

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS Y
CAMBIO CLIMÁTICO

ELABORACIÓN DE TEXTO:

MANUAL PARA DETERMINAR EL IMPACTO
SOCIOAMBIENTAL DE LA DISPONIBILIDAD DE
AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE TUXTLA
GUTIÉRREZ, CHIAPAS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:

BERENICE CASTELLANOS MÉNDEZ

DIRECTOR:

DR. MARCELINO GARCÍA BENÍTEZ

REVISORES:

DR. EMMANUEL DÍAZ NIGENDA

DR. WILLIAMS VÁZQUEZ MORALES

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS, ENERO 2022





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS
Fecha: ENERO 18, 2022

C. BERENICE CASTELLANOS MÉNDEZ

Pasante del Programa Educativo de: **LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Manual para determinar el impacto socioambiental de la disponibilidad del recurso hídrico en la ciudad

de Tuxtla Gutiérrez Chiapas

En la modalidad de: **ELABORACIÓN DE TEXTO**

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

DR. EMMANUEL DÍAZ NIGENDA

DR. WILLIAMS VÁZQUEZ MORALES

DR. MARCELINO GARCÍA BENÍTEZ

Firmas:

Ccp. Expediente

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a:

Mis padres por haber sido ellos el principal motor que me impulsó a seguir a delante y alcanzar mis objetivos, por confiar siempre en mí y por estar siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio, por enseñarme a no rendirme sin antes dar todo de mí.

A mis hermanos Floritulia, Irene y José por su apoyo, cariño y paciencia incondicional, por estar conmigo en este proceso de aprendizaje.

A Camila, Abril y Raquel por su gran amor y cariño eterno, por acompañarme siempre y nunca separarse de mí, especialmente en las noches de desvelo.

Al Dr. Marcelino por su paciencia y por haberme dado la oportunidad de trabajar con él.

Hoy que concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro, como una meta más conquistada.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme concluir una etapa más de mi vida junto a los seres que más amo.

A mi madre por siempre apoyarme, impulsarme y darme palabras de aliento que me animaban a seguir adelante.

A mi padre quien siempre me dio su apoyo incondicional y por nunca dejarme sola, por acompañarme siempre a todos lados.

A mis hermanos por siempre estar conmigo y ayudarme en los momentos que los necesité.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Por hacer un gran esfuerzo de solventar los gastos necesarios para mi educación.

Al Dr. Marcelino por haber confiado en mí para desarrollar juntos este proyecto, por brindarme su tiempo a pesar de estar ocupado, por la paciencia y apoyo, por recibirme con la mejor amabilidad y cariño desde el Servicio Social. Estoy infinitamente agradecida por la confianza y el gran aprendizaje que me brindó.

A mis revisores el Dr. Emmanuel y el Dr. Williams quienes fueron indispensables para la elaboración de este proyecto, por brindarme de su conocimiento y tiempo que permitió mejorar este trabajo.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas por permitirme ser parte de esta gran institución, al IIGERCC y al cuerpo académico que lo conforma por siempre esmerarse en dar lo mejor de ellos, por las enseñanzas de sus valiosos conocimientos que me hicieron crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Al gobierno federal por brindarme una beca económica para iniciar mi titulación.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCION	1
II. JUSTIFICACIÓN	4
III. OBJETIVOS	7
IV. METODOLOGÍA	9
ANEXO A. MANUAL PARA DETERMINAR EL IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE	13
A.1. Introducción	15
A.2. Justificación	16
A.3. Objetivos	17
A.4. Metodología	18
A.4.1. Descripción del modelo	18
A.4.2. Descripción de indicadores	20
A.4.2.1. Definición de indicadores	22
A.4.2.1.1. Variables de Presión	22
A.4.2.1.2. Variables de Estado	24
A.4.2.1.3. Variables de Respuesta	32
A.5. Interpretación de resultados	36
A.6. Ejemplo de aplicación del modelo PER en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	37
A.6.1. Desarrollo del modelo	39
A.6.2. Resultados	54
ANEXO B. CARTOGRAFIA	56
BIBLIOGRAFÍA	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A.1. Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta.	18
Figura.B.1. Ubicación de la Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	57
Figura B.2. Población total en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	58
Figura B.3. Zonificación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	59
Figura B.4. Clima en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.....	60
Figura B.5. Hidrología de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez	61
Figura B.6. Edafología de la ciudad Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.....	62
Figura B.7. Crecimiento urbano de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.....	63
Figura B.8. Disponibilidad del servicio de agua en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	64
Figura B.9. Volumen del consumo de agua potable de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	65
Figura B.10. Red hidráulica en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A.1. Matriz de indicadores propuestos del modelo PER.....	21
Tabla A.2. Especificaciones sanitarias físicas	27
Tabla A.3. Especificaciones sanitarias químicas.....	27
Tabla A.4. Cumplimiento gradual para fluoruro	28
Tabla A.5. Especificaciones sanitarias metales y metaloides.....	28
Tabla A.6. Cumplimiento gradual para arsénico y cadmio	29
Tabla A.7. Especificaciones sanitarias microbiológicas	30
Tabla A.8. Especificaciones sanitarias de fitotoxinas	30
Tabla A.9. Especificaciones sanitarias de radiactividad	31
Tabla A.10. Unidades de suelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	38
Tabla A.11. Capacidad de los sistemas de bombas en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez	39
Tabla A.12. Consumo de agua diario por AGEB.....	43
Tabla A.13. Sistema de bombeo de Tuxtla Gutiérrez	48
Tabla A.14. Tarifa de cuota de conexión a los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario	53

I. INTRODUCCIÓN

El agua es fundamental para la vida, así como para la realización de las actividades cotidianas. Debido a que el problema de la disponibilidad de agua se agrava cada día más y la población aumenta de forma incontrolada surge la necesidad de desarrollar un manual teniendo como caso de estudio la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas con la finalidad de conocer el impacto que ha generado la expansión urbana ante el agua potable a nivel de Área Geoestadística Básica Urbana (AGEB) a través del modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) desde un enfoque socioambiental, con indicadores ambientales como la cantidad de agua disponible, el consumo diario por habitante, las fuentes primarias y secundarias de extracción, entre otros.

Se considera que la capital del estado de Chiapas tiene un déficit de distribución de agua, debido a una serie de limitantes entre las cuales se puede mencionar las fugas y la distribución poblacional que dificulta el abastecimiento equitativo del recurso hídrico. Lo que implica que más de 50% de la población de la ciudad tenga una baja disponibilidad del recurso por habitante.

Con este trabajo se pretende aportar información para generar planes de mejoramiento de la distribución, y aumento de la calidad del servicio de distribución de agua potable y atender las dificultades que presenta la falta de agua ya que en el artículo 4º constitucional, establece que toda persona tiene derecho al acceso, disposición, saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. (Orozco, 2021).

En este sentido, el presente trabajo se compone de cuatro capítulos y dos anexos; la introducción, objetivos, justificación y metodología forman parte de los cuatro capítulos. En el primer anexo se desarrolla el manual que se divide en tres apartados, en el primer apartado aborda la descripción de la metodología utilizada, mientras que en el segundo apartado se

propone los indicadores para la evaluación del impacto socioambiental y se finaliza con la aplicación del caso de estudio de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En este se desarrolla los indicadores propuestos en la metodología que permite la elaboración de un anexo cartográfico donde se ilustran los datos obtenidos mediante mapas a escala de AGEB, que nos permite describir la problemática del agua en la ciudad, finalmente en el segundo anexo se ilustran los mapas elaborados de acuerdo con los resultados de los indicadores.

II. JUSTIFICACIÓN

Para enfrentar la problemática de la distribución del agua potable de hoy en día, es necesario tener en cuenta que la cantidad de líquido que existe en la tierra continúa siendo la misma desde hace 3,000 millones de años. El 97.5% de esa agua es salada y sólo el 2.5% restante es dulce. De este último porcentaje, el 70% está congelada en glaciares y capas de nieve permanentes, el 29.4% en el subsuelo, el 0.35% en lagos o pantanos y sólo el 0.01 en ríos o corrientes superficiales.

Como se desprende de estos datos, el porcentaje de agua dulce disponible es mucho menor que el de agua salada; aun así, los sistemas de agua dulce tienen una enorme relevancia para múltiples fenómenos meteorológicos (regulación de la temperatura y los climas) así como para la reproducción de la vida en general. La supervivencia de los seres humanos, y la de miles de especies con las que compartimos el planeta, depende directamente de la conservación de los ecosistemas de agua dulce (Rivas, 2010).

Según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2017), México tiene 653 acuíferos de los cuales el estado de Chiapas tiene 15, aporta el 30% de agua dulce al país, cuenta con la mayor disponibilidad de aguas superficiales con 92 mil hectómetros cúbicos y una reserva de agua subterránea de 2 mil 500 hectómetros cúbicos.

El estado de Chiapas cuenta con una riqueza natural y cultural, en la entidad confluyen ríos, lagos y manantiales que están ubicados en dos de las regiones hidrológicas más importantes del país: la región costera y la del Grijalva-Usumacinta (CONAGUA, 2017).

El 70% de la población del estado no tiene acceso a agua potable y saneamiento, sólo el 26% de las viviendas cuenta con agua entubada ya que alrededor del 40% a 50% del recurso se desperdicia en fugas por la deficiencia en la red hidráulica (CONAPO, 2010).

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez es la más extensa, poblada y urbanizada del estado, actualmente es complicado llevar el recurso hídrico a todos los habitantes; ante una población dinámica en aumento, por lo que el reto de abastecer de agua potable a todas las áreas de la ciudad no es sencillo. Para abastecer del recurso se aprovechan las aguas superficiales que afloran en la cuenca del río Grijalva, así como parte de los escurrimientos de los ríos Santo Domingo, en este sitio de captación están implícitos los escurrimientos del río Suchiapa (ODM, 2011).

El abastecimiento de agua potable a la ciudad presenta serias deficiencias a pesar de que se ubica en una zona de abundante agua, debido principalmente a la falta de infraestructura en las redes de conducción y de distribución, por lo que el suministro se realiza con pipas principalmente en las zonas sur poniente y poniente norte (Gutiérrez, 2011).

