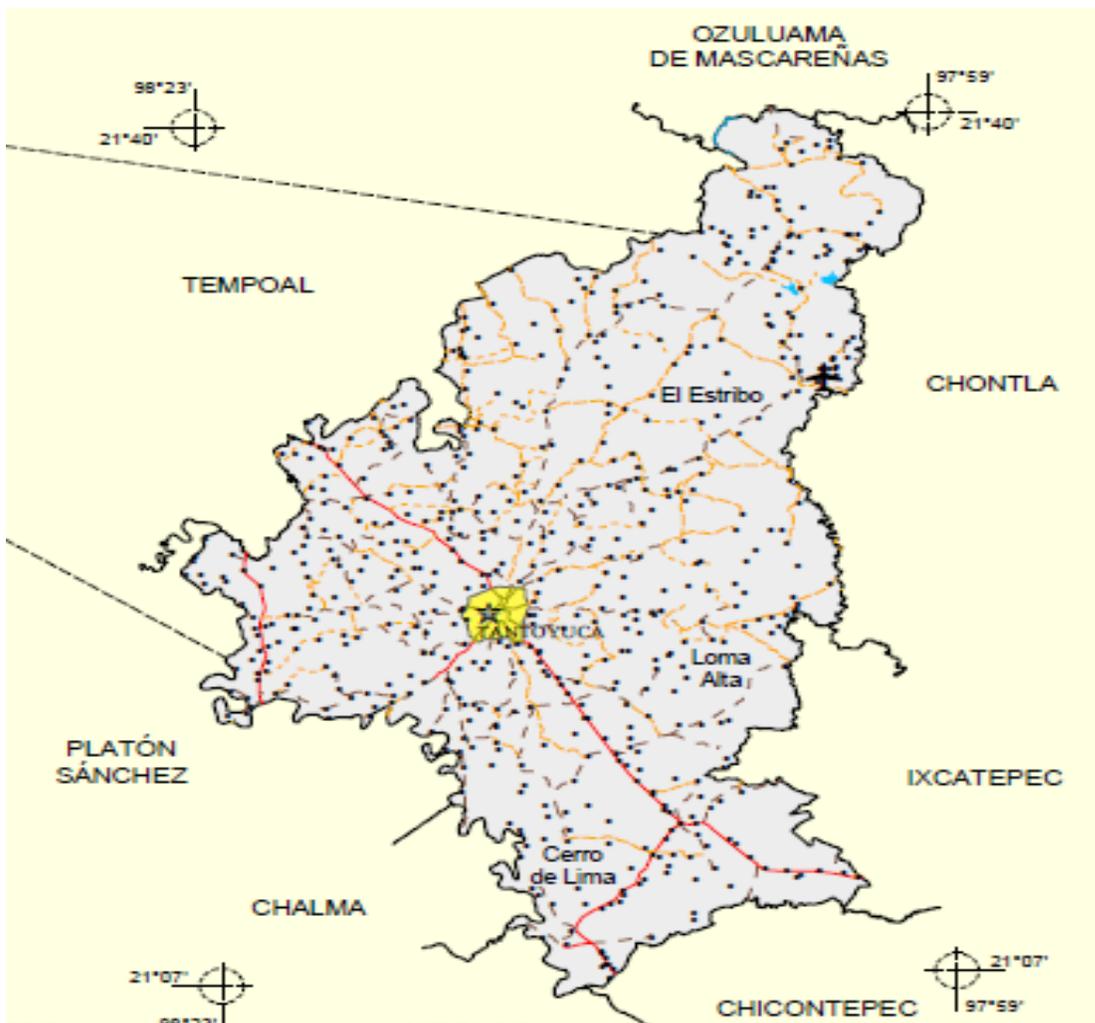


Figura 1: Municipio de Tantoyuca – ubicación

Fuente: INEGI. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie II y III.

El municipio de Tantoyuca se ubica entre los paralelos 21° 06' y 21° 40' de latitud norte; los meridianos 97° 59' y 98° 24' de longitud oeste; altitud entre 10 y 300 m. Colindando al norte con los municipios de Tempoal, Ozuluama de Mascareñas y Chontla; al este con los municipios de Chontla e Ixcatepec; al sur con los municipios de Ixcatepec, Chicontepec, el estado de Hidalgo y los municipios de Chalma y Platón Sánchez; al oeste con los municipios de Platón Sánchez y Tempoal. Ocupa el 1.81% de la superficie del estado (INEGI, 2009).

Organigrama Municipal Tantoyuca Veracruz

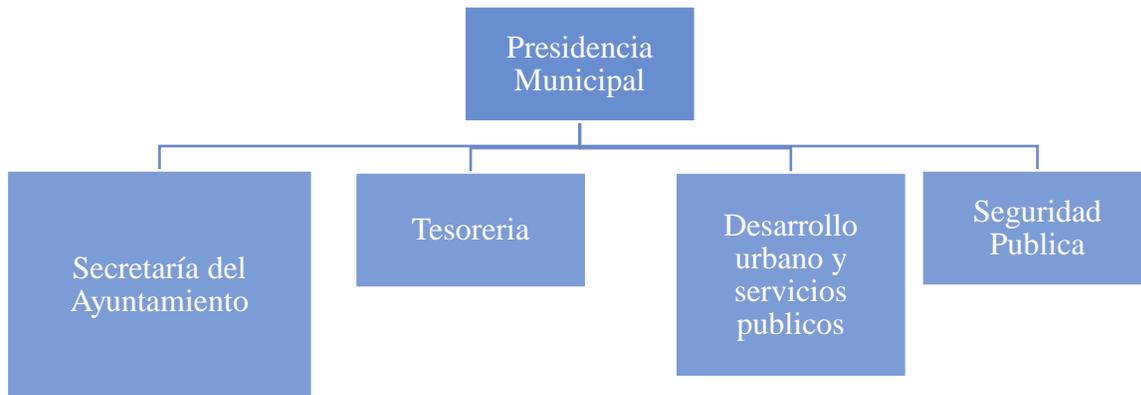


Figura 2: Organigrama

Fuente: H. ayuntamiento (2018) Tantoyuca, ver.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tantoyuca, Veracruz es uno de los municipios más representativos de la región con una extensión territorial de 1290 km² que representa aproximadamente el 1.7 % del territorio estatal, y una superficie urbana de 22.2 km² representando el 1.7 % del municipio (ONU et al., 2018). Tantoyuca, por ser cabecera es una zona con mayor atracción de población rural en toda la región.

Tantoyuca es un municipio con gran capacidad de producción ganadera como en agricultura, sin embargo, lamentablemente cada productor para poder comercializar sus productos está en la necesidad de trasladarse hasta la zona urbana. Debido a esta situación muchos de los pobladores de las zonas rurales prefieren perder sus productos o malbaratarlos que tener que pagar el viaje del campo a la ciudad, tomando en cuenta que no obtendrían algún margen de ganancia que los motive a salir.

Una ciudad prospera en términos de productividad garantiza la generación de empleos competitivos y bien remunerados, que permite la igualdad de oportunidades y la calidad de vida adecuada para la población. Desde la perspectiva espacial, este suministra de manera eficiente el suelo urbano y promueve su ocupación compacta, de tal forma que la

concentración de las actividades económicas, sociales y culturales, representen una ventaja competitiva para la generación de empleos e incremento de la productividad per cápita. La competitividad determina en gran medida aquellas ciudades que son capaces de atraer más empresas y, con ello, facilitar la creación de puestos de trabajo y aumentar los ingresos de sus ciudadanos.

Por lo anterior, y con el fin de favorecer la atracción de empresas, los planificadores y tomadores de decisiones tendrán que considerar factores territoriales que son definitorios para promover el desarrollo económico; factores fuertemente vinculados a proximidad y ordenación territorial.

La experiencia empírica pone en evidencia que elementos como la densidad, la distancia y (en algunos casos la diversidad/complementariedad) entre los centros de producción, resultan significativos para entender y definir los niveles de competitividad presentes en una ciudad. De hecho, estos tres elementos son subyacentes al concepto de “clúster”, entendido como un conjunto de empresas de un sector similar, próximas geográficamente y con distintos grados de cooperación y/o interacción. A escala regional, las empresas de autopartes y automotrices son un excelente ejemplo de lo anterior, puesto de manifiesto en distintas partes del país (Región Bajío, corredor Saltillo-Monterrey, entre otros).

Cabe mencionar que una densidad económica elevada está asociada a un aprovechamiento óptimo del suelo, y con repercusiones importantes en: i) la reducción de costos de transporte y energía; ii) la generación de ambientes propicios para la innovación, y iii) la reducción de costos de transacción debido a la proximidad geográfica entre empresas y proveedores.

En suma, la gestión del suelo y del territorio condiciona enormemente la competitividad de una ciudad en temas económicos, al dictaminar las condiciones que favorecerán mayores factores de proximidad y concentración entre empresas, así como de su acceso por parte de los trabajadores y consumidores. Por ello, y en contra a la práctica general, la planificación territorial y la planificación económica deberán estar siempre coordinadas y alineadas, reconociendo con esto su profunda complementariedad e interrelación.

Debido que no existe una planeación adecuada para el comercio de productos rurales, provoca que se generen los siguientes problemas.

El problema de abastecimiento a la zona urbana.

Mejores ingresos económicos.

Mejor estilo de vida a sus familias.

La presente investigación propone el problema de la p-mediana como método para encontrar y ubicar instalaciones, sea de gobierno o privado, como, hospitales, estaciones de servicio, centros de almacenamiento, que beneficie a la comunidad rural y urbana, ofertando la demanda local actual y futura para las regiones obtenidas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Elaborar un modelo de solución para la ubicación de instalaciones aplicando el problema de la p-mediana en el municipio de Tantoyuca, Veracruz, con el propósito de impulsar el desarrollo económico local del municipio.

1.3.2 Objetivos Específicos

Realizar una revisión de la literatura de los métodos implementados en la solución de problemas de la p-mediana.

Recabar información relevante del municipio Tantoyuca, Veracruz.

Identificar las variables de decisión que se utilizara en el modelo.

Diseñar el modelo matemático.

Programar el modelo matemático en el software de simulación.

Evaluar las distancias de cada ubicación y optar por las más conveniente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación es una herramienta diseñada como apoyo para la toma de decisión sobre, la ubicación de instalaciones, privados o de gobierno (Hospitales, antenas, escuelas, centros de emergencia, centros de abastecimiento, entre otros).

El problema de la p-mediana es un problema de optimización discreta bien conocido que tiene como objetivo ubicar un número de instalaciones que satisfaga la demanda de múltiples lugares con un costo mínimo, conocido como un problema de red diseñado originalmente, y se ha aplicado ampliamente a la ubicación de instalaciones, en el contexto de la cadena de suministro, la distribución de bienes desde almacenes descentralizados es más efectiva que la de un almacén central.

Con este trabajo de investigación se propone encontrar una solución al problema de la p-mediana, mediante la elaboración de matrices de distancia y la implementación de con una herramienta en Matlab R2017b, implementado la metaheurística SOMs (mapas autoorganizados). SOMs consiste en determinar una división de un conjunto de unidades ubicadas en un territorio que cumple con los criterios múltiples como la compatibilidad, la conectividad y el equilibrio en términos de cada comunidad rural.

El problema de la p-mediana pertenece a la categoría de problemas NP-hard, es decir, no hay ningún algoritmo que garantice encontrar la mejor solución posible (solución óptima) en un tiempo polinomial. La consecuencia de este resultado es que es un problema muy difícil de resolver computacionalmente, debido al tiempo de ejecución, el método de solución crece exponencialmente con el tamaño del problema. Representando un gran reto de investigación.

Los beneficios que se pueden obtener al encontrar la mejor ubicación de las instalaciones, son mejores utilidades, además la reducción de tiempos y gastos en la distribución de productos o servicios.

1.5 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La investigación se encuentra en una disposición de dos alternativas, planteando como primera opción la hipótesis nula, y en segunda opción la hipótesis alternativa, de este modo se comprueba que la opción que nos orille a tomar la investigación será el resultado que a continuación se menciona.

1.5.1 Hipótesis Nula

El desarrollo del problema de la p-mediana no tendrá un gran impacto para el municipio de Tantoyuca, Veracruz.

1.5.2 Hipótesis Alternativa

El desarrollo del problema de la p-mediana tendrá un gran impacto para el municipio de Tantoyuca, Veracruz.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROBLEMA

1.6.1 Alcances

Este proyecto de investigación, se desarrolla con el objetivo de encontrar la mejor ubicación de instalaciones, públicos o privados, para el municipio de Tantoyuca, Veracruz, a partir del problema de la p-mediana.

Una instalación bien ubicada, representaría un modelo de solución para el problema que existe en las comunidades rurales realmente alejadas de la zona urbana, evitando trasladarse hasta el municipio, esto conllevará a fortalecer el crecimiento, tanto, en desarrollo social como económico, minimizando el tiempo y costo.