El agua potable es un bien limitado y su calidad depende de diferentes factores. El más importante, es el consumo de agua por parte de las personas para satisfacer algunas de sus necesidades básicas. Debido al crecimiento de la población, la escasez de agua potable es uno de los principales problemas en la actualidad y por ello es significativo conocer los requerimientos de consumo para poder planificar su adecuada distribución. Es por ello por lo que el manual determinará el grado de impacto generado ante la disponibilidad de agua potable, a través de la obtención de los resultados de los indicadores se puede clasificar en que rango de impacto socioambiental se encuentra la ciudad.

III. OBJETIVOS

➤ Objetivo General

Elaborar un manual para evaluar el impacto socioambiental de la disponibilidad de agua potable tomando como caso de estudio la ciudad de Tuxtla Gutiérrez a escala de AGEB urbano.

➤ Objetivos particulares

- Identificar qué tan viable es implementar el modelo PER para la evaluación de la disponibilidad de agua potable.
- Conocer la importancia por la cual debe llevarse a cabo una evaluación del impacto socioambiental de la disponibilidad de agua potable.
- Presentar una matriz de indicadores que brinde el alcance y grado de profundidad de acuerdo con las necesidades del proyecto

IV. METODOLOGÍA

El manual tiene como objetivo evaluar el impacto socioambiental del agua potable para diferentes localidades a una escala de mayor precisión como lo es la escala AGEB urbano, utilizando la metodología PER, la cual consiste en el establecimiento de la interrelación entre las actividades humanas (presión) y su impacto en el estado del medioambiente (estado), con ello se generan las acciones a realizar para atender la problemática en cuestión (respuesta) a través de indicadores (SIASEG S. d., 2012). La elaboración del manual surge como una opción extra a partir de las limitaciones en la obtención de la información indispensable para realizar un documento de investigación científica en la que se evaluaría el impacto socioambiental de forma compleja, es por ello por lo que el manual tiene el mismo objetivo, pero describiendo los pasos a realizar para alcanzarlo.

El documento fue elaborado con base a la metodología PER, que es un método en el que se utilizan indicadores ambientales y/o sociales, además de que sus variables nos permiten conocer el estado actual del medio ambiente, facilita el análisis de los vínculos que existen entre las condiciones ambientales y las actividades humanas. Para abordar el proceso metodológico del modelo PER se realizó una exhausta investigación de indicadores que ayudan a evaluar el impacto socioambiental, finalmente se eligió una serie de parámetros para las variables de presión, estado y respuesta, los cuales se dividieron en dos grupos, los indicadores ambientales forman parte del primer grupo, entre los cuales se encuentran:

- Cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento
- Fuentes primarias y secundarias de extracción
- Índice de calidad del agua para el abastecimiento público
- Disponibilidad media per cápita por habitante
- Pago por servicios ambientales

mientras en el segundo se encuentran los indicadores sociales:

- Gasto promedio de la ciudad
- Cantidad de agua repartida a las colonias
- Consumo de agua por AGEB
- Incremento de la demanda hídrica
- Fugas de agua y mal estado de infraestructuras
- Intervención del gobierno municipal
- Reparación de infraestructura
- Inversión en rehabilitación y operación de infraestructura hidráulica.

A lo largo del manual, cada indicador propuesto se describe de manera general, así como también se agregan fórmulas para la obtención de parámetros requeridos. La escala de trabajo es a nivel de AGEB urbano, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es una área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etcétera, y sólo son asignadas al interior de las zonas urbanas que son aquellas con población mayor o igual a 2,500 habitantes y en las cabeceras municipales (CONEVAL, 2020); la elección de la escala de trabajo fue debido a que la delimitación es más precisa y la información es más detallada y de fácil acceso.

El manual que se presenta en el anexo A se divide en seis secciones, en el primer apartado se inicia con la introducción donde se aborda el contenido del Manual, el segundo apartado describe la importancia de la elaboración del documento, en el tercer apartado se enlistan los objetivos que definen los alcances del trabajo, el cuarto apartado describe el proceso metodológico del modelo PER y de los indicadores utilizados, en el quinto apartado se

desarrolla la interpretación de los resultados obtenidos a través de los indicadores y finalmente en sexto apartado se aplicó el modelo PER tomándose como caso de estudio de ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

**ANEXO A. MANUAL PARA DETERMINAR EL
IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DE LA
DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE**



MANUAL PARA DETERMINAR EL IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE CON EL MODELO PER A NIVEL AGEB

Caso de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Berenice Castellanos Méndez



A.1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo las ciudades experimentan diferentes cambios, el más importante y que siempre está en constante cambio es el crecimiento poblacional, al ocurrir esta transformación la población demanda de mayor cantidad y calidad de los servicios básicos.

Uno de los elementos indispensables para la subsistencia y la realización de las actividades cotidianas es el agua potable, cuyo requerimiento con el paso del tiempo, ha ido en aumento.

El agua es considerada como el motor de vida y desarrollo de las ciudades en particular, “como recurso vital que promueve el desarrollo de las familias” (PNH, 2014, pág. 11), y a la adecuada disponibilidad y calidad como pilares del desarrollo nacional. Por todo ello, se considera que: “Tenemos la enorme responsabilidad de planear adecuadamente las acciones que llevaremos a cabo para administrar y gestionar nuestras aguas nacionales en forma sostenida, sustentable y responsable, considerando el cambio climático, el crecimiento demográfico y las necesidades de la industria, el campo y el abastecimiento público urbano” (PNH, 2014, pág. 11).

La planeación y gestión integrada del agua potable sólo considera el crecimiento poblacional, y se piensa que: “Proveer los servicios de agua a las ciudades es ya un reto, pero más lo será en un futuro debido a la combinación del crecimiento poblacional y la elevada tasa de urbanización” (Cedillo, 2017, pág. 3).

Con base en lo anterior, este manual va dirigido a toda la población en general que desee evaluar el impacto socioambiental de la disponibilidad de agua potable de su localidad, por lo que su elaboración fue planeada para el fácil acceso y entendimiento.

A.2. JUSTIFICACIÓN

El intenso crecimiento demográfico e industrial, la falta de estrategias de planeación y manejo, así como el desconocimiento del valor ecológico y socioeconómico de los ecosistemas, han generado graves problemas de contaminación e impacto ambiental y la pérdida de valiosos recursos naturales y económicos en todo el mundo. Esta situación ha determinado la necesidad de incorporar la variable ambiental y los criterios ecológicos dentro de las políticas orientadas hacia la planificación y el desarrollo sustentable de las actividades humanas, con el fin de hacer compatibles la conservación y el aprovechamiento de los recursos naturales con el desarrollo social y económico (SEMARNAT, 2012).

Toda actividad humana provoca directa o indirectamente impactos en el ambiente, de este modo se hace necesario evaluar el impacto socioambiental de la disponibilidad del agua potable, a través del modelo PER (Presión, Estado, Respuesta) con ayuda de indicadores. Su importancia radica en que es un instrumento de planificación, gestión y control del proceso de urbanización y de ordenamiento territorial. El modelo PER tiene como propósito fundamental detectar todas las consecuencias significativas, benéficas y adversas para la ciudad, para que quienes toman decisiones cuenten con elementos científico – técnicos que les apoyen para determinar la mejor opción. En este sentido, la elaboración del presente manual para la implementación del modelo facilitará desarrollar un instrumento de política ambiental, para plantear opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del medio ambiente y la conservación del recurso hídrico.

A.3. OBJETIVOS

Evaluar el impacto socioambiental de la disponibilidad de agua potable tomando como caso de estudio la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, a escala de AGEB urbano.

➤ **Objetivos particulares**

- Identificar los AGEB con mayor consumo de Agua potable con el fin de conocer si se suministra la cantidad de agua necesaria.
- Definir los AGEB con menor disponibilidad de agua para evaluar la disponibilidad de agua potable.
- Determinar si la cantidad de agua extraída es suficiente para cubrir las necesidades de la población.

A.4. METODOLOGÍA

A.4.1. Descripción del modelo

El modelo PER (Figura A.1) obedece a una lógica según la cual las actividades humanas ejercen presiones sobre el entorno y los recursos naturales, alterando en mayor o menor medida su estado inicial; por lo que, con ayuda de indicadores se podrá medir el impacto generado (Tiburcio, 2011).

Este modelo fue desarrollado por primera vez por Friend y Rapport (Neculqueo, 2001) a finales de la década de los 80's, y adoptado y difundido por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD). PER considera que las actividades humanas ejercen presión de una manera directa e indirecta sobre el ambiente, afectando su calidad y cantidad de recursos naturales (estado). La sociedad responde a estas presiones adoptando políticas ambientales, económicas y sectoriales, tomando conciencia de las acciones llevadas a cabo (respuesta) (OECD, 2002).

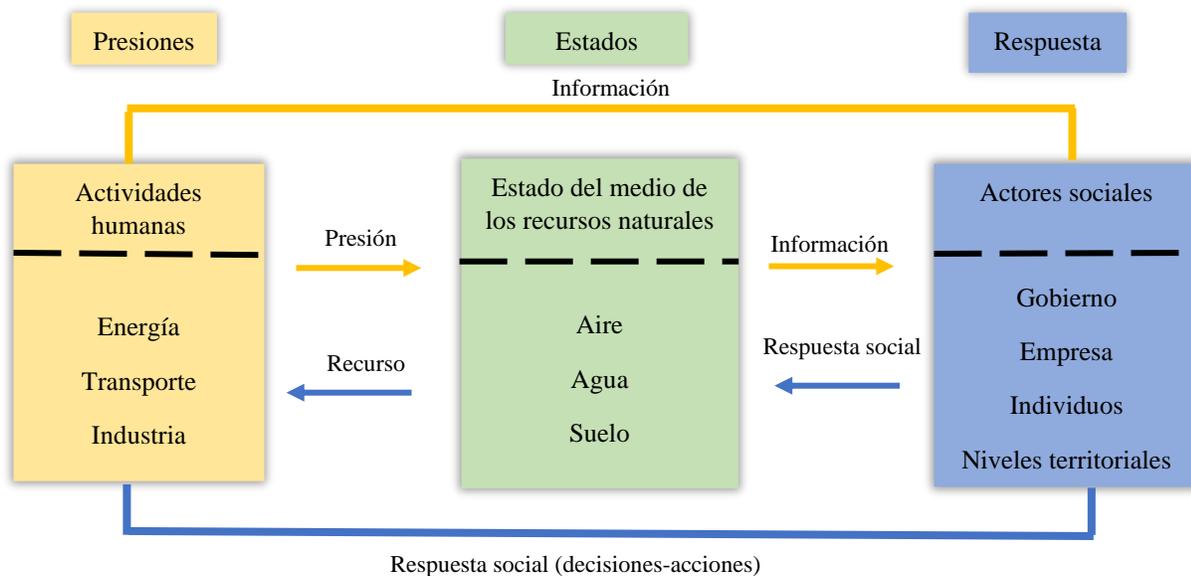


Figura A.1. Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta. Tomado de Fajardo (2016)

Los indicadores de presión son aquellos elementos que ejercen alguna presión sobre las condiciones del medioambiente o los recursos naturales. Estos a su vez se clasifican en aquellos en que las actividades humanas ocasionan afectaciones directas al medioambiente, y en aquellos indicadores que reflejan la evolución de las actividades humanas en sí, que por su crecimiento o modificación influye negativamente al ambiente.

Los indicadores de estado son aquellos que muestran la calidad ambiental y situación de los recursos naturales a través del tiempo. Su importancia consiste en que también son los que indican la salud de la población y los ecosistemas en su interrelación con las actividades humanas. Por ello, son el principal fundamento de las políticas de protección ambiental.

En el caso de los indicadores de respuesta, estos van dirigidos a la atención de los agentes de presión y de las variables de estado. Este tipo de indicadores pueden ser muy diversos y específicos a la vez; en comparación con los anteriores, describen situaciones muy particulares del ambiente o de los recursos naturales. Incluso en este tipo de indicadores es común que su naturaleza no sea cuantitativa y que para su evaluación se requiera del estudio de la percepción de la sociedad (SEMARNAT, 2017).

Los indicadores ambientales proporcionan información oportuna, precisa y fiable acerca del ambiente y el desarrollo sustentable durante la toma de decisiones. Asimismo, los indicadores sirven para identificar aquellas fuerzas que contribuyen hacia el mejoramiento o la degradación de las condiciones económicas, sociales y ambientales, permitiendo establecer metas precisas de acciones futuras para que, a su vez, los gobiernos y la sociedad civil evalúen avances en sus acciones.

De acuerdo con SIASEG (2012), la importancia del desarrollo de indicadores radica en tres objetivos ambientales fundamentales que permiten alcanzar el desarrollo sustentable:

- Proteger la salud humana y el bienestar general de la población.
- Garantizar el aprovechamiento sustentable de los recursos.
- Conservar la integridad de los ecosistemas.

A.4.2. Descripción de indicadores

Para evaluar el impacto socioambiental utilizaremos los indicadores de las variables del modelo PER que se presentan en la tabla A.1 los cuales se dividen en dos categorías, el primero son los indicadores ambientales que, según la OCDE es un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo (SNIA, 2011) y el segundo son los indicadores sociales los cuales son instrumentos de medición del bienestar y nos facilitan medir niveles, distribución y cambios en el bienestar social, así como identificar, describir y explicar relaciones relevantes entre distintas variables referidas al bienestar de las personas (Cecchini, 2005).

La matriz de indicadores fue construida a partir de dicho modelo a través de una exhausta investigación de indicadores ambientales que pudiera aportar información sobre el estado en qué se encuentra el agua potable de nuestra ciudad, los indicativos enlistados pueden ser modificados de acuerdo con las necesidades de la investigación, así como la limitación de información requerida. A continuación, se describe cada parámetro con la finalidad de comprender y obtener la información necesaria de cada una de las variables.

Tabla A.1. Matriz de indicadores propuestos del modelo PER.

Variables		Indicadores	Fuentes de información
Presión	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Gasto promedio diario de la ciudad • Cantidad de agua repartida a las colonias • Consumo de agua por AGEB 	SMAPA y CONAGUA.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento 	
Estado	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la demanda hídrica • Fugas de agua y mal estado de infraestructuras 	SMAPA Y CONAGUA
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes primarias y secundarias de extracción • Índice de calidad del agua para el abastecimiento público • Disponibilidad media per cápita por habitante 	
Respuesta	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Intervención del gobierno municipal • Reparación de infraestructura • Inversión en rehabilitación y operación de infraestructura hidráulica • Tarifas del agua por uso doméstico 	Informes por instituciones de gobierno municipal y hemerográfica
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Pago por servicios ambientales 	

Fuente: Elaboración propia con información de (SIASEG S. d., 2012)

A.4.2.1 Definición de indicadores

A.4.2.1.1. Variables de presión

- Aspecto social

a) Gasto promedio diario de la ciudad

Se entiende por gasto promedio diario (GPD) la cantidad de agua que utiliza dentro de la ciudad para realizar sus actividades cotidianas como aseo personal y limpieza del hogar, esta cantidad de agua utilizada se mide en litros, pero deberá expresarse en m³.

La importancia de conocer el gasto diario ayudará a identificar si la cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento es suficiente para suministrar a toda la población de la ciudad o si el volumen extraído de agua es menor a lo requerido. Para conocer el gasto promedio diario de la ciudad se necesitan datos sencillos como son: población total y la cantidad media de agua (L) que necesita una persona al día. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere de 50 a 100 litros de agua al día (CONAGUA, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, la fórmula a utilizar para obtener el gasto promedio diario será la siguiente:

$$GPD = PT * Vn * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right) \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

GPD= Gasto promedio diario

PT = Población total

Vn = Cantidad media de agua necesaria por una persona por día =75L

b) Cantidad de agua repartida por colonia

La cantidad de agua repartida por colonia es un indicador que ayudará a identificar las zonas de la ciudad con mayor suministro del recurso por semana, a partir de ello puede conocerse la cantidad promedio de agua repartida por segundo, que va dependiendo de los diferentes tamaños de los acueductos de la ciudad, e información sobre los tanques que se encargan de almacenar y abastecer a las colonias de la zona en la que se ubica. Además de que con ayuda de los indicadores (Consumo de agua diario por AGEB) se puede comparar si la cantidad de agua repartida hacia las colonias es suficiente para los habitantes de dicha zona o si las colonias con más demanda de agua son menos suministradas por semana.

c) Consumo de agua diario por AGEB

El consumo de agua diario (CAD) por AGEB es un indicador con gran relevancia dentro de la variable presión, debido a que con los datos obtenidos también se identificará a los AGEB con más demanda de agua potable de la ciudad, así como la parte de la ciudad que mayor consumo de agua tiene. Como se mencionó en el indicador anterior, compararemos los resultados de ambos indicadores para tener un resultado que definirá si el AGEB que más agua requiere se le suministra una cantidad similar a lo requerido o por lo menos si se abastece del recurso más días por semana y viceversa con los AGEB que menos agua consumen diario.

Para calcular el consumo de agua por AGEB utilizaremos la ecuación 2

$$CAD = N^{\circ} \text{ de personas} * Vn \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

N° de personas= Número de personas por AGEB

Vn = Cantidad media de agua necesaria por una persona por día =75L

- Aspecto ambiental

d) Cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento

Este indicador permite conocer la cantidad de agua obtenida actualmente de las distintas fuentes que abastecen a la ciudad; así como también si la cantidad de agua que se extrae llega hacia los hogares de la localidad o si se pierden durante el suministro en fugas y en caso de ser así, conocer qué porcentaje se está perdiendo durante la trayectoria. Además, que, a partir de este indicador, del GPD y el CAD, se puede deducir si el volumen total de agua extraída es suficiente para abastecer a toda la población o si se está extrayendo más de lo requerido, generando así una sobre explotación de las fuentes de abastecimiento.

A.4.2.1.2. Variables de Estado

- Aspecto social

a) Incremento de la demanda hídrica

La demanda hídrica, en el marco del Estudio Nacional del Agua (ENA) 2010, se define como la extracción hídrica del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no antrópicos (González, Saldarriaga, & Jaramillo, 2010)

Para obtener los datos del incremento de la demanda hídrica se necesita la información de la extracción de agua en años anteriores, además de considerar el incremento poblacional que ha tenido la ciudad. Con los datos obtenidos, es posible comparar cuánta agua se extraía en diferentes años para abastecer a la población existente en ese momento, para finalmente realizar una gráfica en la que se muestre el aumento poblacional junto con el aumento de la

demanda de agua potable, esto con la finalidad de conocer cuánta agua se necesitará en el futuro si la ciudad sigue teniendo el mismo patrón de crecimiento como la última década.

b) Fugas y deficiencia en el estado físico de la infraestructura

Es esencial conocer cuáles son las principales fugas en la ciudad y la cantidad de agua desperdiciada por este problema, para poder identificar si ese es un factor perjudicial que entorpece el equitativo reparto de agua. Así mismo es imprescindible conocer el desempeño que tiene la infraestructura, ya que las tuberías suelen estar en condiciones no favorables para que el agua llegue de manera correcta a los hogares como consecuencia del mal estado de las tuberías y de los medidores domésticos, lo cual suele producir gastos innecesarios para la población debido a que suele incrementarse el pago por el servicio o por el gasto utilizado de agua. Por ende, este incremento afecta más a las personas con menos recursos

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (2015), las fugas pueden producirse en tres lugares diferentes:

- en la tubería que transporta agua desde el lugar de producción y en el punto de entrega a la red de distribución,
- en la red de distribución,
- en la vivienda del usuario (generalmente en la parte de la tubería después del medidor, pero esta definición puede variar según las normas de cada localidad).