1.6.2 Limitaciones

Dado que el tiempo requerido es un factor importante para la ubicación de las instalaciones, así como el rendimiento del sistema computacional para procesar una gran cantidad de datos, el trabajo se podría considerar en un trabajo a futuro.

1.7 ESTADO DEL ARTE.

En este apartado se presenta la búsqueda científica de artículos relacionados con investigaciones, que han sido desarrollados por otros autores, que brindaron un enfoque similar con el presente trabajo, el objetivo es básicamente resolver problemas con el modelo de la p-mediana, en cada investigación presentada se resume lo más importante que ha de contribuir en la elaboración de este trabajo.

(Tuba, Strumberger, Bacanin, & Tuba, 2018) mencionan, como el problema de la p-mediana tiene amplias aplicaciones en diferentes campos, como la investigación operativa y la gestión de la cadena de suministro, definiendo que pertenece a la clase NP-Hard, utilizaron esta herramienta para resolver un problema de p-mediano capacitado, con un algoritmo de fuegos artificiales en la última versión, para esto utilizaron datos de referencia con valores diferentes para p. obteniendo soluciones óptimas para todas las pruebas con la posibilidad de mejorar la velocidad de convergencia.

(Mu & Tong, 2019) propusieron un algoritmo informático con alto rendimiento, muestreo aleatorio y votación espacial como una heurística para resolver el problema de la p-mediana de gran tamaño, uno de los modelos de localización más utilizados en la planificación urbana y regional, además diseñaron una estrategia para evaluar los sitios de instalaciones candidatos para su inclusión en la obtención del resultado final del problema, encontrando la disposición espacial óptima de las instalaciones para que el viaje total de los clientes a las instalaciones más cercanas sea el mínimo

(Mazzetto, Pietracaprina, & Pucci, 2019) se enfocaron específicamente en los espacios métricos generales, centrándose en lo popular k-mediana y k-medias dado un conjunto de datos P. de puntos en un espacio métrico y un parámetro $k < |P|$ que requieren identificar un conjunto S. diseñaron construcciones de núcleos distribuidos y mostraron como emplearlos para producir algoritmos en el modelo computacional MapReduce de 3 rondas precisos y eficientes para k-mediana y k-medias, afirmando que ningún enfoque distribuido previo ha dado garantía de calidad y desempeño similares en espacios métricos generales.

(Bernabe, Gonzalez, Granillo, Romero, & Barrera, 2019) realizaron un trabajo de investigación, utilizando información con al menos un caso notificado de muertes durante el parto, con datos de 217 municipios del estado de Puebla, usando un algoritmo de búsqueda híbrido VNS / TABU para determinar la ubicación de un conjunto de unidades de atención médicas, entre las diferentes ubicaciones que puedan albergarlos. Los resultados experimentales sobre el punto de referencia y la aplicación a un caso real indican el potencial del enfoque propuesto, que puede producir buenos resultados. El algoritmo fue implementado en JAVA para un conjunto de instancias obteniendo soluciones con un rango de error de no más del 5% en el 70% de los casos.

(Güden & Süral, 2019) realizaron un trabajo sobre el modelo del problema dinámico de la p-mediana con instalaciones móviles e inmóviles en una empresa dedicada al ramo de la construcción, con el objetivo, determinar (i) los horarios de apertura y cierre (ii) la ubicación de las instalaciones (iii) las rutas de las instalaciones móviles (vi) la asignación de demandas a instalaciones abiertas en cada periodo minimizando el costo total. Desarrollaron un algoritmo de rama y precio y heurísticas constructivas, Utilizando el programa de resolución CPLEX, y una heurística MH miope, todas las heurísticas están codificadas en lenguaje de programación c++. Resolviendo el problema de manera óptima, teniendo como observación que la relación entre mayor el número de nodos y el número de instalaciones incide en la dificultad del problema en general.

(Köhn, Steinley, & Brusco, 2010) abordaron investigaciones de diferentes documentos para el modelo de la p-mediana, como una herramienta para agrupar datos psicológicos, mencionando métodos de relajación lagrangiana, métodos de recocido simulado, métodos de intercambio rápido de arranque múltiple, además un ejemplo donde agrupa diferentes tipos de alimentos, con el fin de que los investigadores en psicología comprendan la importancia de la agrupación basada en ejemplos de prototipos más comunes.

(Muñoz, Alfonso, & Toro, 2011) realizaron una línea de investigación con el problema de la p-mediana, para problemas de localización teniendo como objetivo calcular el costo total de todas las medianas y los usuarios, estableciendo la mejor ubicación de P centros para suplir una demanda o necesidad, haciendo una comparación del trabajo, dos técnicas de optimización combinatoria implementadas (Algoritmo Genético de CHU-BEASLEY y

Algoritmo Colonia de Hormigas), mostrando el desempeño de ambos métodos en varios casos de pruebas, obteniendo como resultado el Algoritmo Genético de CHU-BEASLEY presenta mejor desempeño que el Algoritmo Colonia de Hormigas.

(Gollowitzer, Gouveia, Laporte, Pereira, & Wojciechowski, 2014) estudiaron modelos con el problema de la p-mediana, familiarizados en ubicación-enrutamiento, presentando varias formulaciones antiguas y nuevas para el problema de p-mediana de Hamilton, concluyendo que una formulación basada en el espacio variable natural, en la p-mediana, y en las partición de conjuntos, son las más prometedoras.

(Erdoğan, Laporte, & Rodríguez Chía, 2016) estudiaron el problema de p-mediana de Hamilton con algoritmos y heurísticas exactos, por medio del método de ramificación y corte con una formulación mejorada, con experimentos computacionales en instancias de problema de la p-mediana, demostraron el rendimiento y alcance del algoritmo, observando que el algoritmo iterativo de búsqueda local es capaz de dar soluciones de alta calidad en un minuto, con una brecha de optimización promedio del 0.64%.

(Avella, Boccia, Salerno, & Vasilyev, 2012) realizaron investigaciones, con interés de análisis de conglomerados en el problema de la p-mediana (PMP), donde un conjunto de patrones debe dividirse en subconjuntos (conglomerados) de acuerdo a similitud. Presentaron una nueva heurística a gran escala basado en el modelo lagrangiana, los resultados muestran que el modelo puede calcular hasta instancias de 90,000 clientes con limites superior e inferior de buena calidad.

(Fathali & Zaferanieh, 2018) documentaron sobre los problemas de ubicación de las instalaciones con el equilibrio sobre la asignación de clientes a servidores. Consideraron un modelo bi-objetivo, que corresponde tanto al tiempo de transporte como al tiempo de servicio, en los que un objetivo es el tradicional p mediana o p máximo y el segundo es minimizar el volumen máximo de demanda. asignado a cualquier instalación. Se muestra la solución óptima de dos vértices finales del diámetro del árbol, que se pueden obtener en un tiempo lineal. Al final Muestran que al forzar la función objetivo de equilibrio a los modelos de la p-mediana y p-máxima, provoca casi una asignación equitativa de clientes a servidores.

(Lin & Guan, 2018) Propusieron una optimización de enjambre de partículas binarias híbridas (HBPSO) para resolver el desagradable problema de la p mediana, realizaron experimentos extensos con un conjunto de 72 instancias como referencia, desarrollando un procedimiento de reparación codicioso y un procedimiento de búsqueda local para mejorar la calidad de explotación, haciendo comparaciones con otros algoritmos este demuestra mayor eficiencia, encontrando mejores soluciones en 15 instancias llegando a la conclusión que el algoritmo propuesto es capaz de encontrar un mejor valor medio de la función objetivo en un tiempo de cálculo medio corto.

(L. Jánošíková, Herda, & Haviar, 2017) trabajaron en el contexto de servicio médico de emergencia (EMS). en sus estudios sugirieron dos formas de combinar el algoritmo genético (Ag) con la programación entera, mejorando la calidad de la solución del problema, aplicando el problema de p -mediana capacitado, como uno de los modelos que se puede utilizar para ubicaciones donde puede colocar estaciones de emergencia con una ambulancia, el objetivo es ubicar P estaciones en nodos del conjunto I con el fin de minimizar el tiempo total de viaje necesario para llegar a todos los pacientes potenciales, demostrando la combinación más apropiada es utilizar el método exacto basado en la programación matemática como técnica de procesamiento para mejorar la mejor solución encontrada por el AG. Con esta función pudo mejorar en un 6.43% en comparación con el AG puro con el mismo cruce.

(Canós Darós, Martínez Romero, & Mocholi Arce, 2005) realizaron una investigación con el problema generalizado de la p -centdiana, lo cual es una combinación de la p -mediana y p -centro, sobre una red en la que los pesos asociados al p -centro y a la p -mediana no son necesariamente iguales. proponiendo un algoritmo, que permitirá calcular este conjunto de puntos que está formado por 274 elementos, los cuales se añadieron 6 vértices más, obteniendo un conjunto dominante finito formado por 280 puntos en total.

(Resende & Werneck, 2004) presentaron una heurística híbrida para el problema de la p -mediana, combinado con elementos de varias metaheurística tradicionales para encontrar soluciones casi óptimas para este problema, con datos sobre instancias de la literatura afirman la robustez del algoritmo en términos de tiempo de ejecución y la calidad de la solución.

(Martí, Corberán, & Peiró, 2015) presentaron un nuevo algoritmo metaheurístico basado en búsqueda de dispersión para una variante NP-Hard del clásico problema de la mediana p-hub, este consiste en minimizar el costo de transporte del tráfico entre nodos de una red a través de instalaciones especiales que actúan como puntos de transbordo, además diseñaron métodos específicos para la resolución eficiente basado en búsqueda de dispersión.

De acuerdo a los experimentos computacionales de la literatura, este algoritmo muestra gran eficacia al encontrar soluciones de alta calidad en tiempos de computo cortos superando al procedimiento GRASP.

(L. Jánošíková, Gábrišová, & Ježek, 2015) formularon un modelo de programación matemática para resolver el problema de ubicación del servicio médico de emergencias (EMS) aplicando el problema de p-mediana capacitado, ya que maximiza la eficiencia del sistema, y al mismo tiempo aumenta la equidad de la prestación del servicio, utilizaron dos heurísticas la heurística de optimización local (LOPT) y la heurística de descomposición (DESCOMP), con un conjunto de datos que oscila entre 87 y 664 municipios. Obteniendo los mejores resultados en términos de distribución logrado con el método Lopt-Decomp.

(Janosikova & Vasilovsky, 2017) propusieron otras dos mejoras del algoritmo genético, i) codificación de agrupamiento, ii) hibridación de agrupación GA con un solucionador de programación matemática, para resolver el problema de la p-mediana capacitado, con el objetivo de encontrar mejores ubicaciones al servicio médico de emergencia (EMS) donde se alojan los vehículos de emergencia, obteniendo buenos resultados en la combinación del algoritmo genético con el solucionador de procesamiento como una técnica de solución prometedora.

Los trabajos realizados mencionan un gran aporte utilizando diversas herramientas y metodologías, tal es el caso, (Gamez, Orejuela, Salas, & Bravo, 2016) agruparon un conjunto de clientes aplicando mapas de kohonen, un tipo de red neuronal, priorizando las zonas de mercado, y determinando cuales son los que impactan con mayor frecuencia en la zona de clientes, obteniendo los resultados simulados en Matlab.

(Karatas, Razi, & Tozan, 2016) Hicieron una comparación de dos modelos clásicos de ubicación de la p-mediana y p-máxima, con el objetivo de encontrar las mejores ubicaciones bajo el requisito de cobertura Q. utilizando CPLEX como software para resolver modelos de optimización, obteniendo en este caso que p-MP supera a MCLP.

(Vadoudi & Troussier, 2015) Realizaron un análisis sobre la territorialización, como un nuevo método que respalde el diseño de productos industriales y sistemas de servicio, basándose en la información obtenida a través de los sistemas de información geográfica (SIG) incluyéndolo como modelo para localizar aspectos ambientales, económicos, y sociales, relacionados con las ubicaciones.

(Fernandez, Queiroz, Caporusso, Bernardino, & Pinto, 2016). Aplicaron el problema de la p-mediana, en la localidad de Sao Paulo, Brasil, utilizando una metodología de localización específica, y Matlab como herramienta de optimización junto a un algoritmo heurístico obteniendo las ubicaciones óptimas para la producción de azúcar y etanol.

(Pulgarín & Tabarquino, 2016) Desarrollaron un análisis para el proceso de una red integrada de servicios de salud, en Santiago de Cali, basada en la cadena de suministro aplicando (scor model) y conceptos RISS, simulado con el análisis de redes Ucinet 6.0. obteniendo como mejora la prestación de servicios.

(Laasasenaho, Lensu, Lauhanen, & Rintala, 2019) Desarrollaron un modelo para investigar ubicaciones optimas de dos tipos de plantas de bioenergía, en la región de Finlandia, utilizando el software R para la optimización de ubicación y la herramienta de densidad de núcleo en ArcGIS. Demostrando que las herramientas son adecuadas para planificar las ubicaciones.