- Aspecto ambiental

c) Fuentes primarias y secundarias de extracción

Existen diferentes fuentes para abastecer a una ciudad de agua potable, los más comunes son los pozos, ríos y arroyos superficiales. Cada fuente de abastecimiento tendrá un volumen diferente de extracción de agua, esto debido a que cada fuente tiene diferente caudal de agua. La extracción de agua se mide en volumen (m^3) con el fin de dimensionar la cantidad de agua que se obtiene (Orellana, 2005). Algunas fuentes primarias para el suministro de agua son los siguientes:

1. Subterráneas: acuíferos, napas.
2. Superficiales: ríos, arroyos, manantiales, deshielo.
3. Atmosféricas: agua de lluvia

d) Índice de calidad del agua para el abastecimiento público

La calidad del agua se determina mediante la caracterización física y química de muestras de agua y su comparación con normas y estándares de calidad. De esta forma se puede identificar si el agua es idónea para los requerimientos de calidad asociados a un uso determinado, como por ejemplo el consumo humano o el ambiente, y en su caso, los eventuales procesos de depuración requeridos para la remoción de elementos indeseables o riesgosos. El deterioro de la calidad del agua ocurre por procesos tanto naturales como antrópicos (CONAGUA, 2017).

Dentro de este apartado, se toma en cuenta la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

El cual tiene como objetivo establecer los límites permisibles de calidad que debe cumplir el agua para uso y consumo humano (DOF, 2019).

Dentro de la norma se encuentra el apartado “Especificaciones sanitarias”, en donde el agua para uso y consumo humano de los sistemas de abastecimiento debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- El agua de los sistemas de abastecimiento no debe tener como fuente de suministro agua residual tratada.
- Especificaciones físicas (ver Tabla A.2)

Tabla A.2. Especificaciones sanitarias físicas

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Turbiedad	3.0	UNT ¹
pH	6.5 a 8.5	Unidades de pH
Color Verdadero	15	UC ²

¹ Unidades Nefelométricas de Turbiedad

² Unidades de Color

- Especificaciones químicas (ver Tablas A.3 a la A.6)

Los parámetros químicos se especifican en la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017 y pueden observarse en las tablas A.3 a la A.6.

Tabla A.3. Especificaciones sanitarias químicas

Parámetros	Límites permisibles	Unidades
Cianuros totales	0.07	mg/L

Parámetros	Límites permisibles	Unidades
Dureza total como CaCO ₃	500.00	mg/L
Fluoruros como F ^{-a}	1.50	mg/L
Nitrógeno amoniacal	0.50	mg/L
Nitrógeno de nitratos (N-NO ₃ ⁻)	11.00	mg/L
Nitrógeno de nitratos (N-NO ₂ ⁻)	0.90	mg/L
Sólidos disueltos totales	1000.00	mg/L
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	400.00	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	0.50	mg/L

^a El límite permisible para fluoruros será de 1.50 mg/L para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual.

Tabla A.4. Cumplimiento gradual para fluoruro

Localidades	Año	Límites permisibles	Unidades
Mayor de 500,000 habitantes	2020	1.0	mg/L
Entre 500,000 y 499,999 habitantes	2022	1.0	mg/L
Menor de 50, 000	2025	1.0	mg/L

- Metales y metaloides (ver tabla A.5 y A.6)

Tabla A.5. Especificaciones sanitarias metales y metaloides

Parámetros	Limites permisibles	Unidades
Aluminio	0.20	mg/L
Arsénico ^a	0.025	mg/L

Parámetros	Limites permisibles	Unidades
Bario	1.3	mg/L
Cadmio ^b	0.005	mg/L
Cobre	2.00	mg/L
Cromo total	0.05	mg/L
Hierro	0.30	mg/L
Manganeso	0.15	mg/L
Mercurio	0.006	mg/L
Níquel	0.07	mg/L
Plomo	0.01	mg/L
Selenio	0.04	mg/L

NOTA. Los límites permisibles de metales y metaloides se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

^a El límite permisible para el arsénico será de 0.025 mg/L para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual tabla *

^b El límite permisible para cadmio será de 0.005 mg/L para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual Tabla*

Tabla A.6. Cumplimiento gradual para arsénico y cadmio

Localidades	Año	Límites permisibles de arsénico	Límite permisible de cadmio	Unidades para arsénico y cadmio
Mayor de 500,000	2020	0.01	0.003	mg/L
Entre 50,000 y 499,999	2022	0.01	0.003	mg/L
Menor a 50,000	2025	0.01	0.003	mg/L

- Microbiológicas.

Los parámetros microbiológicos se especifican en la tabla A.7.

Tabla A.7. Especificaciones sanitarias microbiológicas

Parámetros	Limites permisibles	Unidades
<i>E. coli</i>	<1.1	NMP/100 mL
Coliformes fecales	<1	UFC/100 mL
Organismos termotolerantes	Ausencia	Ausencia o Presencia/100mL
<i>Giardia lamblia</i>	Ausencia	Quistes/20L

Nota 1. El organismo responsable debe seleccionar uno de los tres parámetros para su análisis: *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes.

Nota 2. Las unidades de medida (NMP/100mL; UFC/100mL; Ausencia o Presencia/100mL) corresponden a los tres métodos de prueba aceptados para el cumplimiento de esta Norma.

Nota 3. *Giardia lamblia* debe determinarse sólo en caso de que el agua provenga de fuente superficial o que la fuente tenga influencia de agua superficial.

- Fitotoxinas

El parámetro relacionado a las fitotoxinas se especifica en la Tabla A.8.

Tabla A.8. Especificaciones sanitarias de fitotoxinas

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Microcistina-LR	1.0	µg/L

Nota 1. La microcistina-LR se debe determinar cuando el agua proviene de una fuente superficial.

- Radiactividad
Caso similar ocurre con la radiactividad, cuyos parámetros se especifican en la Tabla A.9.

Tabla A.9. Especificaciones sanitarias de radiactividad

Parámetros	Límites permisibles	Unidades
Radiactividad alfa total	0.5	Bq/L
Radiactividad beta total	1.0	Bq/L

Bq/L= Becquerel por litro

e) Disponibilidad media per cápita de agua potable por habitante

La disponibilidad media per cápita es un indicador que, en función de la extracción de agua de las fuentes de abastecimiento, se obtiene la disponibilidad de cada habitante. Finalmente, al comparar el resultado de este indicador con el “Consumo de agua diario por persona”, es posible obtener dos cifras diferentes que permiten identificar si el agua que se extrae es realmente suficiente para la población o si se extrae más de lo necesario. Para calcular la disponibilidad media per cápita de agua por habitante se divide la cantidad de agua extraída entre el número de habitantes.

Con la ecuación 3. se obtiene la disponibilidad media per cápita por habitante (DMP) de la ciudad con tan solo dos datos.

$$DMP = CAE / PT \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

DMP = disponibilidad media per cápita (m³)

CAE = cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento (m³)

PT = población total

A.4.2.1.3. Variables de respuesta

- Aspecto social

a) Intervención del gobierno municipal

La intervención del gobierno es fundamental para que el sistema de potabilización y distribución de agua funcione de manera satisfactoria, además de que es importante conocer los proyectos que se destinan para el mejoramiento y buen funcionamiento de la red hidráulica. De igual forma es importante que el gobierno o dependencias de gobierno creen proyectos para la concientización y la cultura del agua para un mejor cuidado del recurso.

b) Reparación de infraestructura

Es necesaria la reparación de las fugas dentro de la ciudad para evitar tener que bombear volúmenes suplementarios e incrementar costos extras en los recibos de cobro de cada hogar. Reparar las fugas permite que el sistema de medición funcione de manera satisfactoria, además economiza sustancialmente la cantidad de reactivos usados en el tratamiento del agua y ahorra energía destinada al bombeo así también aumenta la vida útil de la red al evitar la oxidación que aparece cuando ésta contiene aire.

c) Inversión en rehabilitación de infraestructura hidráulica

A menudo, la falta de mantenimiento de una red conlleva al reemplazo prematuro y costoso de sectores de la red y a la construcción de nuevas plantas para alimentar las fugas.

La existencia de un gran número de fugas en un sistema de abastecimiento de agua tiene múltiples efectos. En el plano financiero se trata de una pérdida neta, pues ha sido necesario captar el agua, bombearla en algunos casos y tratarla a veces con costos elevados para que se

infiltrar en el suelo. Para compensar el volumen perdido por las fugas, se suele construir nuevas y costosas plantas de tratamiento que generan costos extras que pudieron ser utilizados para el mantenimiento de los acueductos (Organización Panamericana de la Salud, 2015).

Conocer la inversión y los proyectos destinados hacia la rehabilitación de la red hídrica es punto clave para identificar si realmente se está tomando en cuenta un recurso indispensable para la sociedad, además de que rehabilitar y dar mantenimiento es más económico que reparar distintas líneas de la infraestructura hídrica. Además de que el buen manejo de una red de agua potable implica una visión a corto y largo plazo.

d) Inversión en operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica

La inversión para la operación y el mantenimiento de la infraestructura es necesaria debido a que, si no se realiza el mantenimiento en los acueductos de la red hídrica, las tuberías tendrán un ciclo de vida más corto de lo esperado, por lo que la reparación y cambio de las tuberías dañadas tendría un costo más elevado a que si tienen constante mantenimiento.

Tener la red hídrica en buen estado es un factor importante para que el agua suministrada no se pierda en fugas, por otro lado, el déficit en el suministro del agua ocasiona también que una importante proporción de los usuarios que no reciben el servicio diariamente almacenen el agua en cisternas y posteriormente la bombeen hacia los tinacos, con el consecuente gasto de energía y equipo.

De acuerdo con cifras del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Para alcanzar la sustentabilidad y seguridad hídrica a nivel nacional se necesitan al menos 21 años, con un ritmo de inversión anual por el orden de los 49,000 millones de pesos, (Orozco, 2021).

e) Tarifas del agua según su tipo de uso

El agua es empleada de diversas formas prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios. La tarifa de pago por los servicios del agua potable depende de la zona de ubicación de la localidad, así mismo dependerá del gasto en m³ utilizado y del uso. Algo importante a recalcar es que las fugas en las viviendas son responsabilidad de los usuarios (Organización Panamericana de la Salud, 2015)

Dentro de los principales usos del agua se encuentran los siguientes:

- **Doméstico:** Se refiere al aprovechamiento que se da en los hogares de la ciudad. Los usos domésticos incluyen agua para todas las cosas que se realizan en casa: tomar agua, preparar los alimentos, bañarse, lavar la ropa y los utensilios de cocina, cepillarse los dientes, regar el jardín. (USGS, 2017)
- **Comercial:** Está representado en instalaciones destinadas para el uso y el disfrute de actividades como restaurantes, discotecas, cines, cafeterías, centros comerciales, super almacenes, entre otros.
- **Industrial:** se refiere a la utilización de agua en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las disoluciones que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aún en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación (Arregui, 2020).

- Aspecto ambiental

f) Pago por servicios ambientales

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) fue creado como un incentivo económico para los dueños de los terrenos forestales donde se generan estos servicios, con la finalidad de compensar por los costos de conservación y por los gastos en que incurren al realizar prácticas de buen manejo del territorio, así como para apoyar prácticas de conservación y evitar el cambio de uso del suelo de las zonas forestales

A.5. INTERPRETACION DE RESULTADOS

A partir de los resultados arrojados por los indicadores propuestos se obtendrá el grado de presión que se ha ido provocando al agua potable. Cada indicador enlistado tiene diferentes objetivos, alguno de ellos será cartografiado para la mejor comprensión de los resultados, y posteriormente comparados entre sí para un análisis más detallado.

Para conocer si la ciudad ha generado impacto socioambiental bajo, medio o alto es necesario tener en cuenta la cantidad de agua extraída para el abastecimiento público y la cantidad de agua correspondiente por persona, esto será para identificar si se extrae el volumen suficiente de agua para cubrir las necesidades básicas o si la extracción está por debajo de el volumen necesario, una vez conocida este dato identificaremos si la ciudad está sufriendo un déficit de abastecimiento.

Con los mapas elaborados es posible identificar el número de AGEB con mayor demanda hídrica, así como el total de los AGEB que reciben el suministro de agua, además de que se conocerá si los AGEB que más demandan el recurso son los que más volumen de agua reciben.

Con todo lo anterior se puede concluir cual es la situación en la que se encuentra la localidad.

A.6. Ejemplo de aplicación del modelo per en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

- Área de estudio

El municipio de Tuxtla Gutiérrez cuenta con 604,147 habitantes (figura 1 y 2. Anexo B), está ubicado en la Depresión Central presentando un relieve montañoso tanto al Sur como al Norte (Figura 1. Anexo B). Limita al norte con San Fernando y Osumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocoautla y Berriozábal. El municipio tiene una altitud mínima de 386 msnm y cuenta con una altitud máxima de 1,758 msnm. Tiene una extensión territorial de 412.4 km², que representa 0.51% de la extensión estatal (INAFED, 2018). Dentro de la ciudad existen 253 AGEB urbanos los cuales se distribuyen en 5 zonas, repartidas de la siguiente manera; 34 en la zona centro, 53 en la zona norte, 64 en la zona oriente, 63 en la zona poniente y 39 en la zona sur (figura 3. Anexo B).

- Clima

El clima predominante (figura 4. Anexo B) es cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw0(w), la temperatura promedio anual es de 23.8°C y tiene una precipitación media que fluctúa entre los 893 mm (Protección Civil, 2015).

- Hidrología

La hidrología está integrada por los ríos Grijalva, El Sabinal, Suchiapa, Yatipak, Terán, San Agustín, Potinaspak, Berriozábal, Los Cedros, Santo Domingo y Guadalupe (figura 5. Anexo B). El río más importante de Tuxtla Gutiérrez es El Sabinal. Las principales corrientes hidrológicas superficiales del municipio son: los ríos perennes Sabinal y Grijalva; y los ríos intermitentes Sabino, San Francisco y Poti, entre otros. El municipio presenta dos tipos de escurrimientos: a) superficiales y b) subterráneos (Secretaría de Obras Públicas, 2019).

- **Edafología**

Las unidades de suelo que conforman la ciudad son seis; Feozem (H), Litosol (L), Luvisol, Regosol (Re), Rendzina (E) y Vertisol (V) (figura 6. Anexo B), los cuales se presentan en la tabla A.10 con sus principales características (Protección Civil, 2015)

Tabla A.10. Unidades de suelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Tipo de suelo	Características principales
Feozem (H)	El cual presenta una capa superficial oscura, de consistencia suave, rica en materia orgánica y nutrientes, se utilizan en la agricultura de temporal
Litosol (L)	Se caracterizan por tener una profundidad menor a 10 cm y con la aparición de roca, tepetate o un caliche duro
Luvisol	Son de vocación forestal, de color rojo a amarillento en el subsuelo, de fertilidad moderada.
Regosol (Re)	Son suelos someros y debido a la presencia de rocas carbonatadas pertenecen a los calcáricos
Rendzina (E)	Son suelos poco profundos y pegajosos, fértiles con abundante humus, presentes sobre rocas calizas
Vertisol (V)	Son duros, forman grietas anchas y profundas en la sequía, muy arcillosos de color negro a gris, y cuando están húmedos son muy pegajosos

Fuente: (Protección Civil, 2015)

A.6.1. DESARROLLO DEL MODELO

❖ PRESIÓN

Cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento

El agua potable en Tuxtla se abastece por medio de tres tomas directas superficiales en ríos (Grijalva y Santo Domingo), dos galerías filtrantes, un pozo a cielo abierto sobre manantial y un pozo de 15 metros de profundidad que suministran una cantidad anual de más de 70 millones de metros cúbicos. La distancia de estas fuentes y las zonas de consumo oscila entre los 5 y 10.5 km.

En la tabla A.11 se muestra la capacidad de los sistemas de bombeo de agua que abastecen a la ciudad.

Tabla A.11. Capacidad de los sistemas de bombas en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez

No.	Capacitación	Tipo	Vol. Anual 2008 (miles en m ³)
1	Ciudad del agua-Río Grijalva	Toma de río	19,506.30
2	Santo Domingo	Toma de río	20,334.98
3	La Barcaza-Río Grijalva	Toma flotante de río	
4	La Chacona	Galería filtrante	1,971.00
5	Plan de Ayala (San Agustín)	Galería filtrante	331.13
6	Rancho Viejo	Manantial	993.38

Fuente: (Rivera, Alcocer Yamanaka, & Tzatchkov, 2012)

En función de la extracción de las fuentes de abastecimiento en promedio se extraen 322 L/persona/día; y, tras considerar las pérdidas técnicas en la red solamente llegan 190 L/persona/día (SENER, 2017).

Con los datos anteriores obtendremos la extracción de agua diaria obtenida de las fuentes de abastecimiento utilizando la ecuación 4.

$$322 \frac{L}{persona} * 604,147 personas = 194'353,334 L \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

cantidad de agua extraída por persona al día (CAEP) = 322 L /persona
población total de la ciudad (PT)= 604,147 habitantes

Con el resultado de la formula anterior se obtiene que la extracción de agua diaria es de 194'353,334 litros, los cuales reparten a la ciudad.

El organismo operador en Tuxtla es el Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA) que reporta un 41% de pérdidas técnicas en la red y un 18% de pérdidas comerciales para dar un total combinado de pérdidas de 51.62% del total producido (SENER, 2017).

Cantidad de agua repartida por colonias

La situación actual en el abastecimiento de agua potable presenta serios déficits en el suministro debido principalmente a la antigua infraestructura que se tiene, ya que la ciudad ha ido creciendo desde su fundación del centro hacia los lados (figura 7. Anexo B), así como también a la actualización en las redes de conducción y de distribución conforme el

crecimiento poblacional, por lo que se tiene que recurrir a los tandeos del agua. En 288 colonias, que representan el 43.7% de los usuarios, se recibe el servicio dos veces a la semana o menos; en 12 colonias, 3.9% de los usuarios, tres veces a la semana; en 17 colonias, 9.3% de los usuarios, cuatro veces por semana; y en 102 colonias, 43.2% de los usuarios, reciben agua todos los días (Gutiérrez, 2011) (figura8. Anexo B).

El acueducto denominado Brazo Norte que, de acuerdo con su diseño, opera con un gasto de 2,000 L/s de los cuales 1,000 L/s se entregan a la salida de la Planta Potabilizadora 2 existente y los restantes 1,000 L/s se envía al Tanque Nido de Águilas y de ahí al Tanque Km. 4 existente. Del tanque Nido de Águilas se desvía cierto gasto para cubrir la demanda de Patria Nueva Alta y nuevos desarrollos habitacionales aledaños, del orden de 200 L/s, por lo que al Tanque Km.4 llega un gasto de 800 L/s, de los cuales al final del acueducto una vez cubriendo las demandas de agua a lo largo de su recorrido, se destina 200 L/s a la población de Berriozábal.

El Brazo Sur tiene una construcción de dos acueductos con tubería de acero de 42" y 24" con capacidades de 1,000 y 450 L/s respectivamente, que parten de la planta potabilizadora para cubrir las demandas de agua de La Lomita, con 150 L/s y nuevos desarrollos con 850 L/s en el primero; y de la zona sur para abastecer a Copoya y el Jobo, con 50 L/s, así como 400 L/s para nuevos desarrollos. Es importante hacer mención que estos nuevos desarrollos corresponden a casas de interés medio y social (Gutiérrez, 2011).

Gasto promedio diario de la ciudad

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere de 50 a 100 litros de agua al día. Teniendo en cuenta el dato anterior y la población actual de TGZ podemos obtener el gasto promedio diario de la ciudad.

A continuación, se realiza la operación para obtener el gasto promedio diario en la que se utiliza la cantidad de agua necesaria por persona para realizar sus actividades cotidianas y el total de habitantes de la ciudad en el año 2020 (604,147 personas).