(Davoodi, 2019) planteo un problema de ubicación de instalaciones considerando dos objetivos, minimizar la distancia entre cada cliente y su centro de almacenamiento, proponiendo un algoritmo simple basado en el diagrama de Varonoi y la triangulación de Delaunay, obteniendo la eficiencia del algoritmo propuesto.

Capítulo II

Marco teórico

2.1 GENERALIDADES.

2.1.1 Ubicación de instalaciones:

Uno de los aspectos más importantes de la logística es decidir dónde ubicar las nuevas instalaciones, tales como minoristas, almacenes o fábricas. Estas decisiones estratégicas son un determinante y cruciales para que los materiales fluyan de manera eficiente a través del sistema de distribución.

El problema de la ubicación de las instalaciones está presente tanto en las empresas nuevas como en las existentes, y su solución es vital para la viabilidad de la misma, algunos factores considerables son:

2.1.2 Proximidad con los clientes:

Esta ayuda a la entrega más rápida del producto a los clientes y que las necesidades del cliente se tomen en cuenta en el desarrollo del producto.

2.1.3 Clima de negocios:

Esta puede incluir la presencia de empresas de tamaño similar, de la misma industria, etc. Las legislaciones gubernamentales a favor de las empresas y la intervención del gobierno local para facilitar los negocios ubicados en ciertas áreas a través de subsidios, reducción de impuestos, etc.

2.1.4 Costos totales:

El objetivo es seleccionar un sitio con el costo total más bajo. Estos incluyen costos regionales, costos de distribución interna y externa.

2.1.5 Infraestructura:

El transporte por carretera, ferrocarril, aire o mar es vital, al igual también que los requerimientos de energía y telecomunicaciones.

2.1.6 Ubicación de las instalaciones de servicio:

Debido a la variedad de empresas de servicios y el costo relativamente bajo de establecer una instalación de servicio en comparación con una planta de manufactura, las instalaciones de servicio nuevas son mucho más comunes que las fábricas y bodegas nuevas.

Hay pocas comunidades en las que el rápido crecimiento de la población no ha ido acompañado de un crecimiento rápido de las tiendas detallista, restaurantes, servicios municipales e instalaciones de entretenimiento.

2.1.7 Concepto de distancias

La distancia entre dos puntos está vinculada al plano cartesiano, ya que este permite calcular la distancia que existe entre ambos puntos, a partir de la ubicación de las coordenadas de ambos (Tinoco, 2013). Por otra parte, cuando ambos puntos pasan del plano a la superficie terrestre, su distancia se calcula de otra manera. De acuerdo con la metodología denominada fórmula del Haversine.

2.1.8 Definición de distancia

Distancia” deriva de distantia, distantiae, sustantivo que se forma a partir de distans, distantis. Este es el participio presente del verbo disto, distas, distare cuyo significado es estar alejado, distar. Verbo constituido por el prefijo dis- que señala divergencia, separación múltiple. Al que se le suma el verbo sto, stas, stare, steti, statum que significa estar de pie, estar inmóvil. Por su parte, a la base se le suma el sufijo -nt- que señala al agente más el sufijo -ia que indica cualidad.

2.2 Concepto del problema de la p-mediana

El problema de p medianas (PMP) consiste en ubicar p instalaciones (medianas) para minimizar la suma de distancias de cada cliente a la instalación más cercana. El interés por el PMP a gran escala surge de aplicaciones en el análisis de conglomerados, donde los patrones deben ser particionados en subconjuntos (conglomerados) en la base de la similitud.

El problema de la p-mediana es fundamental para gran parte de la teoría de localización discreta. Está motivado por una serie de situaciones reales, como por ejemplo tener que instalar varias plantas en algunos puntos de un sistema de transporte para minimizar los costos de producción y envío o tener que instalar diferentes hospitales en una ciudad para

que la mayor parte de su población quede cubierta en caso de necesitar uno. En definitiva, el problema de la p-mediana trata de localizar p instalaciones dentro de una red de manera que se minimice la distancia ponderada entre los puntos de demanda y la instalación abierta más cercana.

2.3 Problema de localización de instalaciones

La localización de instalaciones investiga donde situar físicamente un conjunto de instalaciones, de modo de satisfacer las demandas de un grupo de clientes, todo esto, sujeto a una serie de restricciones, para seleccionar un conjunto óptimo de instalaciones para ubicar en los sitios candidatos, a manera de optimizar alguna función objetivo. Los modelos de localización son aplicados a casos específicos, esto es, su estructura (objetivos, restricciones y variables) depende de cada caso en estudio. Así que los problemas de localización se pueden dividir para su estudio en relación a:

Lo que se quiere localizar: en problemas de distribución de espacio y problemas de localización.

Las características de las nuevas instalaciones: en problemas de localización sencilla (una instalación) o múltiple (varias instalaciones), localización de punto o de área, donde el número de nuevas instalaciones esta dado o es una variable de decisión y donde la localización es dependiente o independiente de otras localizaciones.

Las características de las instalaciones existentes: en problemas de localización estática o dinámica, determinística o probabilística.

La interacción de las diversas instalaciones: en problemas cuantitativos y cualitativos.

El espacio: en problemas unidimensionales o multidimensionales discretos o continuos, restringidos o no restringidos.

La función objetivo: en problemas cuantitativos o cualitativos y, dentro de los primeros, problemas donde se minimizan funciones de costo y tiempo o se minimizan funciones de tipo min-max (se incluye costo fijo).

Entonces, no existe un modelo genérico que sea apropiado para todos los problemas. Por lo que, modelos con distinto objetivo, pueden provocar diferentes soluciones para el mismo caso en estudio.

Los modelos discretos de localización en redes se pueden clasificar de acuerdo con la distancia. Ahora los modelos se pueden dividir en modelos que están basados en la máxima distancia y modelos basados en el distancia total o promedio.

2.3.1 P-Centro

El problema p-centro propuesto por (Kariv & Hakimi, 1979) pertenece a los modelos de máxima distancia. El objetivo de este modelo es minimizar la máxima distancia entre un nodo de demanda y su facilidad más cercana, dado que se tiene un número predeterminado de facilidades para instalar.

2.3.2 P-Mediana

A diferencia del modelo anterior, el modelo p-mediana encuentra la ubicación de p facilidades de modo de minimizar la distancia total entre los nodos de demanda y la instalación a la cual son asignados, es por esto que este modelo pertenece a los modelos de distancia total o promedio.

2.4 Características del problema de la p-mediana

Un problema de localización depende de un conjunto $A = \{a_1, \dots, a_M\}$ de clientes que requieren algún servicio y se trata de buscar la ubicación de otro conjunto $L = \{x_1, \dots, x_N\}$ desde donde se satisfará la demanda. La calidad de una solución se evalúa mediante una función $c(A, L) = (c(a_1, L), \dots, c(a_N, L))$ que expresa tiempo de viaje, distancia, coste, preferencias en general. Tradicionalmente se supone que la calidad del servicio depende monótonamente de las componentes del vector c . De esta forma, desde el punto de vista de los clientes, requeriremos un principio de monotonía: a mayores valores del vector c menor calidad del servicio proporcionado (suponiendo servicios atractivos). Por otra parte, desde la posición del grupo (los clientes vistos como una colectividad), la calidad no debería depender del nombre asignado a cada uno de ellos. Por lo tanto, también debemos exigir un cierto principio de simetría (Albandoz, n.d.)

En esta categoría de problemas no se especifican restricciones de capacidad para los centros de servicio, por lo que cada cliente es asignado a la mediana más cercana.

2.5 Formulación matemática

La formulación más clásica del problema de la P-mediana es la siguiente: Sea: $N=\{1,\dots,n\}$ el conjunto de índices para los clientes. $J=\{1,\dots,m\}$ el conjunto de índices para las localizaciones potenciales de las medianas.

Para cada (i, j) , $i \in N, j \in J$ sea C_{ij} el costo de asignación del cliente i a la mediana ubicada en la localización j .

Se definen las siguientes variables de decisión:

- Y_j . Tomará el valor de 1 si se ubica la mediana en la localización $j \in J$ y de 0 en otro caso.
- X_{ij} . Tomará el valor de 1 si el cliente $i \in N$ se asigna mediana ubicada en la localización $j \in J$ y de 0 en otro caso.

El problema de la P-mediana puede formularse de la siguiente manera.

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in J} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = P \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_j, \quad \forall i \in N, j \in J \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \quad Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

Las restricciones (2) aseguran que cada cliente es asignado a una única mediana.

La restricción (3) garantiza que se seleccionen exactamente P localizaciones para las medianas.

Las restricciones (4) aseguran que los clientes se asignen a una mediana sólo si ésta ha sido seleccionada.

Finalmente, el conjunto de restricciones (5) especifica que todas las variables de decisión son binarias.

Esta formulación representa un total de n^2 variables y $n^2 + 1$ restricciones (Muñoz et al., 2011).

2.6 Ejemplo de ubicación en el área de PMP

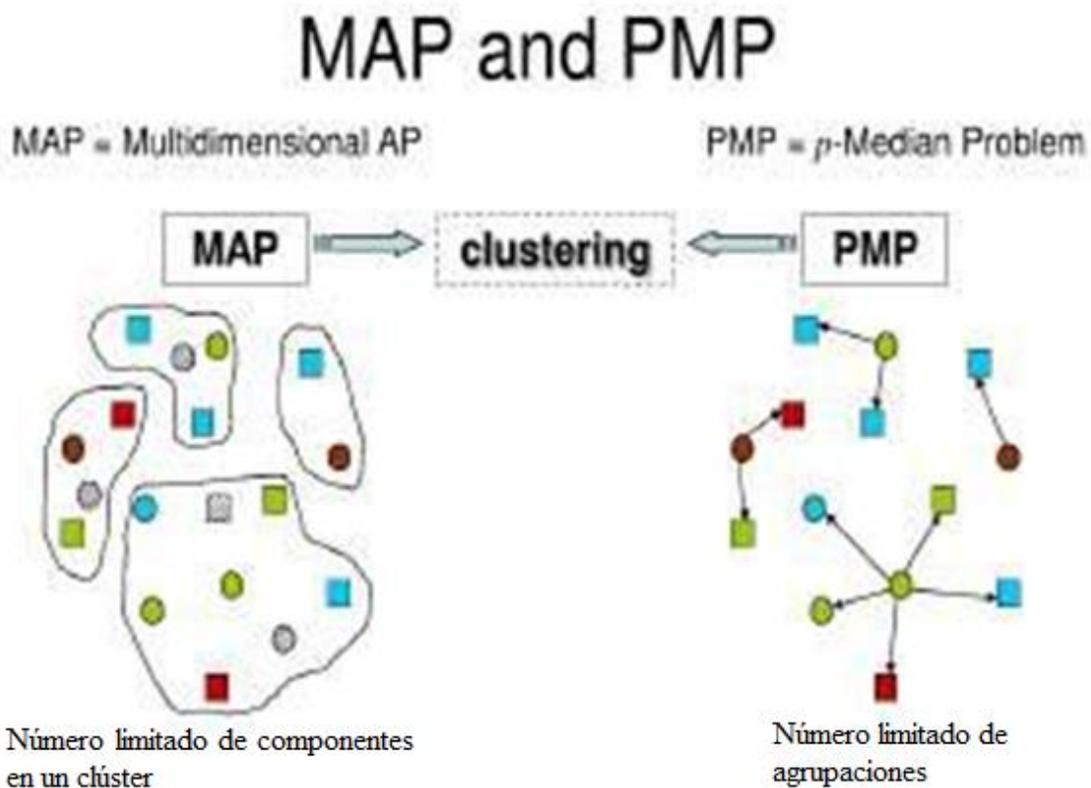


Figura 3: Ejemplo del PMP

Fuente: issuu

2.7 Aplicaciones para el problema de la p-mediana

2.7.1 Facilidad de ubicación

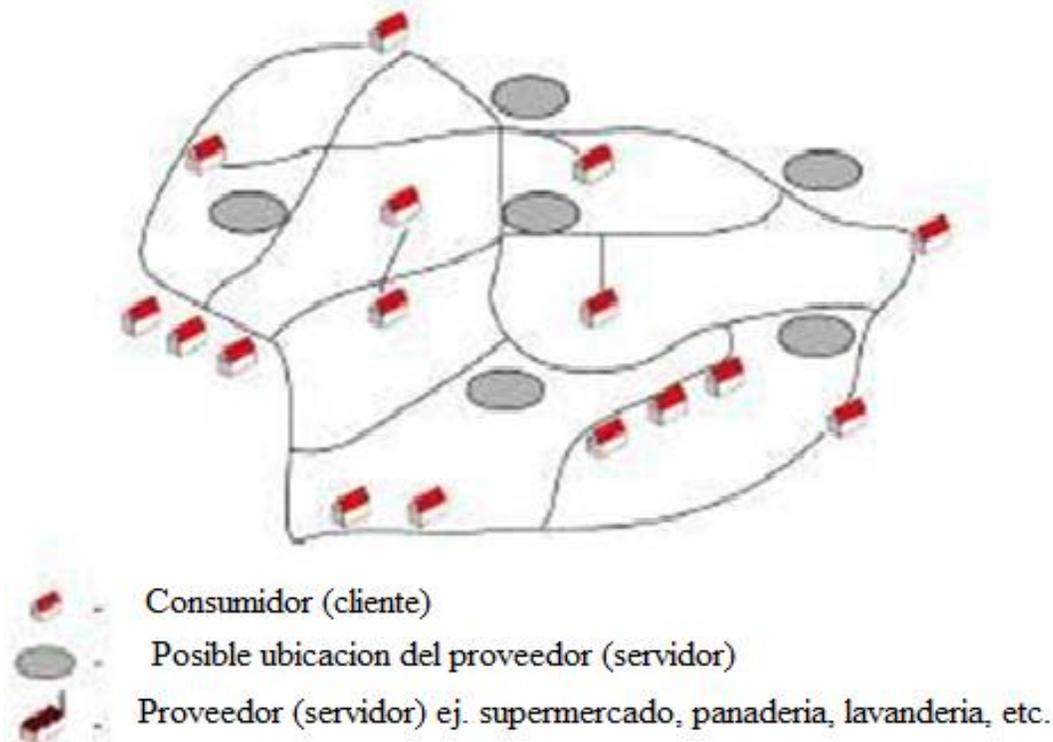


Figura 4: ejemplo de ubicación del PMP

Fuente: issuu

2.8 Algoritmos de resolución del problema de las p-medianas

2.8.1 Algoritmos evolutivos

Estos algoritmos actúan como guía en búsquedas aleatorias, emulando la evolución biológica; de ahí que también sean denominados como algoritmos genéticos, y que la nomenclatura que se utilice referente a términos usados en la genética.