Para obtener el gasto promedio utilizaremos la ecuación 1.

$$GPD = PT * Vn * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right)$$

Donde:

PT = Población total

Vn= Cantidad media de agua necesaria para un habitante al día =75 L

Sustitución de la formula con los datos obtenidos:

$$75 \text{ L/habitante} * 604,147 \text{ habitantes} * \left(\frac{1m^3}{1000 \text{ lt}}\right) = 45,311.025m^3$$

Finalmente, con el resultado obtenido de la ecuación anterior obtenemos que el volumen del gasto promedio diario de la ciudad es de 45,311.025m³ de agua.

Consumo de agua diario por AGEB

Contemplando que Tuxtla cuenta con 253 AGEB y cada persona diariamente requiere de 75 litros de agua para poder realizar sus actividades cotidianas, obtendremos el consumo en

litros de cada AGEB, el resultado se obtendrá en m^3 para representarlo visualmente en un mapa (figura 9. Anexo B).

En este sentido, el cálculo del consumo de agua por AGEB está dado por la ecuación 2.

$$CAD = PT * Vn * \left(\frac{1m^3}{1000 L} \right)$$

A partir de la ecuación 2, el cálculo del consumo de agua por AGEB es:

$$CAD = 2,146 \text{ hab} * 75 L * \left(\frac{1m^3}{1000 L} \right) = 160.950 \frac{m^3}{\text{hab}}$$

Con base en lo anterior se muestra la tabla A.12 en donde se aprecia el consumo diario de agua de los diferentes AGEB de la ciudad, obtenido con las fórmulas anteriores

Tabla A.12. Consumo de agua diario por AGEB

Clave de AGEB	Población	m^3
363	2,146	160.95
433	2076	155.7
518	3340	250.5
522	2361	177.075
537	1135	85.125
541	1062	79.65
556	1985	148.875
560	1260	94.5
575	3055	229.125
594	2978	223.35
607	2279	170.925
611	3853	288.975
626	3456	259.2
630	4491	336.825
645	3395	254.625
664	3223	241.725
679	2680	201

Clave de AGEB	Población	m^3
698	4167	312.525
700	3096	232.2
715	2358	176.85
734	1557	116.775
749	2729	204.675
753	1994	149.55
768	2135	160.125
787	2514	188.55
791	2584	193.8
804	2191	164.325
819	2038	152.85
823	2556	191.7
838	1879	140.925
857	2334	175.05
861	2466	184.95
876	3263	244.725
880	2466	184.95

Clave de AGEB	Población	m ³
895	2413	180.975
908	2339	175.425
912	1047	78.525
927	1831	137.325
931	1781	133.575
946	1886	141.45
950	2241	168.075
965	759	56.925
984	1781	133.575
999	2406	180.45
1003	2293	171.975
1022	3777	283.275
1037	2405	180.375
1041	2431	182.325
1056	3349	251.175
1060	3625	271.875
1075	2651	198.825
1094	2229	167.175
1107	2845	213.375
1111	4165	312.375
1130	3965	297.375
1145	4090	306.75
1164	2591	194.325
1179	3852	288.9
1183	841	63.075
1198	1446	108.45
1215	2245	168.375
1234	1522	114.15
1249	1452	108.9
1253	1187	89.025
1268	1581	118.575
1272	1865	139.875
1287	6157	461.775
1291	6662	499.65
1319	5308	398.1
1323	4488	336.6
1338	5237	392.775
1357	1728	129.6
1361	2255	169.125
1380	3320	249
1408	4960	372
1427	4037	302.775

Clave de AGEB	Población	m ³
1431	4824	361.8
1450	4076	305.7
1465	3882	291.15
1484	2854	214.05
1499	4491	336.825
1501	2779	208.425
1588	3340	250.5
1639	2138	160.35
1658	1542	115.65
1681	2099	157.425
1696	2222	166.65
1709	1426	106.95
1713	3304	247.8
1728	2038	152.85
1732	2387	179.025
1747	1358	101.85
1751	1676	125.7
1766	1766	132.45
1770	2359	176.925
1785	4122	309.15
1802	2428	182.1
1817	3099	232.425
1821	1996	149.7
1836	1904	142.8
1840	3512	263.4
1855	1948	146.1
1874	2036	152.7
1889	3542	265.65
1893	3044	228.3
1906	3355	251.625
1910	2948	221.1
1925	2272	170.4
1959	3547	266.025
1978	6475	485.625
1982	6255	469.125
2016	2170	162.75
2020	2333	174.975
2035	3178	238.35
2139	2646	198.45
2143	1795	134.625
2158	2089	156.675
2177	3483	261.225

Clave de AGEB	Población	m ³
2181	4225	316.875
2196	2766	207.45
2209	2852	213.9
2213	2981	223.575
2228	1701	127.575
2232	1627	122.025
2251	960	72
2266	5379	403.425
2285	2103	157.725
2317	1740	130.5
2321	3205	240.375
2336	4935	370.125
2340	1594	119.55
2355	1351	101.325
2374	1692	126.9
2389	2651	198.825
2425	4153	311.475
2444	3394	254.55
2459	5925	444.375
2463	2868	215.1
2478	1656	124.2
2482	4866	364.95
2514	4999	374.925
2529	2217	166.275
2533	1486	111.45
2548	20424	1531.8
2552	4548	341.1
2586	826	61.95
2590	3862	289.65
2618	2763	207.225
2622	8173	612.975
2637	544	40.8
2641	149	11.175
2656	2542	190.65
2660	2584	193.8
2675	1615	121.125
2694	2656	199.2
2707	2611	195.825
2711	2909	218.175
2726	1708	128.1
2730	2439	182.925
2745	3265	244.875

Clave de AGEB	Población	m ³
2764	24531	1839.825
2779	3327	249.525
2783	3661	274.575
2798	2763	207.225
2800	5138	385.35
2815	5630	422.25
2834	10416	781.2
2849	5792	434.4
2853	2181	163.575
2868	1528	114.6
2872	926	69.45
2887	331	24.825
2891	566	42.45
2904	1517	113.775
2919	277	20.775
2923	823	61.725
2938	123	9.225
2942	311	23.325
2957	133	9.975
2961	47	3.525
2976	139	10.425
2980	367	27.525
2995	172	12.9
3014	21	1.575
F3029	107	8.025
3033	33	2.475
3048	342	25.65
3052	141	10.575
3067	470	35.25
3071	27	2.025
3086	312	23.4
3090	16	1.2
3103	45	3.375
3118	106	7.95
3122	31	2.325
3137	237	17.775
3141	54	4.05
3156	912	68.4
3160	674	50.55
3175	802	60.15
3194	13	0.975
3207	123	9.225

Clave de AGEB	Población	m ³
3211	11	0.825
3226	49	3.675
3230	156	11.7
3245	60	4.5
001A	202	15.15
058A	2825	211.875
065A	1264	94.8
072A	3043	228.225
097A	1668	125.1
108A	2044	153.3
147A	3417	256.275
179A	1006	75.45
186A	2462	184.65
193A	5258	394.35
204A	2404	180.3
211A	2655	199.125
229A	5166	387.45
236A	1520	114
243A	6720	504
250A	5454	409.05
268A	986	73.95
275A	2622	196.65
282A	4500	337.5
300A	12	0.9

❖ ESTADO

Fuentes primarias y secundarias de extracción

En la actualidad, para abastecer de agua potable a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se aprovechan las aguas superficiales que afloran en la cuenca del río Sabinal, así como parte de los escurrimientos de los ríos Santo Domingo y Grijalva. Cabe agregar, que en el sitio de captación del río Santo Domingo están implícitos los escurrimientos del río Suchiapa, que es formador del primero en este tramo. De las seis captaciones existentes, tres se localizan dentro de la mancha urbana y de los tres restantes, dos son obras de toma del río Grijalva que incluye Ciudad del Agua y la restante del río Santo Domingo que en su conjunto captan y distribuyen a más de 500 mil habitantes, cerca de 2,500 L/s (Gutiérrez, 2011).

Cabe mencionar que el complejo Ciudad del Agua, es la principal fuente de abastecimiento del Sistema, ya que actualmente se encuentra funcionando a un 75% de la capacidad instalada, produciendo aproximadamente 1,500 L/s, asimismo, se cuenta con el sistema de captación Barcaza-Santo Domingo-Pájaros que suministra 580 L/s, ambos sistemas, presentan un deterioro en su infraestructura ya que el Complejo Ciudad del Agua cuenta con una antigüedad aproximada de 12 años, mientras que el Sistema Barcaza-Santo Domingo-Pájaros con 36 años (Gobierno de Tuxtla Gutiérrez, 2019).

En la tabla A.13 se muestran las fuentes que abastecen a la ciudad de TGZ con el caudal de cada fuente de captación y el número de bombas con el que cuenta. En todo el sistema (extracción, transporte y distribución) se tienen 112 bombas. SMAPA señala que en su mayoría (51%) estos equipos tienen más de 20 años de antigüedad, lo cual puede estar impactando seriamente en el desempeño (SENER, 2017) (figura 10. Anexo B).

Tabla.A.13. Sistema de bombeo de Tuxtla Gutiérrez

Nombre	Número de bombas	Funcionamiento	Caudal (m ³ /s)
Sistema Santo Domingo	39	Paralelo	1.200
La Barcaza	5	Paralelo	0.650
Sistema Ciudad del Agua	18	Paralelo	2.000
Captaciones alternas	4	Directo a la red	0.098
Rebombeo dentro de la ciudad	46	Directo a la red	--
	112		3.948

Fuente: (Gutiérrez, 2011)

Disponibilidad media per cápita diario por habitante

Como se ha mencionado anteriormente, al año 2020, la ciudad de TGZ cuenta con 604, 147 habitantes, y con base a la “Cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento”, se extraen en promedio 194’353,334 L diariamente, a partir del cual es posible conocer la disponibilidad media per cápita de cada habitante.

Con los datos antes mencionados se calcula el gasto promedio por persona dividiendo la cantidad de extracción de agua diaria entre el número total de habitantes. Si se desea conocer la disponibilidad anual es necesario multiplicar el resultado de la primera ecuación por los 365 días del año.

Con la ecuación 3 se obtiene el resultado de la disponibilidad media per cápita por habitante (DMP) de la ciudad.

$$DMP = CAE / PT$$

Donde:

CAE = cantidad de agua extraída de las fuentes de abastecimiento

PT= Población total

Al sustituir los datos en la ecuación 3, se obtiene

$$DMP = \frac{194'353,334L/d}{604,147hab} = 322 \frac{L}{hab.día}$$

Fugas de agua y mal estado de infraestructuras

En los últimos años en Tuxtla Gutiérrez, se ha presentado un número considerable de fallas en el funcionamiento de la red de distribución de agua potable, principalmente por fugas en tomas domiciliarias y en tubos surtidores de diámetro pequeño; lo anterior, debido a la antigüedad de las tuberías en las zonas periféricas de la ciudad. Una parte importante de las viviendas de Tuxtla carecen del servicio de agua potable, precisamente por la incapacidad de las redes de distribución, por lo que la población subsana este déficit a través de pipas de empresas privadas (Gobierno de Chiapas, 2017).

Para resolver esta problemática, el SMAPA implementó un programa integral de mantenimiento; se repararon 5,174 fugas domiciliarias atendidas, para la realización de estas obras se sustituyeron 15,387 metros lineales de tuberías de media pulgada de diámetro.

De igual forma, se atendieron 1,131 fugas en tubos surtidores de 2 a 18 pulgadas de diámetro, que sumadas a las 1,972 atendidas en año 2016 dan un total de 3,103 servicios de reparación, que significaron la sustitución de 4,399 metros lineales de tubería. Así también, se dio mantenimiento a 334 válvulas de compuerta de distribución, se repararon 63 puntos de contaminación con el arreglo de la red sanitaria y de agua potable y se repararon las calles

afectadas por las obras de reparación de fugas con 345 m³ de concreto hidráulico. En su conjunto, con la inversión de estas obras por un monto total de 8 millones 600 mil pesos, financiados con recursos propios del SMAPA, se evitó la pérdida de casi medio millón de metros cúbicos de agua potable y se beneficiaron a un total de 148,000 tuxtlecos (Gobierno de Chiapas, 2017).

❖ **RESPUESTA**

Intervención del gobierno municipal.

Ante esta problemática, el gobierno estatal y municipal, a través del SMAPA, buscaron la alternativa más viable para garantizar el abastecimiento de agua potable a los habitantes de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, así como al área urbana de Berriozábal, con un horizonte de planeación al año 2035, mediante un manejo integral del recurso hídrico, generando efectos colaterales benéficos sobre el ecosistema y el desarrollo urbano, resultando como mejor alternativa el incrementar el aprovechamiento actual del río Grijalva, a través de la planta de bombeo y potabilizadora denominada “Ciudad del Agua” actualmente en operación y así mismo tratando de aprovechar en la medida de lo posible la infraestructura de conducción y distribución, así como los tanques de almacenamiento y regularización ya construida o actualmente en operación (Gutiérrez, 2011) (figura 10. Anexo B).

En este sentido, el SMAPA, en colaboración con la Secretaría de Infraestructura construyó las líneas de conducción de agua potable denominadas Brazo Norte (Las Granjas, Km. 4- Tanque SARH, Tanque SARH–La Carreta, La Carreta- Berriozábal) y Brazo Sur Bajo (Planta Potabilizadora No. 2 Los Pájaros–La Lomita y La Lomita–Elenes Castillo– Rancho Viejo); que rodearán la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, los cuales permiten aumentar el volumen

de agua suministrado, sustituyendo formas de abasto ineficientes y de alto costo. Estas obras en conjunto beneficiarán al menos a los habitantes de los municipios de Tuxtla Gutiérrez y Berriozábal.

Las principales obras de ambos Brazos Norte y Sur consisten en la sustitución de un tramo de línea de conducción de 16” por otra de 24”, la sustitución de equipos de bombeo, así como la supresión de bombeos actuales, la construcción de una planta de bombeo, así como la construcción de una nueva línea de 18”, además de la construcción de nueve tanques de regulación, tres en el Brazo Norte y seis en el Brazo Sur.

En total, una vez construida la obra de infraestructura, se tendría una capacidad total instalada de ambos Brazos Norte y Sur de 3,450 L/s, que representa un incremento de 1,200 L/s con respecto a la capacidad actual, con lo cual se podría abastecer de agua potable durante los próximos 30 años a las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y Berriozábal en forma permanente, todos los días del año (Gobierno de Chiapas, 2017).

Inversión en rehabilitación y operación de infraestructura hidráulica

En los últimos años en Tuxtla Gutiérrez, se ha presentado un número considerable de fallas en el funcionamiento de la red de distribución de agua potable, principalmente por fugas en tomas domiciliarias y en tubos surtidores de diámetro pequeño; lo anterior, debido a la antigüedad de las tuberías en las zonas periféricas de la ciudad.

De igual forma, para atender la actual demanda de agua potable y garantizar el servicio y abastecimiento en los próximos 20 años, el SMAPA signó un convenio de colaboración con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para la elaboración del estudio y proyecto ejecutivo de la construcción de la línea de conducción de agua potable Brazo Sur Alto 2ª.

Etapa, el cual comprende los tramos: El Jobo, Copoya y derivación a La Reliquia, con un costo de 3 millones 600 mil pesos, proveniente del Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (Apazu). Con una inversión de 145 millones 900 mil pesos, en beneficio de los habitantes de esa zona del municipio (Gobierno de Chiapas, 2017).

Con un monto de inversión de 9 millones 800 mil pesos, en el año 2011 se contrató la elaboración del estudio y proyecto denominado Consolidación Operativa de la Infraestructura Hidráulica, el cual está orientado a mejorar el servicio en más de 130,000 tomas domiciliarias de agua potable, con un mejor control en la distribución suministrada en los 132 distritos hidrométricos (Gobierno de Chiapas, 2017).

Tarifas por uso

El agua se factura por volumen (m^3) sobre la base de lecturas periódicas más o menos espaciadas y con producción de recibos. El agua potable se cobra de forma escalonada con precios que varían en bloques de consumo y la tarifa promedio asciende a \$15.94 por m^3 para uso doméstico, a \$18.47 por m^3 para uso comercial y a \$26.74 por m^3 para uso industrial (SENER, 2017).

A continuación, se presenta la tabla A.14 con las tarifas de cuota según el tipo de uso para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Tabla A.14. Tarifa de cuota de conexión a los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario

Volumen (m ³)	Doméstico		Comercial	Oficial	Industrial
	Clase II	Clase III	Clase u	Clase u	Clase u
0-15*	187.46	232.57	299.4	299.34	373.28
16-40	14.05	16.28	20.15	20.16	24.93
41-80	14.08	17.8	21.66	21.79	25.66
81-150	19.45	21.37	23.59	23.59	26.55
151-250	21.18	25.7	26.99	26.13	31.07
251-mas	25.22	26.53	30.34	30.34	34.43

* Consumo mínimo

■ Costo por metro cúbico en pesos

Cuota de alcantarillado 20% del consumo medio

En uso no domestico se aplica I.V.A

Tarifa vigente, elaborado por: (SMAPA, 2022)

A.6.2. RESULTADOS

A partir de los resultados que fueron generados con los indicadores, podemos concluir que la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas extrae un total de 194'353,334 L de agua potable, los cuales son repartidas hacia los 64,147 habitantes, a cada persona le corresponde 322 L, cabe recalcar que durante el suministro de agua se pierden gran cantidad por las fugas llegando tan solo 190 L/persona a los hogares. y que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere de 50 a 100 litros de agua al día para realizar sus actividades cotidianas (CONAGUA, 2015), lo cual indica que se extrae mucho más de lo necesario.

Con los resultados de cada indicador se elaboraron mapas para la mejor comprensión de la situación en la que se encuentra la ciudad, comparando el mapa de “Disponibilidad del servicio de agua” (fig.8.Anexo B) y el mapa de “Volumen del consumo de agua potable en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (fig.9. Anexo B) se observa que la mayor parte de AGEB con mayor consumo de agua son los que cuentan con el mayor servicio de abastecimiento.

Con los datos mencionados anteriormente se puede decir que en la actualidad la ciudad de TGZ no sufre un déficit de agua potable y aún no se ha impactado de forma negativa la distribución del recurso, ya que la mayor parte de la ciudad cuenta con el 76-100% del servicio de agua.

Es necesario mencionar que hasta ahora se ha tenido una buena disponibilidad de agua potable y que esto se debe a que muchas de las fugas que se ubicaban en las tuberías de distribución han sido reparadas, así como también, se ha brindado mantenimiento a la infraestructura. De este mismo modo es indispensable decir que, a pesar de contar con una buena disponibilidad del recurso debe brindarse información hacia los habitantes de la ciudad

para el buen manejo y aprovechamiento sustentable del agua, principalmente para seguir preservando el recurso hídrico ya que futuramente la población de TGZ seguirá aumentando y la cantidad de agua suministrada por persona disminuirá si no se tiene un buen cuidado del agua, es por ello que es necesario implementar estrategias o programas que ayuden al manejo y cuidado del agua potable