La forma de aplicar este concepto a la solución del problema de la p-mediana, es considerar a cada cromosoma de la población como un conjunto de exactamente p componentes y donde la función objetivo a evaluar es la suma de las distancias ponderadas (Lüer Villagra, Venegas Quintrileo, & Bustos Gómez, 2009).

2.8.2 Búsqueda Dispersa

Es un algoritmo basado también en poblaciones empleando una componente, como conjunto de referencia fundamental, donde se almacenan soluciones buenas y dispersas. La forma de construir nuevas soluciones es combinando elementos de este conjunto de referencia obteniendo mejoras y actualizando el conjunto de acuerdo con el avance que se experimente.

2.8.3 Búsqueda en Vecindarios Variables

Trabaja haciendo una búsqueda local dentro de los vecindarios de un punto dado, cuya definición se va actualizando a medida que la solución mejora. Se funda en tres principios básicos: el óptimo para un vecindario no es necesariamente un óptimo para otro; un óptimo global será un óptimo para cualquier vecindario; y, basándose en resultados obtenidos, se prueba que todos los óptimos locales están cerca el uno del otro.

2.8.4 K-Means

El algoritmo parte definiendo centros para los futuros clúster a formar, asignando a cada punto el centro más cercano. Una vez que se tiene un estado inicial o asignación para los datos, el algoritmo avanza conforme se van calculando los nuevos centros dentro de un clúster, como el centro de masa de un mismo conjunto. Actúa de manera iterativa, calculando y asignando centros cada vez, en donde el criterio de parada más común es la no actualización de las asignaciones de cada uno de los puntos.

Cada uno de los algoritmos mencionados anteriormente para el problema de la p-mediana, requiere la utilización de un alto rendimiento computacional esto a medida en que la escala de los problemas vaya incrementando.

Los enfoques clásicos que existen para solucionar este problema son la relajación lagrangiana usando Branch and Bound, búsqueda local y tabú. En este sentido, existen numerosos algoritmos de solución que van desde la búsqueda del óptimo haciendo simplificaciones del modelo como es el caso de COBRA, hasta la aplicación de (meta-)heurísticas como algoritmos genéticos, recocido simulado, herramientas de clustering, etc.

Capitulo III

Marco metodológico

3.1 Investigación

La investigación es el proceso creativo ligado al estudio de un fenómeno, es progresiva e incierta, va más allá de los métodos y técnicas e involucra la intuición del investigador en la creación de conocimiento asociado al fenómeno en cuestión, por ello este proceso es amenazado permanentemente por prejuicios subjetivos, dificultades e imprevistos (Mousallikayat, 2015).

3.2 Tipo de investigación

En la presente tesis se realiza una investigación cuantitativa. En el enfoque cuantitativo, amparado en el paradigma empírico-analítico, la teoría juega un papel esencial, ya que se parte de toda la información científicamente validada para construir la descripción del objeto de estudio. Es el proceso de revisión de información sobre el problema que se va a investigar.

La teoría inicial permite al investigador

Evitar errores ya superados

Conocer recorridos metodológicos

Identificar y definir variables

Formular hipótesis

Adoptar una teoría o un modelo

3.3 Sujeto de estudio

Para este proyecto se considera como objeto de estudio, las 633 comunidades rurales, conociendo vías de comunicación y distancia existente entre una comunidad con otra, con la finalidad de obtener información sobre donde ubicar instalaciones, para el sector productivo, sector salud, educación, privado, asociaciones, u otros.

3.4 Región de estudio.

El municipio de Tantoyuca, Veracruz, cuenta con más de 630 comunidades rurales que es un punto de inicio muy importante para conocer la ubicación de instalaciones conociendo las distancias que comunica entre cada comunidad del municipio.

El presente estudio está dedicado principalmente a comunidades del municipio de Tantoyuca.

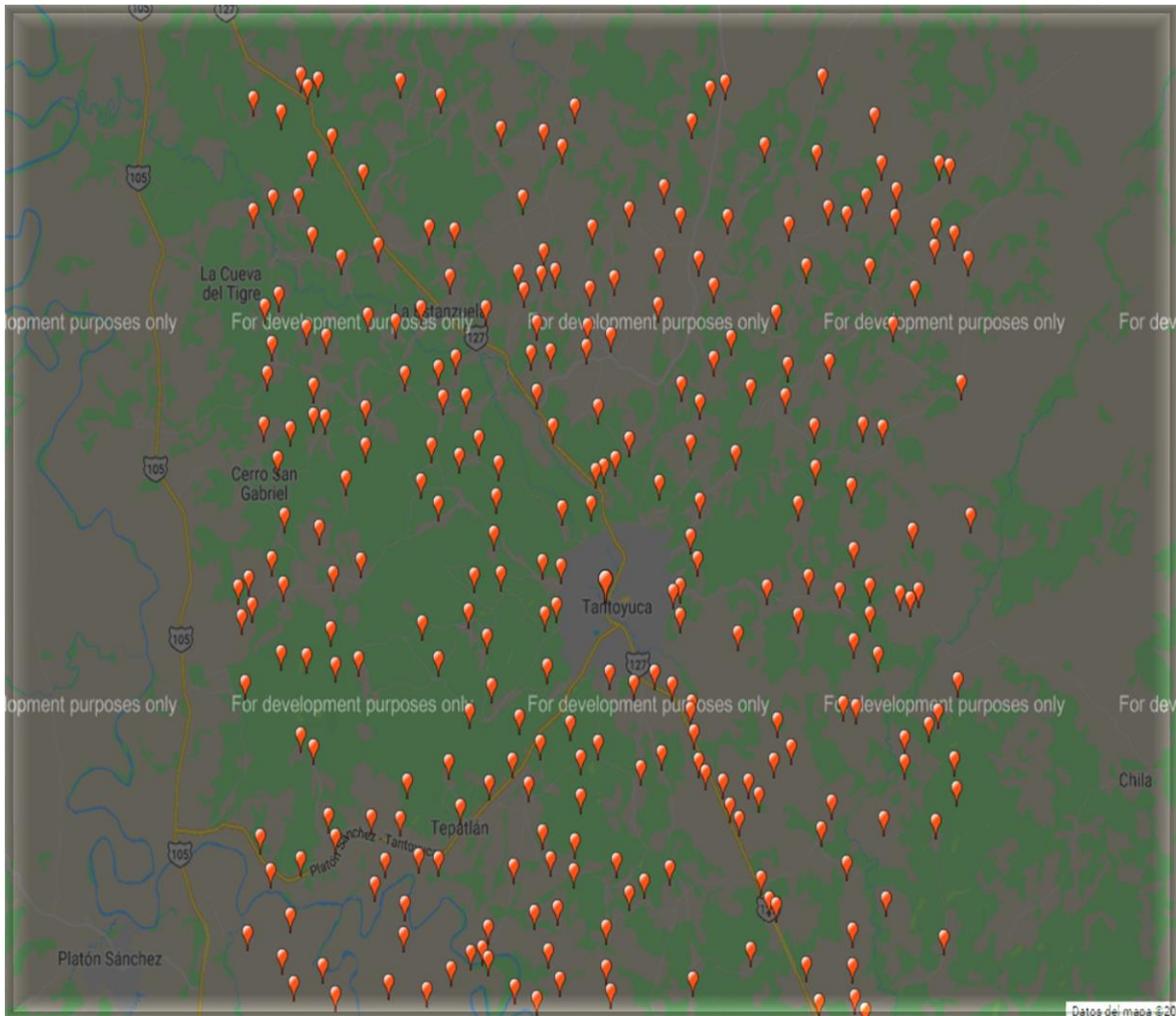


Fig. 5: Municipio Tantoyuca, Veracruz

Fuente: (Inegi, catálogo de comunidades, microrregiones)

3.5 Métodos para la recopilar información

La metodología aplicada para recolectar información de esta investigación se muestra a continuación:

Investigación teórica y documental dedicadas al problema de la p-mediana, tipos de aplicaciones, heurísticas y meta-heurísticas, localización, ubicación y logística, así como técnicas de optimización aplicados en otras en otras investigaciones similares.

Recolección de datos de las distancias de cada comunidad rural por medio de coordenadas geográficas con la ayuda de google maps.

3.6 Elaboración de Matriz de distancias

Para la generación de la matriz de distancias se indagaron las coordenadas de cada comunidad del municipio caso de estudio, para conocer la distancia que existe entre una localidad con otra, se fueron ingresando las coordenadas de latitud y longitud una por una, trabajando en la plataforma de google Maps al conocer los kilómetros arrojados por la aplicación antes mencionada estos se tipieron en una hoja de cálculo en Excel para acomodarlos hasta obtener las distancias en una matriz de $633 * 633$ comunidades. Una vez obtenidos los datos conocemos la distancia de un punto a otro.

Capitulo IV

Marco operativo

4.1 Descripción del municipio de Tantoyuca, Veracruz

4.1.1 Toponimia y escudo

Tantoyuca, en huasteco (Tan-tuyik) es voz de origen Tének que significa “lugar de la cera”. Por acuerdo de cabildo del Honorable Ayuntamiento Municipal Constitucional de Tantoyuca, Ver., de fechas 17 y 24 de octubre de 1997, se realizaron el dibujo y la reseña del escudo de este municipio, mismos que fueron remitidos a la Honorable Legislatura del Estado. Tantoyuca está ubicado en la zona norte del Estado de Veracruz, perteneciente a la región de la Huasteca Alta, conocida popularmente como “La Perla de las Huastecas” con alrededor de 633 localidades, y una población de 104,599 habitantes. Como antecedente histórico Tantoyuca fue fundada por los huastecos donde se conoció como villa el 12 de abril de 1850 y finalmente como ciudad el 25 de julio de 1901.



Fig. 6: Escudo del Municipio de Tantoyuca, Veracruz.

Fuente: (H. ayuntamiento, Tantoyuca.)

4.1.2 Ubicación

El municipio de Tantoyuca se ubica entre los paralelos 21° 06' y 21° 40' de latitud norte; los meridianos 97° 59' y 98° 24' de longitud oeste; altitud entre 10 y 300 m.

4.1.3 Limites

Colinda al norte con los municipios de Tempoal, Ozuluama de Mascareñas y Chontla; al este con los municipios de Chontla e Ixcatepec; al sur con los municipios de Ixcatepec, Chicontepec, el estado de Hidalgo y los municipios de Chalma y Platón Sánchez; al oeste con los municipios de Platón Sánchez y Tempoal. Ocupa el 1.81% de la superficie del estado (INEGI, 2009).

4.1.4 Clima

El clima que prevalece es Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (64%), y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (36 %), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (8%) y semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (2%). Con un rango de temperatura de 22 a 26 °C, y un rango de precipitación de 1 100 - 1 300 mm. (CEIEG et al., 2015).

4.2 Descripción Del Problema

De forma general el problema de localización y ubicación óptimo de instalaciones para distribución usando conceptos de la P-mediana consiste en ubicar sobre un plano un conjunto de instalaciones para suplir la demanda de los usuarios de una zona en el sistema de distribución en donde su ubicación geográfica es conocida. Las alternativas de localización de las instalaciones son presentadas, como parámetros de entrada. A cada comunidad se asocia el costo de una instalación, si este está por fuera de la ruta establecida para el alimentador principal. Como solución del problema se obtiene: localización, cantidad y dimensionamiento de las instalaciones.

A partir de la ubicación de cada instalación se obtiene la cantidad de comunidades que se conectan a él, empleando el modelo de P-mediana.

4.3 Casos de estudio

Con información proporcionada de (Barrenechea & Soto, 2020) quienes estudiaron ciertas comunidades, haciendo un análisis basado en la agricultura de traspatio y pequeños productores, principalmente en las comunidades de San Sebastián y la región así, como comunidades de La Estanzuela y sus alrededores, logrando dar un ejemplo de la situación que prevalece respecto a la producción y consumo de los productos locales, cierta investigación toma fuerza con respecto al caso de estudio, asimilando la necesidad de contar con áreas de almacenamiento y/o centros de recolección para los productos.

La microrregión indagada por (Barrenechea, 2020) comprende 39 localidades con un alto grado de marginación de origen rural, el tipo de clima es cálido-subhúmedo y cuenta con pobreza media- extrema (CONEVAL, 2010).

San Sebastián es una microrregión perteneciente al municipio de Tantoyuca, en el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Cuenta con 4521 habitantes y 1327 viviendas (INEGI, 2010), repartidas en las diferentes comunidades que la conforman. Se ubica aproximadamente a 18.4 km de Tantoyuca, Veracruz:

La zona de estudio se caracteriza por ser una zona de productores de traspatio y pequeños productores de naranja, cuenta con un importante número de agricultores que durante años se han dedicado a su cultivo. Sin embargo se enfrentan a las restricciones para acceder al mercado local y regional. La comercialización de los productos representa una gran oportunidad de desarrollo para los agricultores.

La cadena de valor de la agricultura de productores de traspatio y pequeños productores en la zona de estudio, está conformada por (productores, clientes, competidores) con un limitado acceso al mercado regional.

Los agricultores son los principales actores de la red de valor. Donde su producción es de autoconsumo y comercializada en mercados locales, para algunos agricultores que no cuentan para poder hacer una inversión les es muy difícil incorporarse a un mercado mayor esto por los costos de transporte que implica, aunado a esto los costos de producción que no se cubren con las ganancias de las ventas.

La microrregión investigada por (Soto, 2020) “La Estanzuela” comprende localidades características por la comercialización de productos agrícolas de traspatio. El total de la tierra es 195.91 ha en toda la Microrregión de estudio y se trabaja de forma tradicional o carretas de labranza de las cuales 61.27 ha son de Cuchilla Chica, 59.40 ha de La Peña, 39.26 ha de La Estanzuela, 16.12 ha de Guayabal y 19.84 ha de Huizache. Del total de hectáreas solo el 111.34 ha son sembradas aproximadamente y 84.57 ha se dejan en descanso, la principal razón para dejar las tierras en descanso es 21% por falta de recursos para la compra de insumos, el 20% menciona que por falta mano de obra familiar, el 14% es para producir más y el 6% acredita que es para evitar la erosión y empobrecimiento del suelo. Las razones para no dejar sus tierras en descanso es 24% por que cuentan con superficies pequeñas, el 11% menciona que sus tierras son fértiles, el 3% las cultiva porque si no le retiran el apoyo del gobierno y el 1% cuenta con los recursos para la compra de insumos.

El cultivo de productos agrícolas en el estado de Veracruz ocupa el 2 segundo lugar a nivel nacional (INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía , 2010), en el municipio de Tantoyuca solo se siembran 14,933 hectáreas y cuenta con un volumen de producción de \$163,344,926.00, aun cuando hay registros oficiales de la producción, solo se toman en cuenta 16 productos agrícolas de todos los existentes (SIAP, 2018).

Se toma el valor de la producción de acuerdo a lo recolectado durante la aplicación de encuestas en la microrregión La Estanzuela, El producto agrícola que más se produce es el nopal, durante todo el año se cosecha y se mantiene la planta para su autoconsumo o venta. En la región analizada el nopal es considerado un producto muy valioso y bueno para la salud, es consumido en diversas presentaciones que las jefas de familia se encargan de procesar. La producción de nopal es de 68.40 toneladas anuales.

Todos los productos son cultivados en diversas épocas del año su principal destino es el autoconsumo. De acuerdo a lo obtenido de la base de datos el valor económico anual más alto para la microrregión es dado por el nopal. La mayoría de los productos se caracterizan por ser más auto consumidos, mientras que el nopal, camote, calabaza y frijol se comercializan más para venta.

Capítulo V

Resultados y conclusiones

5.1 Resultados y conclusiones

Una vez encontradas las ubicaciones del problema de la p-Mediana y conociendo determinadas las distancias y tiempos hacia el área de almacenamiento o de distribución para cada una de las comunidades productoras de algún producto agrícola, se concluye que, si se minimizaran las distancias y los tiempos de entrega en beneficio al sector agrícola de Tantoyuca, Veracruz. La ubicación encontrada, cumple con las mejores condiciones y características para recomendar un establecimiento, al diseñar una red logística de distribución aplicando el modelo matemático p-Mediana, debido a que se encuentra muy cerca de comunidades dedicados mayormente a la agricultura y/o productores de algún otro tipo de cultivos que son los que solicitan este beneficio en mayor cantidad.

Anexos

Tabla 1. Localidades rurales de Tantoyuca y sus coordenadas

Nº	Nombre de la localidad	Latitud	Longitud	Nº	Nombre de la localidad	Latitud	Longitud
1	Tantoyuca	21.35178	-98.22565	25	Vichichel	21.5381	-98.0607
2	Acececa	21.2931	-98.3205	26	San Juan Chopopo	21.3368	-98.1494
3	Cardonal	21.3922	-98.1768	27	Buena Vista	21.3025	-98.3125
4	Chijolar Grande	21.4003	-98.1981	28	Buena Vista	21.4202	-98.1517
5	Chote Arriba	21.4849	-98.1616	29	Buena Vista	21.2547	-98.1797
6	El Limón	21.3789	-98.2274	30	Cerro la Campana	21.3222	-98.2408
7	Mata del Tigre	21.4153	-98.2349	31	El Ciruelar	21.3149	-98.2378
8	Pecero	21.4897	-98.0616	32	Palma Sola	21.3425	-98.3117
9	Sabana Grande	21.1847	-98.0869	33	La Calzada	21.2994	-98.3636
10	San Diego	21.1461	-98.1913	34	Callejón Santa Clara	21.2764	-98.1300
11	San Gabriel	21.2038	-98.1707	35	El Cerro	21.4078	-98.145
12	Santa Clara	21.2606	-98.1532	36	Carrizal Primero	21.3781	-98.2621
13	Xiloxúchitl	21.3463	-98.2711	37	Carrizal Segundo	21.3708	-98.2628
14	Tametate	21.3183	-98.2325	38	Chijolar [Escuela]	21.4047	-98.1931
15	Tecomate	21.3700	-98.2021	39	Casas Viejas	21.1794	-98.0435
16	Tepatlán	21.3044	-98.2732	40	El Aguacate	21.3831	-98.2230
17	Jocutla	21.2375	-98.2492	41	Palma Sola	21.4764	-98.2913
18	El Aguacate	21.3644	-98.3689	42	Casitas Chila Pérez	21.3997	-98.1639
19	El Aguacate	21.2297	-98.1105	43	San Antonio Pecero	21.5219	-98.0660
20	Las Agujas	21.3303	-98.2642	44	Cerro San Gabriel	21.3789	-98.3278
21	Loma de la Mosca	21.4161	-98.198	45	Cerro Botica	21.4111	-98.2657
22	Ajoloco	21.3172	-98.3168	46	El Lindero	21.3128	-98.2200
23	Los Ajos Arriba	21.1956	-98.1366	47	El Mirador	21.2316	-98.2032
24	El Aquichal (Laja Segunda)	21.4497	-98.2613	48	Cerro Mirador	21.2386	-98.2114

49	Ciruelar Aquiche	21.4050	-98.3132	73	El Chiquero	21.3361	-98.2799
50	El Parabrisas (El Ciruelo)	21.2846	-98.1469	74	Tierra Blanca	21.4955	-98.2406
51	Ciruelar Chote	21.3833	-98.2678	75	Trapiche	21.3694	-98.2799
52	Coposo	21.6028	-98.0103	76	Dos Caminos	21.4636	-98.3269
53	Coyolitos	21.3469	-98.0689	77	Ejido Cuauhtémoc (Chila Curtaza)	21.3133	-98.0722
54	Corralillo	21.2536	-98.2132	78	El Escondido	21.3800	-98.3881
55	El Terrero	21.2131	-98.2192	79	La Esperanza	21.2736	-98.1872
56	Corral Viejo la Lima	21.4277	-98.2750	80	La Estanzuela	21.4111	-98.2850
57	Cornizuelo	21.3983	-98.2800	81	El Padre	21.3683	-98.2430
58	Las Víboras	21.4371	-98.2131	82	Bella Vista	21.3250	-98.1316
59	Zapotal Mata del Tigre	21.4075	-98.2356	83	El Gallo	21.3594	-98.1566
60	El Coyol	21.3139	-98.1416	84	La Garrapata San Lorenzo	21.3881	-98.3169
61	El Carril	21.2703	-98.1568	85	Guayabal Aquiche	21.4083	-98.2925
62	Coyoles	21.5414	-98.1557	86	Guayabo Grande	21.4867	-98.2700
63	Lagartos	21.4378	-98.1093	87	Guayabo Chico	21.4836	-98.2864
64	Cucharas	21.3772	-98.2308	88	Guayal Mata del Tigre	21.4028	-98.236
65	Cuchilla Chica	21.4247	-98.2978	89	Huichinal Chila Pérez	21.4153	-98.1383
66	Cuchilla Grande	21.4347	-98.3289	90	Guayalar	21.3947	-98.3168
67	Cuesta del Toro	21.3236	-98.2558	91	La Higuera	21.3900	-98.2325
68	Cuiloyo	21.1878	-98.1391	92	Huizache Laja	21.4269	-98.3172
69	La Chaca	21.4597	-98.2914	93	Horcón Chote Chijolar	21.4225	-98.2141
70	La Chaca	21.2922	-98.1585	94	Izotal Cardonal	21.3769	-98.1681
71	Chacuaco	21.4606	-98.1658	95	Ixcanelco	21.1394	-98.1931
72	Aquichal	21.3950	-98.2077	96	Ixtle Blanco	21.325	-98.2708

97	El Jobo Aquiche	21.3897	-98.3014	121	El Mirador	21.4422	-98.1482
98	Las Lajitas	21.3456	-98.2482	122	Moneque	21.3519	-98.2083
99	La Lima	21.4349	-98.2547	123	Monte Grande	21.4600	-98.3156
100	Santa Rosa	21.4814	-98.1956	124	Jacubal	21.3825	-98.2050
101	Loma del Aquiche	21.4656	-98.2833	125	La Morita	21.3333	-98.2291
102	Loma de la Cruz	21.4103	-98.1797	126	La Mora	21.3308	-98.2219
103	La Lomita	21.5933	-98.0438	127	El Nopal	21.2997	-98.1664
104	Llano Enmedio	21.2972	-98.2394	128	Moralillo	21.2913	-98.2110
105	Maguey Chijolar	21.3944	-98.1872	129	Los Naranjos	21.4028	-98.3847
106	El Maguey Sabana Grande	21.2044	-98.1052	130	El Rincón	21.4403	-98.3022
107	El Maguey Aquiche	21.3925	-98.2716	131	Palmar Aquiche Primero	21.3972	-98.2896
108	Maguey Segundo	21.3622	-98.205	132	Nuevo Laredo	21.3514	-98.1825
109	El Mamey	21.3408	-98.2656	133	El Ojite (Ojite el Rodeo)	21.3953	-98.1247
110	El Mamey San Gabriel	21.3669	-98.3255	134	El Pabellón	21.5597	-98.1755
111	El Manantial	21.3733	-98.1572	135	Palma Alta	21.4322	-98.2230
112	Los Manantiales	21.1428	-98.1496	136	El Sabino	21.3372	-98.3266
113	Mancornaderos Primero	21.4142	-98.3272	137	Palmar	21.2550	-98.1630
114	Mancornaderos Segundos	21.4114	-98.3314	138	Palma Redonda	21.5456	-98.1899
115	Mano de León	21.2353	-98.145	139	Palma Redonda	21.6364	-98.0603
116	Mapán Laja Segunda	21.4233	-98.2486	140	Palma Solita	21.4431	-98.3174
117	El Mariscal	21.1258	-98.1746	141	El Jobo	21.5164	-98.1985
118	Mecapala	21.3361	-98.3036	142	Palmito	21.2436	-98.1877
119	Las Mesas San Gabriel (Las Mesas)	21.3924	-98.3697	143	El Sabroso Uno Crucero Palmito	21.2625	-98.1669
120	Mezquital Chila Pérez	21.4305	-98.1442	144	Palo Verde	21.4200	-98.1706