ANEXO B. CARTOGRAFÍA

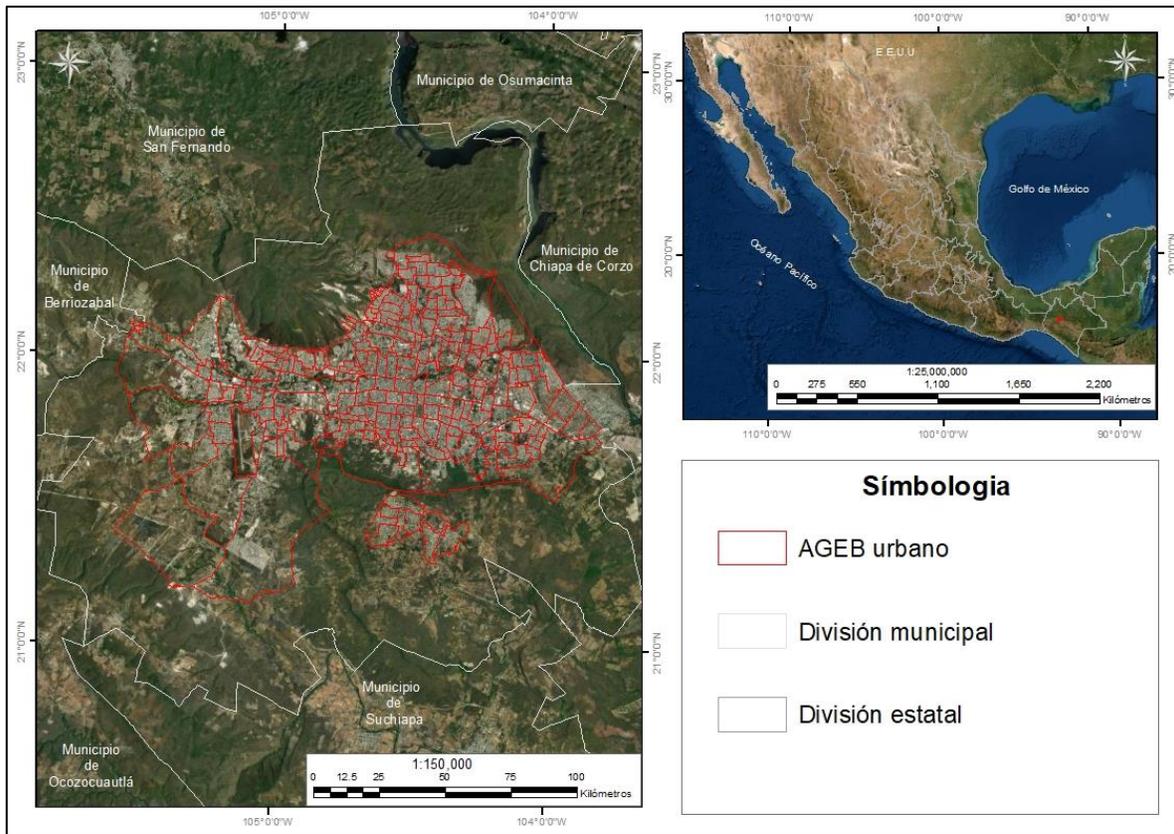


Figura.B.1. Ubicación de la Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2020)

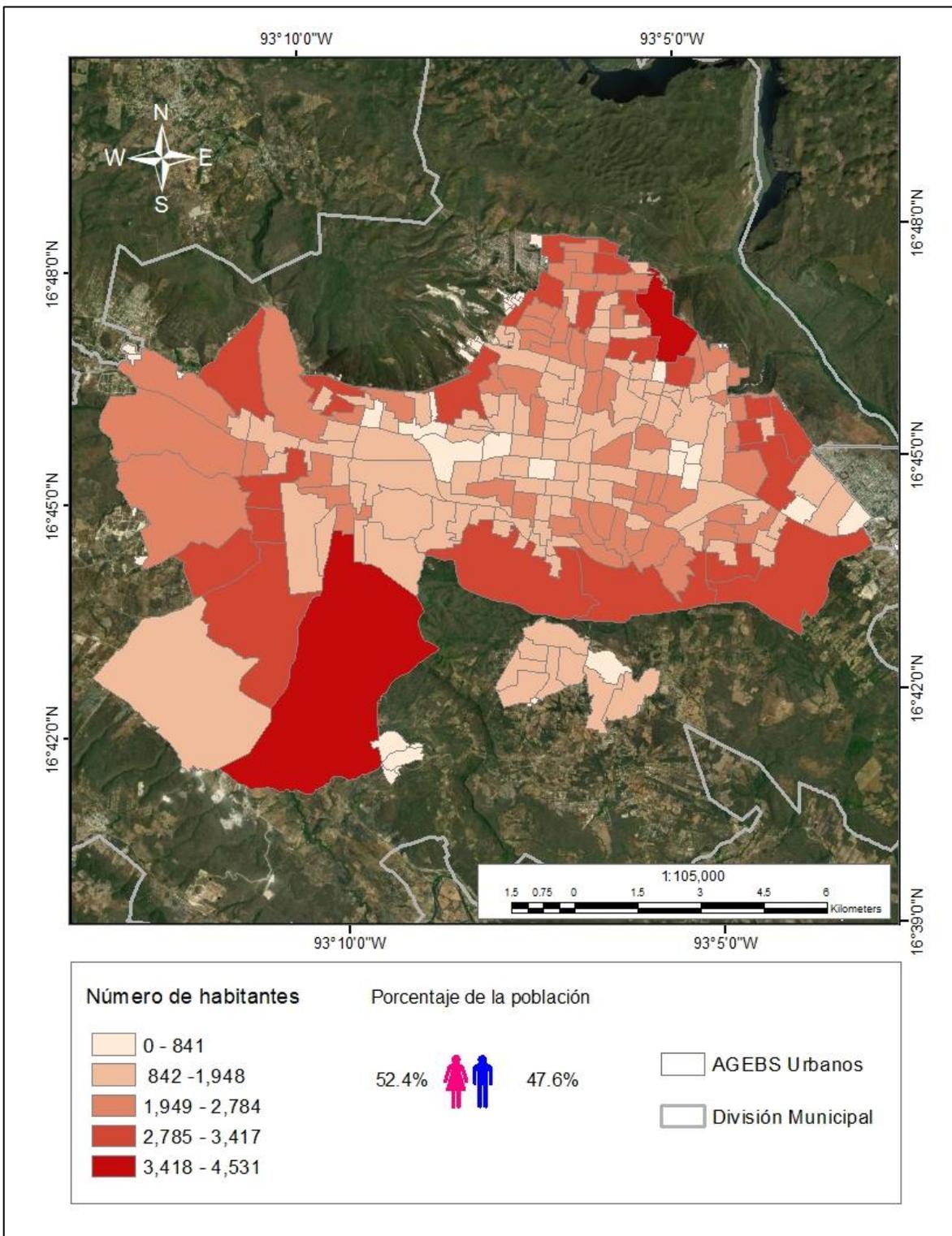


Figura B.2. Población total en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2020)

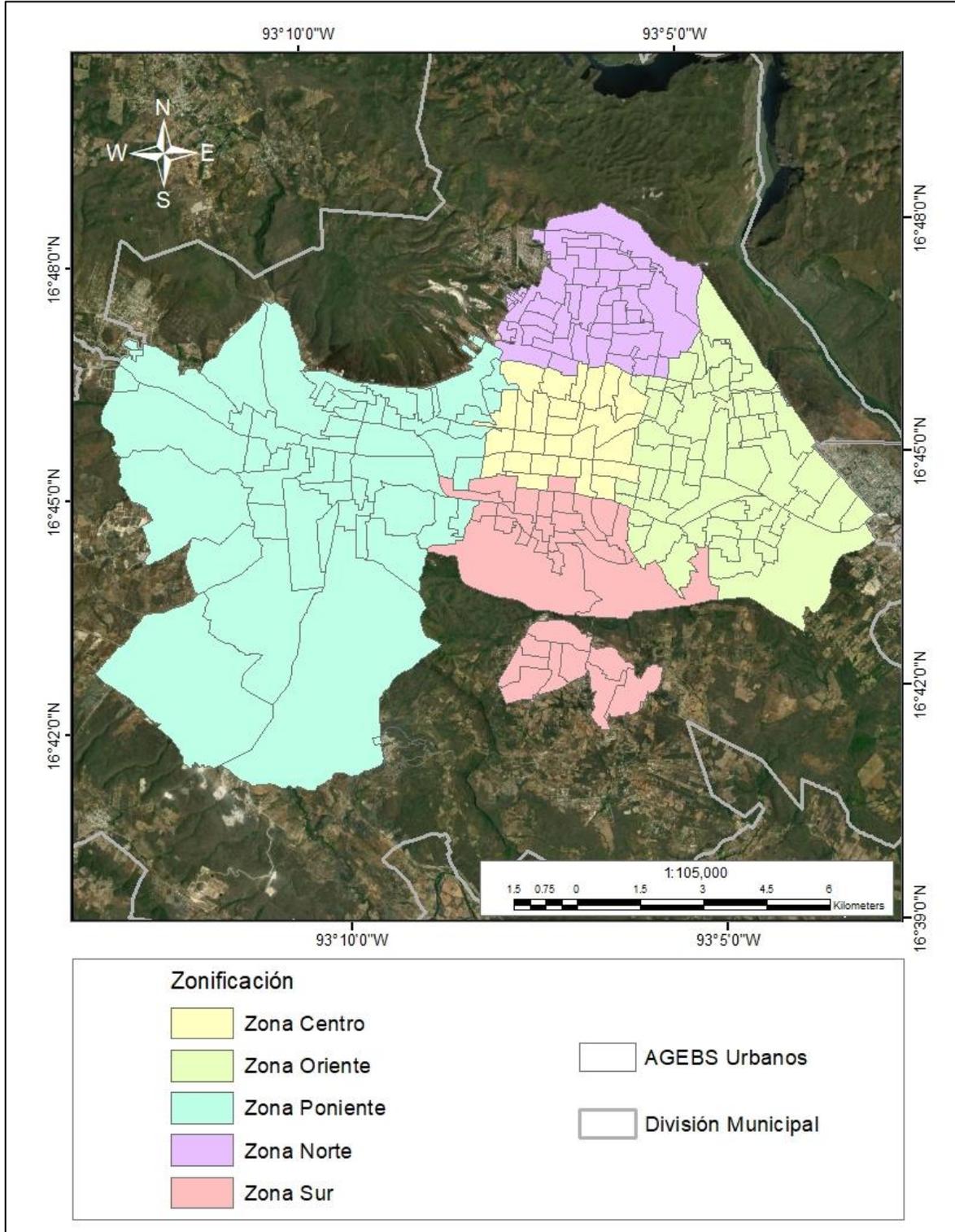


Figura B.3. Zonificación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2020)