145	Palo Solo	21.3453	-98.1730	169	Terrero Tametate	21.3183	-98.2497
146	Pastoría	21.4664	-98.3035	170	La Ribera	21.6339	-98.0252
147	La Papatla	21.3911	-98.3910	171	Sombrerillo	21.3094	-98.2646
148	Paredones	21.5294	-98.1746	172	Saca Mango	21.1922	-98.1260
149	El Mirador	21.5967	-98.0742	173	San Antonio	21.2892	-98.1841
150	La Peña	21.4222	-98.3086	174	San Jerónimo	21.2422	-98.1203
151	Pez Mayo	21.1813	-98.1400	175	San Juan Chijolar	21.4217	-98.2027
152	Piedra de Cal	21.5742	-98.1085	176	San Nicolás	21.4308	-98.1941
153	La Pimienta	21.3253	-98.3614	177	El Chote	21.4761	-98.1039
154	Pitahaya Laja la Segunda	21.4708	-98.2919	178	San Miguel Chopopo	21.3667	-98.1218
155	Placetas	21.4489	-98.2485	179	San Sebastián	21.2164	-98.1324
156	El Porvenir Chopopo	21.3692	-98.1730	180	Santa Ana	21.5247	-98.0997
157	Potrero Primero	21.3544	-98.2614	181	Santa Elena	21.2672	-98.2438
158	Potrero Segundo	21.3539	-98.2694	182	Santa Mónica	21.3083	-98.3430
159	Potrero San Gabriel	21.3836	-98.3488	183	Santa Rita	21.2436	-98.1316
160	Potrero Largo	21.1836	-98.1139	184	Santa Rosita	21.4986	-98.1861
161	Pueblito	21.5883	-98.0243	185	La Sabina	21.5697	-98.0739
162	Rancho Nuevo	21.3367	-98.3189	186	Tampatel	21.3453	-98.2080
163	Rancho Nuevo	21.4178	-98.2763	187	Tanquián	21.4175	-98.2278
164	Rancho Nuevo	21.2858	-98.2233	188	Tantimita Abajo	21.4739	-98.2339
165	Rancho Viejo	21.2928	-98.2271	189	Tanzaquil	21.3344	-98.2477
166	Rancho Viejo	21.3742	-98.2849	190	Tazajera	21.2622	-98.1083
167	El Remanso	21.3017	-98.3518	191	Terrero	21.4567	-98.2791
168	El Repartidero	21.5028	-98.0581	192	Tetillas	21.3011	-98.1321

193	Tierra Blanca	21.3202	-98.2042	218	Marianas	21.3061	-98.3744
194	La Lima	21.1772	-98.2139	219	La Mora	21.3438	-98.2846
195	El Tigre	21.3317	-98.1255	220	Palmital San Lorenzo	21.3961	-98.3421
196	Tortugas	21.4483	-98.1152	221	Loma Alta	21.3317	-98.1114
197	Chote Chijolar	21.4119	-98.2147	222	Cruz de Palma	21.4714	-98.1122
198	El Tronconal	21.3750	-98.3846	223	Guayabal	21.3138	-98.2769
199	Zapotal Primero	21.3797	-98.2739	224	El Campo Chila	21.3436	-98.1163
200	Zapotal Segundo	21.3819	-98.2819	225	Falde Damas	21.3617	-98.0930
201	Zapotal San Lorenzo	21.4036	-98.3292	226	Negrital	21.4189	-98.2560
202	El Naranjal	21.4149	-98.2543	227	Loma de Franco	21.4286	-98.2344
203	La Tinaja San Gabriel	21.3522	-98.3257	228	La Abuelita	21.1611	-98.1750
204	Mezquite Mata del Tigre	21.4052	-98.2289	229	El Aguacate	21.1758	-98.1557
205	El Jardín	21.4964	-98.2236	230	Los Ajos	21.1928	-98.1443
206	Ejido Emiliano Zapata	21.3572	-98.3027	231	Alta Rosa	21.3019	-98.2911
207	Palo de Rosa	21.4019	-98.2467	232	Las Américas	21.5244	-98.1692
208	Zapotal	21.3097	-98.2891	233	Arroyo Hondo	21.3022	-98.2996
209	Cuatototla	21.3161	-98.3575	234	El Padre (La Bomba)	21.2939	-98.2858
210	Ejido Independencia Nacional	21.2981	-98.3105	235	El Brasilar	21.4764	-98.3267
211	Ejido Tecomate Chapopo	21.35089	-98.1608	236	Buena Vista	21.2697	-98.2299
212	Loma Atravesada	21.3542	-98.0994	237	Buenos Aires	21.2733	-98.2472
213	Zapotal	21.3803	-98.1917	238	Calabozo	21.2786	-98.2653
214	El Novillo (Chupadero)	21.3414	-98.1910	239	Callejón	21.4842	-98.2105
215	Paso del Limón	21.4622	-98.2802	240	El Campanario	21.4986	-98.0374
216	Tijeras	21.5078	-98.1844	241	Rancho Silvia	21.3131	-98.3589
217	Las Trojes	21.3189	-98.3702	242	Cariño	21.5106	-98.0394

243	Cebadilla	21.5247	-98.1335	272	La Florida	21.1389	-98.1806
244	Cerro Acececa	21.3197	-98.3207	273	La Fortuna Dos M	21.3825	-98.0903
245	Cerro Estación	21.1797	-98.1239	274	Guayabal Grande	21.3864	-98.1539
246	La Chaca	21.4133	-98.0921	275	La Herradura	21.4314	-98.1585
247	El Chaparral	21.5528	-98.0686	276	Rosenda Martínez	21.2214	-98.1377
248	El Chijolito	21.3636	-98.1391	277	Ixtlar	21.4353	-98.3213
249	Chote Bajo	21.5000	-98.1632	278	El Horizonte	21.5108	-98.0308
250	El Ciruelo	21.5822	-98.0194	279	Huizachal	21.4311	-98.2082
251	El Clavel	21.4022	-98.0955	280	Jopoy	21.5053	-98.0377
252	Las Conchitas	21.4586	-98.3185	281	Jumal	21.3989	-98.1763
253	El Mayito (La Condesa)	21.2053	-98.1930	282	El Alambique	21.4417	-98.1280
254	El Conque	21.3439	-98.0849	283	Los Laureles	21.4872	-98.0660
255	El Constante	21.2300	-98.1431	284	La Lima	21.1739	-98.1641
256	El Copal	21.4272	-98.1266	285	La Limonaria	21.6489	-98.0614
257	Corea	21.3792	-98.0628	286	El Lindero	21.2806	-98.1027
258	Cornizuelos	21.4511	-98.2046	287	El Lindero	21.2222	-98.2021
259	Corral Viejo	21.5039	-98.0388	288	Llano Grande	21.3922	-98.0674
260	Coyol	21.4600	-98.1058	289	Loma del Gallo	21.5539	-98.1328
261	El Coyol	21.6078	-98.0533	290	Loma el Arpa	21.3517	-98.1516
262	Los Cubes	21.5322	-98.0722	291	Loma Larga	21.3747	-98.3075
263	Dos Caminos	21.3142	-98.2581	292	La Lomita	21.2847	-98.1817
264	Los Compadres	21.3047	-98.1932	293	Las Maravillas	21.4292	-98.1757
265	El Edén	21.1808	-98.0660	294	Las Martas	21.2278	-98.1805
266	Entrada a San Nicolás	21.3933	-98.2507	295	La Mata	21.5661	-98.1772
267	La Esperanza	21.3308	-98.3372	296	Mecapala	21.2944	-98.3631
268	La Esperanza	21.2258	-98.1138	297	La Mesa	21.4194	-98.0607
269	La Esperanza	21.3508	-98.0635	298	El Mezquite	21.2431	-98.1541
270	La Estrella	21.2989	-98.2489	299	Monte Grande	21.3739	-98.2142
271	El Estribo	21.4903	-98.1394	300	Rancho Nuevo San José	21.1708	-98.1631

301	El Ocaso	21.1819	-98.0752	332	San Ventura	21.5897	-98.0291
302	Los Olivos	21.4731	-98.1399	333	Santa Cristina	21.2917	-98.2575
303	Los Olivos	21.4525	-98.1506	334	Santa Cruz	21.4544	-98.2393
304	El Orejón	21.4353	-98.1528	335	Zanja María	21.2672	-98.2043
305	Palmar Alto	21.4219	-98.1227	336	Santa Mirna	21.3664	-98.045
306	Palmar Segundo	21.3919	-98.2785	337	Santa Rita	21.5667	-98.1672
307	El Palmar	21.3336	-98.3500	338	Santa Rosita	21.2636	-98.1564
308	Palos Azules	21.3817	-98.1168	339	La Soledad	21.4422	-98.1310
309	El Paso	21.1439	-98.2082	340	La Soledad	21.4244	-98.1328
310	Pedral	21.3858	-98.1682	341	La Soledad	21.5828	-98.0671
311	Pénjamo	21.3192	-98.1413	342	El Esfuerzo (El Suspiro)	21.2933	-98.2467
312	Pensador Mexicano	21.2783	-98.1182	343	Tantavil (Rey de Oros)	21.5386	-98.1035
313	La Piedra	21.3533	-98.3613	344	Tanchel	21.1181	-98.1724
314	Piedras Negras	21.4733	-98.0810	345	Tanchún	21.4444	-98.1674
315	Las Piedras	21.3025	-98.3457	346	Tantima Arriba	21.4689	-98.2257
316	Los Pinos	21.1650	-98.1702	347	Tepatlán Chico	21.3092	-98.2531
317	Por Hacer	21.5483	-98.1506	348	Condesa Chica Tepezquingo	21.2028	-98.2153
318	La Presa	21.4300	-98.1182	349	Terrerito	21.4717	-98.2800
319	Lapunte Mata del Tigre	21.4081	-98.2508	350	El Terrero	21.3475	-98.3352
320	La Noria	21.5964	-98.1027	351	Tianguis	21.3082	-98.1261
321	La Realidad	21.4561	-98.3346	352	Tierra Colorada	21.4568	-98.3411
322	La Reforma	21.5908	-98.0602	353	Toruno	21.5556	-98.0555
323	Las Rosas	21.1356	-98.1778	354	Tototla	21.3544	-98.311
324	La Rosita	21.2833	-98.1796	355	El Toyol	21.4006	-98.2747
325	San Agustín	21.3453	-98.3596	356	Tres Palmas	21.4806	-98.2694
326	San Antonio	21.5253	-98.2116	357	Vega Abajo	21.2900	-98.3758
327	San Arturo	21.4328	-98.0647	358	Vega Arriba	21.2903	-98.3668
328	San Carlos	21.3536	-98.1700	359	El Vergel	21.345	-98.3382
329	San Claudio	21.1656	-98.1652	360	Zapote Largo	21.2908	-98.2397
330	San Martín	21.1825	-98.155	361	Zapupe	21.4831	-98.1533
331	San Miguel	21.5821	-98.1311	362	Zoyotitla	21.2786	-98.1114

363	Mapán Mata del Tigre	21.4192	-98.2452	393	Dos Caminos el Limón	21.3692	-98.2346
364	El Ramadero	21.2542	-98.1596	394	Lindero Aguacate	21.2344	-98.0958
365	Maguey Primero	21.3575	-98.2031	395	Ricardo Pacheco	21.3017	-98.1907
366	La Pitahaya	21.3911	-98.2021	396	Santa Elena	21.5350	-98.2388
367	El Limón	21.3856	-98.1481	397	Parajes	21.5431	-98.2394
368	San Francisco	21.2269	-98.1392	398	Rey de Oros	21.5500	-98.1425
369	San José	21.2222	-98.1367	399	El Sacrificio	21.5189	-98.2417
370	Gaby	21.2231	-98.1396	400	El Block	21.5506	-98.1833
371	El Amparo	21.2103	-98.2181	401	Lomitas	21.5506	-98.2243
372	El Latifundio	21.2106	-98.1361	402	Manantiales	21.5336	-98.1864
373	Buenos Aires	21.2008	-98.1416	403	El Porvenir	21.5469	-98.1308
374	El Progreso	21.1953	-98.1463	404	Santa Magdalena	21.5722	-98.2135
375	El Cueto	21.1786	-98.1543	405	Los Portales	21.4950	-98.0483
376	Finca Lolis	21.1261	-98.1727	406	Monte Grande	21.4986	-98.0613
377	Santa Elia	21.1281	-98.1736	407	La Limonaria	21.5261	-98.0622
378	El Dólar	21.1292	-98.1742	408	Pablo Mejía	21.5039	-98.046
379	Dos Arroyos	21.3861	-98.2458	409	Sacrificio	21.5192	-98.1088
380	Cerro Jocutla	21.2364	-98.2283	410	El Resorte	21.5106	-98.0578
381	El Alto	21.2647	-98.2285	411	La Brisa	21.5114	-98.0669
382	La Herradura	21.2658	-98.2571	412	El Sauce	21.5214	-98.0314
383	René Sánchez Gómez	21.2553	-98.2324	413	El Olvido	21.5339	-98.0752
384	El Girasol	21.3458	-98.0774	414	Loma Alta	21.5375	-98.0777
385	Ramón Ponce	21.3531	-98.0630	415	El Dorado	21.5253	-98.0407
386	La Guadalupe	21.3361	-98.0780	416	El Rosal	21.5242	-98.0280
387	La Chaquita	21.3403	-98.0927	417	La Providencia	21.5408	-98.0624
388	El Porvenir	21.4019	-98.0707	418	La Chuparrosa	21.5275	-98.0568
389	Alto Mincuini	21.6214	-98.0682	419	El Arbolito	21.5206	-98.1169
390	Ejido Siete Palmas	21.1758	-98.0355	420	El Sacrificio	21.5094	-98.0392
391	La Sabana (La Brecha)	21.1819	-98.0563	421	El Sube y Baja	21.5175	-98.1188
392	Alto Lucero	21.1833	-98.0738	422	El Calvario	21.5083	-98.1263

423	El Milagro	21.5025	-98.0978	450	El Regiomontano	21.3756	-98.3746
424	Aurelio Herrera Sosa	21.5750	-98.0699	451	Los Tocayos	21.2928	-98.2957
425	Los Cuates	21.5792	-98.0694	452	La Rivera	21.2111	-98.2319
426	La Magdalena	21.5994	-98.0600	453	Santa Anita	21.2878	-98.2989
427	El Recuerdo	21.5739	-98.0697	454	El Paladín	21.3053	-98.1631
428	El Tecomate	21.5972	-98.0163	455	Santa Teresa	21.2169	-98.1697
429	Colima	21.5831	-98.0408	456	La Palma	21.2275	-98.1861
430	El Valdez	21.6261	-98.0825	457	Los Mangos Santa Inés	21.2011	-98.1402
431	El Capricho	21.6156	-98.0822	458	Los Arbolitos	21.2006	-98.1013
432	El Higueron	21.6200	-98.0731	459	Vista Hermosa	21.1736	-98.1046
433	El Blanco	21.5906	-98.0593	460	La Providencia	21.2319	-98.1197
434	Santa Cecilia	21.3642	-98.3152	461	Santa Lica	21.1575	-98.1255
435	Los Pimenteros	21.3311	-98.3560	462	El Campo	21.3100	-98.1953
436	El Alto (El Retache)	21.3489	-98.3466	463	Santa Fe	21.3172	-98.1752
437	Las Mesillas	21.3364	-98.3474	464	El Torito	21.3144	-98.1803
438	Garrapata Dos	21.3878	-98.3135	465	José Pier Melo	21.3144	-98.2027
439	Rancho del Padre	21.2933	-98.2799	466	Roberto San Román	21.3117	-98.2005
440	Cerro San Román	21.3819	-98.3013	467	Maricela Calderón de Vera	21.3253	-98.2049
441	El Limón	21.6383	-98.0319	468	Carlos Ruiz González	21.3269	-98.2047
442	Las Ánimas	21.6139	-98.0667	469	El Tule	21.3864	-98.3318
443	La Sombrilla	21.5792	-98.0608	470	Zapotál	21.3783	-98.3758
444	Las Conchitas (La Esperanza)	21.4611	-98.3208	471	Huizache	21.4072	-98.3191
445	Guayabal Segunda	21.4097	-98.3007	472	Sergio Herrera del Ángel	21.3575	-98.3293
446	El Sacrificio	21.3819	-98.3647	473	Ernesto del Ángel	21.1525	-98.1255
447	El Ojital	21.3806	-98.3963	474	El Chote	21.3628	-98.2632
448	La Papatla (Piedras Chinas)	21.3894	-98.3919	475	Parada la Laja	21.4481	-98.3113
449	Chupadero	21.2883	-98.2189	476	San Simón	21.2536	-98.2478

477	El Rodeo	21.3725	-98.3549	504	Cerro de Lima	21.1808	-98.1928
478	La Mula	21.5325	-98.2414	505	El Coyol	21.3669	-98.0969
479	El Sujeto	21.5625	-98.1411	506	Miguel Pacheco	21.3639	-98.1111
480	Palmarito	21.5378	-98.2016	507	El Azar	21.3508	-98.1374
481	La Campana	21.5214	-98.2430	508	El Bajío	21.4581	-98.1994
482	María Luisa	21.5208	-98.2461	509	Dos Arroyos	21.3264	-98.1596
483	El Rincón	21.5286	-98.2321	510	Los Cedros	21.5781	-98.0411
484	Celaya	21.5156	-98.2405	511	Las Claves	21.4594	-98.1946
485	La Mata	21.4717	-98.2438	512	El Coyol	21.3017	-98.1477
486	Finca Uñon	21.2786	-98.2299	513	El Crucero	21.4186	-98.2494
487	Veredas	21.4364	-98.1439	514	Las Cumbres	21.3308	-98.1038
488	La Cimarrona	21.3514	-98.3393	515	Dos Hermanos	21.5278	-98.1639
489	El Sacrificio	21.5950	-98.0847	516	El Edén	21.3489	-98.1399
490	Dos de Bastos	21.2778	-98.1569	517	La Herradura (Miguel Pacheco)	21.3578	-98.0655
491	Las Cumbres	21.3147	-98.1267	518	Mala Zanja	21.3158	-98.2136
492	El Desfiladero	21.3219	-98.1343	519	La Mata	21.4636	-98.0922
493	San Juan	21.3394	-98.0735	520	El Otatal	21.1642	-98.2024
494	El Alambique	21.3569	-98.2489	521	El Paraíso (El Otatal)	21.1708	-98.2092
495	El Anono	21.3853	-98.3239	522	Los Pericos	21.3817	-98.1163
496	Guayabal Mata del Tigre	21.4017	-98.2524	523	San Agustín (Piedra China)	21.3403	-98.3580
497	Lajitas	21.3506	-98.2103	524	El Porqué	21.5039	-98.0421
498	El Mezquite	21.3594	-98.3457	525	El Pulque	21.3231	-98.1791
499	Zapotal Segundo	21.3972	-98.3306	526	Rancho de Mimí	21.5133	-98.1678
500	Rancho Nuevo Chijolar	21.4461	-98.1830	527	Cinco de Oros	21.5072	-98.1632
501	Las Delicias	21.4325	-98.1641	528	Rayito de Sol	21.1264	-98.1733
502	Palo Lima	21.4881	-98.2131	529	La Remuda	21.2828	-98.2444
503	El Herradero	21.1639	-98.1841	530	El Renegado	21.3183	-98.3544

531	Sabana Grande	21.1917	-98.0939	559	San Javier	21.5569	-98.1569
532	San Agustín	21.3467	-98.3544	560	El Chubasco Primero	21.4658	-98.2418
533	San Gabriel	21.1989	-98.1505	561	Loma Larga	21.4456	-98.2432
534	San Juan	21.2014	-98.1188	562	El Constante y Anexo (El Paraíso)	21.4694	-98.2347
535	Santa Catalina	21.3456	-98.1516	563	Los Naranjos	21.6086	-98.0668
536	Santa Ely	21.3500	-98.1431	564	Tierra Blanca	21.5686	-98.0410
537	Santa Fe	21.3069	-98.1846	565	Chila	21.4008	-98.0763
538	Las Pastoras	21.2631	-98.2506	566	El Recuerdo	21.3886	-98.0850
539	El Tecolote	21.5203	-98.1464	567	Tazajera Santa Clara	21.2508	-98.1041
540	Terrero	21.3231	-98.3528	568	Altamira	21.5819	-98.0185
541	Tierra Blanca	21.5072	-98.2388	569	El Arbolito	21.5806	-98.0396
542	Topo Chico	21.5567	-98.1693	570	Los Cerritos	21.5931	-98.1083
543	Tres Potrillos	21.3258	-98.1561	571	El Cube	21.5800	-98.0222
544	Tronconal	21.3400	-98.1567	572	El Ebanito	21.5736	-98.0964
545	El Zenit	21.5933	-98.0975	573	El Esfuerzo	21.5839	-98.0949
546	La Ciénega	21.6469	-98.0443	574	Luis Molar Lozano	21.5864	-98.0969
547	El Chotal	21.6500	-98.0366	575	Mata de Otate	21.5800	-98.0885
548	El Porvenir	21.6461	-98.0371	576	Paso de Piedras	21.5728	-98.0299
549	Ramplazo	21.6456	-98.0635	577	El Quebrache	21.5897	-98.0557
550	Palma Redonda	21.6433	-98.0519	578	Rafael Herrera	21.5722	-98.0849
551	Colonia Dieciocho de Marzo	21.3475	-98.2449	579	El Recuerdo	21.5905	-98.0933
552	El Chote	21.3558	-98.2436	580	El Repaso	21.5764	-98.0936
553	Fraccionamiento Dos Arroyos	21.3764	-98.2332	581	Santa Fe	21.5900	-98.0272
554	Buena Vista	21.5483	-98.1566	582	Santa Martha	21.5900	-98.0811
555	Canaima	21.4661	-98.3349	583	Vista Hermosa	21.6147	-98.0769
556	Cerro Chila Pérez	21.4789	-98.1627	584	Bodega Sicar	21.3306	-98.2105
557	La Joya	21.5172	-98.2421	585	El Carrizal	21.2908	-98.3296
558	El Milagro	21.4689	-98.2441	586	El Jobo	21.4531	-98.3267

587	Juan Vera	21.4289	-98.1321	611	El Nopalito	21.6278	-98.0372
588	Villas de Tantoyuca	21.3331	-98.2157	612	El Paraíso	21.6103	-98.0655
589	Jesús Pacheco Hernández	21.2139	-98.1224	613	El Principio	21.6228	-98.0155
590	Joaquín Juárez (La Condesa)	21.2069	-98.2057	614	El Retache	21.6153	-98.0183
591	Miguel Pacheco	21.2067	-98.1216	615	El Triunfo	21.5664	-98.1932
592	La Plata	21.2503	-98.1521	616	La Casita	21.5933	-98.0771
593	Raúl Lince (Tepezquingo)	21.1953	-98.2185	617	La Esperanza	21.6422	-98.0593
594	La Represa	21.2114	-98.1935	618	La Palma	21.5781	-98.1107
595	Ruben Flores Monterrubio	21.2186	-98.1247	619	Loma de Piedra	21.6183	-98.0346
596	La Tinaja	21.3533	-98.3360	620	Paraíso Escondido	21.2247	-98.2442
597	Corral Viejo Laja Primera	21.4286	-98.2824	621	Tres Hermanos	21.6142	-98.0158
598	La Florida	21.3347	-98.3105	622	La Esmeralda	21.3825	-98.0491
599	La Unidad	21.2706	-98.1708	623	Alto la Bruja	21.5336	-98.0736
600	El Guayabal	21.4708	-98.1633	624	Dos Hermanos	21.5889	-98.0750
601	Los Gringos	21.4236	-98.1093	625	El Becerro	21.1778	-98.1930
602	La Piedra	21.2981	-98.3327	626	El Remate	21.5153	-98.0610
603	Las Tres Huastecas	21.3419	-98.3510	627	El Reparto	21.5803	-98.1118
604	Bella Vista	21.5525	-98.2142	628	El Retoño (Martha Alicia Briolat Pérez)	21.3944	-98.1178
605	Buenos Aires	21.6078	-98.0181	629	La Esperanza	21.5689	-98.0733
606	El Acuario	21.5769	-98.0463	630	La Potra	21.3375	-98.0861
607	El Girasol	21.5744	-98.1931	631	Los Cedros (Hector del Ángel Juárez)	21.3669	-98.0582
608	El Indio	21.6086	-98.0100	632	Plan del Higo	21.5569	-98.1444
609	El Limón	21.6331	-98.0292	633	Santa Elena	21.5200	-98.0693
610	El Maguey	21.5103	-98.0824				

140	14100	14200	14300	14400	14500	14600	14700	14800	14900	15000	15100	15200	15300	15400	15500	15600	15700	15800	15900	16000	16100	16200	16300	16400	16500	16600	16700	16800	16900	17000	17100	17200	17300	17400	17500	17600	17700	17800	17900	18000
141	18100	18200	18300	18400	18500	18600	18700	18800	18900	19000	19100	19200	19300	19400	19500	19600	19700	19800	19900	20000	20100	20200	20300	20400	20500	20600	20700	20800	20900	21000	21100	21200	21300	21400	21500	21600	21700	21800	21900	22000
142	22100	22200	22300	22400	22500	22600	22700	22800	22900	23000	23100	23200	23300	23400	23500	23600	23700	23800	23900	24000	24100	24200	24300	24400	24500	24600	24700	24800	24900	25000	25100	25200	25300	25400	25500	25600	25700	25800	25900	26000
143	26100	26200	26300	26400	26500	26600	26700	26800	26900	27000	27100	27200	27300	27400	27500	27600	27700	27800	27900	28000	28100	28200	28300	28400	28500	28600	28700	28800	28900	29000	29100	29200	29300	29400	29500	29600	29700	29800	29900	30000
144	31100	31200	31300	31400	31500	31600	31700	31800	31900	32000	32100	32200	32300	32400	32500	32600	32700	32800	32900	33000	33100	33200	33300	33400	33500	33600	33700	33800	33900	34000	34100	34200	34300	34400	34500	34600	34700	34800	34900	35000
145	36100	36200	36300	36400	36500	36600	36700	36800	36900	37000	37100	37200	37300	37400	37500	37600	37700	37800	37900	38000	38100	38200	38300	38400	38500	38600	38700	38800	38900	39000	39100	39200	39300	39400	39500	39600	39700	39800	39900	40000
146	41100	41200	41300	41400	41500	41600	41700	41800	41900	42000	42100	42200	42300	42400	42500	42600	42700	42800	42900	43000	43100	43200	43300	43400	43500	43600	43700	43800	43900	44000	44100	44200	44300	44400	44500	44600	44700	44800	44900	45000
147	46100	46200	46300	46400	46500	46600	46700	46800	46900	47000	47100	47200	47300	47400	47500	47600	47700	47800	47900	48000	48100	48200	48300	48400	48500	48600	48700	48800	48900	49000	49100	49200	49300	49400	49500	49600	49700	49800	49900	50000
148	51100	51200	51300	51400	51500	51600	51700	51800	51900	52000	52100	52200	52300	52400	52500	52600	52700	52800	52900	53000	53100	53200	53300	53400	53500	53600	53700	53800	53900	54000	54100	54200	54300	54400	54500	54600	54700	54800	54900	55000
149	56100	56200	56300	56400	56500	56600	56700	56800	56900	57000	57100	57200	57300	57400	57500	57600	57700	57800	57900	58000	58100	58200	58300	58400	58500	58600	58700	58800	58900	59000	59100	59200	59300	59400	59500	59600	59700	59800	59900	60000
150	61100	61200	61300	61400	61500	61600	61700	61800	61900	62000	62100	62200	62300	62400	62500	62600	62700	62800	62900	63000	63100	63200	63300	63400	63500	63600	63700	63800	63900	64000	64100	64200	64300	64400	64500	64600	64700	64800	64900	65000
151	66100	66200	66300	66400	66500	66600	66700	66800	66900	67000	67100	67200	67300	67400	67500	67600	67700	67800	67900	68000	68100	68200	68300	68400	68500	68600	68700	68800	68900	69000	69100	69200	69300	69400	69500	69600	69700	69800	69900	70000
152	71100	71200	71300	71400	71500	71600	71700	71800	71900	72000	72100	72200	72300	72400	72500	72600	72700	72800	72900	73000	73100	73200	73300	73400	73500	73600	73700	73800	73900	74000	74100	74200	74300	74400	74500	74600	74700	74800	74900	75000
153	76100	76200	76300	76400	76500	76600	76700	76800	76900	77000	77100	77200	77300	77400	77500	77600	77700	77800	77900	78000	78100	78200	78300	78400	78500	78600	78700	78800	78900	79000	79100	79200	79300	79400	79500	79600	79700	79800	79900	80000
154	81100	81200	81300	81400	81500	81600	81700	81800	81900	82000	82100	82200	82300	82400	82500	82600	82700	82800	82900	83000	83100	83200	83300	83400	83500	83600	83700	83800	83900	84000	84100	84200	84300	84400	84500	84600	84700	84800	84900	85000
155	86100	86200	86300	86400	86500	86600	86700	86800	86900	87000	87100	87200	87300	87400	87500	87600	87700	87800	87900	88000	88100	88200	88300	88400	88500	88600	88700	88800	88900	89000	89100	89200	89300	89400	89500	89600	89700	89800	89900	90000
156	91100	91200	91300	91400	91500	91600	91700	91800	91900	92000	92100	92200	92300	92400	92500	92600	92700	92800	92900	93000	93100	93200	93300	93400	93500	93600	93700	93800	93900	94000	94100	94200	94300	94400	94500	94600	94700	94800	94900	95000
157	96100	96200	96300	96400	96500	96600	96700	96800	96900	97000	97100	97200	97300	97400	97500	97600	97700	97800	97900	98000	98100	98200	98300	98400	98500	98600	98700	98800	98900	99000	99100	99200	99300	99400	99500	99600	99700	99800	99900	100000

Bibliografía

Bibliografía

- Albandoz, J. P. (n.d.). *El problema de Mediana ordenada en localización*. 1–8. Retrieved from http://www-eio.upc.es/personal/homepages/elena/Tutoriales/tutorial_JPuerto.pdf
- Avella, P., Boccia, M., Salerno, S., & Vasilyev, I. (2012). An aggregation heuristic for large scale p-median problem. *Computers and Operations Research*, *39*(7), 1625–1632. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.09.016>
- Bastías, A., Padilla, E., Ortega, R., & Oliva, C. (2010). Algoritmo basado en discriminación por distancias con búsqueda global aplicado al problema de la p-mediana. *INGENIERIA INDUSTRIAL*, *9*(1), 87–94.
- Bernabe, M., Gonzalez, R., Granillo, E., Romero, M., & Barrera, R. (2019). *P-Median Problem: A Real Case Application* (Vol. 1181). https://doi.org/10.1007/978-3-030-49342-4_18
- Canós Darós, L., Martínez Romero, M., & Mocholi Arce, M. (2005). Un algoritmo para el cálculo del conjunto dominante finito del problema generalizado de la p-centdiana. *Rect@*, *6*(1), 87–112.
- CEIEG. (2019). sistema de información municipal. *Cuadernillos Municipales*. Retrieved from http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2019/06/Tantoyuca_2019.pdf
- CEIEG, SEFIPLAN, & SEGOB. (2015). *SISTEMA DE INFORMACION MUNICIPAL*. Retrieved from <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2016/05/Tantoyuca1.pdf>
- Davoodi, M. (2019). k-Balanced Center Location problem: A new multi-objective facility location problem. *Computers and Operations Research*, *105*, 68–84. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.01.009>
- Erdoğan, G., Laporte, G., & Rodríguez Chía, A. M. (2016). Exact and heuristic algorithms for the Hamiltonian p-median problem. *European Journal of Operational Research*, *253*(2), 280–289. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.012>
- Fathali, J., & Zaferanieh, M. (2018). The balanced 2-median and 2-maxian problems on a tree. *ArXiv*, 1–19.
- Fernandez, Bargas Fabiano, Queiroz, L. W., Caporusso, B. D., Bernardino, N. M., & Pinto, M. P. P. C. (2016). Location problem method applied to sugar and ethanol mills location optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *65*, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.079>
- Gamez, A. H. M., Orejuela, C. J. P., Salas, A. O. A., & Bravo, B. J. J. (2016). De Zonas De Mercado : Una Aproximación Práctica Application of Kohonen Maps for the Prioritization

of Market Areas : a Practical Approach Áreas De Mercado : Uma Aproximação Prática. *EIA*, 13(25), 157–169. <https://doi.org/10.14508/reia.2016.13.25.157-169>

Gollowitzer, S., Gouveia, L., Laporte, G., Pereira, D. L., & Wojciechowski, A. (2014). A comparison of several models for the hamiltonian p-median problem. *Networks*, 63(4), 350–363. <https://doi.org/10.1002/net.21550>

Gonzalez, H. (2010). *Geografía del Municipio de Tantoyuca ver.* Obtenido de <http://tantoyuca-ver.blogspot.com/2010/10/geografia-del-municipio-de-tantoyuca.html>

Güden, H., & Süral, H. (2019). The dynamic p-median problem with mobile facilities. *Computers and Industrial Engineering*, 135(May), 615–627. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.024>

INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. *Clave Geoestadística*, 9. Retrieved from <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/20deoctubrede2009.%0Ahttp://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/30/30189.pdf>

Jánošíková, L., Gábrišová, L., & Ježek, B. (2015). Load balancing location of emergency medical service stations. *E a M: Ekonomie a Management*, 18(3), 30–40. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2015-3-003>

Jánošíková, L., Herda, M., & Haviar, M. (2017). Hybrid genetic algorithms with selective crossover for the capacitated p-median problem. *Central European Journal of Operations Research*, 25(3), 651–664. <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0471-1>

Janosikova, L., & Vasilovsky, P. (2017). Grouping genetic algorithm for the capacitated p-median problem. *Proceedings of the International Conference on Information and Digital Technologies, IDT 2017*, 152–159. <https://doi.org/10.1109/DT.2017.8024288>

Karatas, M., Razi, N., & Tozan, H. (2016). A comparison of p-median and maximal coverage location models with Q-coverage requirement. *Procedia Engineering*, 149(June), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.652>

Kariv, O., & Hakimi, S. . (1979). *AN ALGORITHMIC APPROACH TO NETWORK LOCATION PROBLEMS. I: THE p-CENTERS**. 37(3), 513–538. Retrieved from Downloaded 01/01/13 to 150.135.135.70. Redistribution subject to SIAM license or copyright; see <http://www.siam.org/journals/ojsa.php%0ASIAM>

Köhn, H. F., Steinley, D., & Brusco, M. J. (2010). The p-Median Model as a Tool for Clustering Psychological Data. *Psychological Methods*, 15(1), 87–95. <https://doi.org/10.1037/a0018535>

Laasasenaho, K., Lensu, A., Lauhanen, R., & Rintala, J. (2019). GIS-data related route optimization, hierarchical clustering, location optimization, and kernel density methods are useful for promoting distributed bioenergy plant planning in rural areas. *Sustainable Energy*

- Technologies and Assessments*, 32(October 2018), 47–57.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.01.006>
- Lin, G., & Guan, J. (2018). A hybrid binary particle swarm optimization for the obnoxious p-median problem. *Information Sciences*, 425, 1–17.
<https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.10.020>
- Lüer Villagra, A., Venegas Quintrileo, B., & Bustos Gómez, J. (2009). Estrategias de paralelización de metaheurísticas aplicadas a problemas de localización de instalaciones. *Revista Ingeniería Industrial*, 8(2), 75–90.
- Martí, R., Corberán, Á., & Peiró, J. (2015). Scatter search for an uncapacitated p-hub median problem. *Computers and Operations Research*, 58, 53–66.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.12.009>
- Mazzetto, A., Pietracaprina, A., & Pucci, G. (2019). Accurate MapReduce algorithms for κ -median and κ -means in general metric spaces. *ArXiv*, 1–15.
- Mousalli-Kayat, G. (2015). Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. *Mérida*, (June), 1–39. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.9446>
- Mu, W., & Tong, D. (2019). On solving large p-median problems. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(6), 981–996.
<https://doi.org/10.1177/2399808319892598>
- Muñoz, B. cesar adrian, Alfonso, G. R., & Toro, O. E. M. (2011). Comparación Del Desempeño Del Algoritmo Genético De Chu-Beasley Y El Algoritmo Colonia De Hormigas En El Problema De P-Mediana. *Scientia et Technica*, 1(47), 213–218.
<https://doi.org/10.22517/23447214.531>
- ONU, INFONAVIT, SEDATU, & CIDS. (2018). *Índice básico de las ciudades prósperas*. Retrieved from http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/cpi/2018/30155_Tantoyuca.pdf
- Pulgarín, H. D. M., & Tabarquino, M. R. A. (2016). Análisis del diseño de una red integrada de servicios de salud. *Semestre Económico*, 19(40), 175–212.
<https://doi.org/10.22395/seec.v19n40a7>
- Resende, M. G. C., & Werneck, R. F. (2004). A Hybrid Heuristic for the p-Median Problem. *Journal of Heuristics*, 10(1), 59–88. <https://doi.org/10.1023/B:HEUR.0000019986.96257.50>
- Sedesol. (2017). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2017. *Subsecretaría de Planeación, Evaluación y Desarrollo Social, 2015–2017*. Retrieved from http://diariooficial.gob.mx/SEDESOL/2017/Veracruz_155.pdf
- Segob, & Sefiplan. (2016). sistema de información municipal. *Cuadernillos Municipales*. Retrieved from <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2016/05/Tantoyuca.pdf>

Tinoco, G. (2013). Antecedentes: Distancia entre dos puntos. *Espacio de Formacion Multimodal*, 5. Retrieved from <http://www.geogebraTube.org/student/c6961/m67380/ylyy>

Tuba, E., Strumberger, I., Bacanin, N., & Tuba, M. (2018). Bare bones fireworks algorithm for capacitated p-median problem. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93815-8_28

Vadoudi, K., & Troussier, N. (2015). Territory based industrial product-service system design. *Procedia CIRP*, 30, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.097>

Abreviaturas / SIGLAS

(SEGOB) secretaria de gobernación

(CEIEG) comité estatal de información estadística y geográfica de Veracruz

(CONAPO) Consejo Nacional de Población.

(CONEVAL) Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.

(FISM) Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social Municipal.

(FORTAMUNDF) Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de los Municipios.

(INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

(INVEDEM) Instituto Veracruzano de Desarrollo Municipal.

(ISSSTE) Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado.

(PNUD) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México.

(SAGARPA) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

(SEFIPLAN) Secretaría de Finanzas y Planeación del Gobierno de Veracruz de Ignacio de la Llave.

(SEV) Secretaría de Educación del Gobierno de Veracruz de Ignacio de la Llave.

(SS) Secretaría de Salud del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave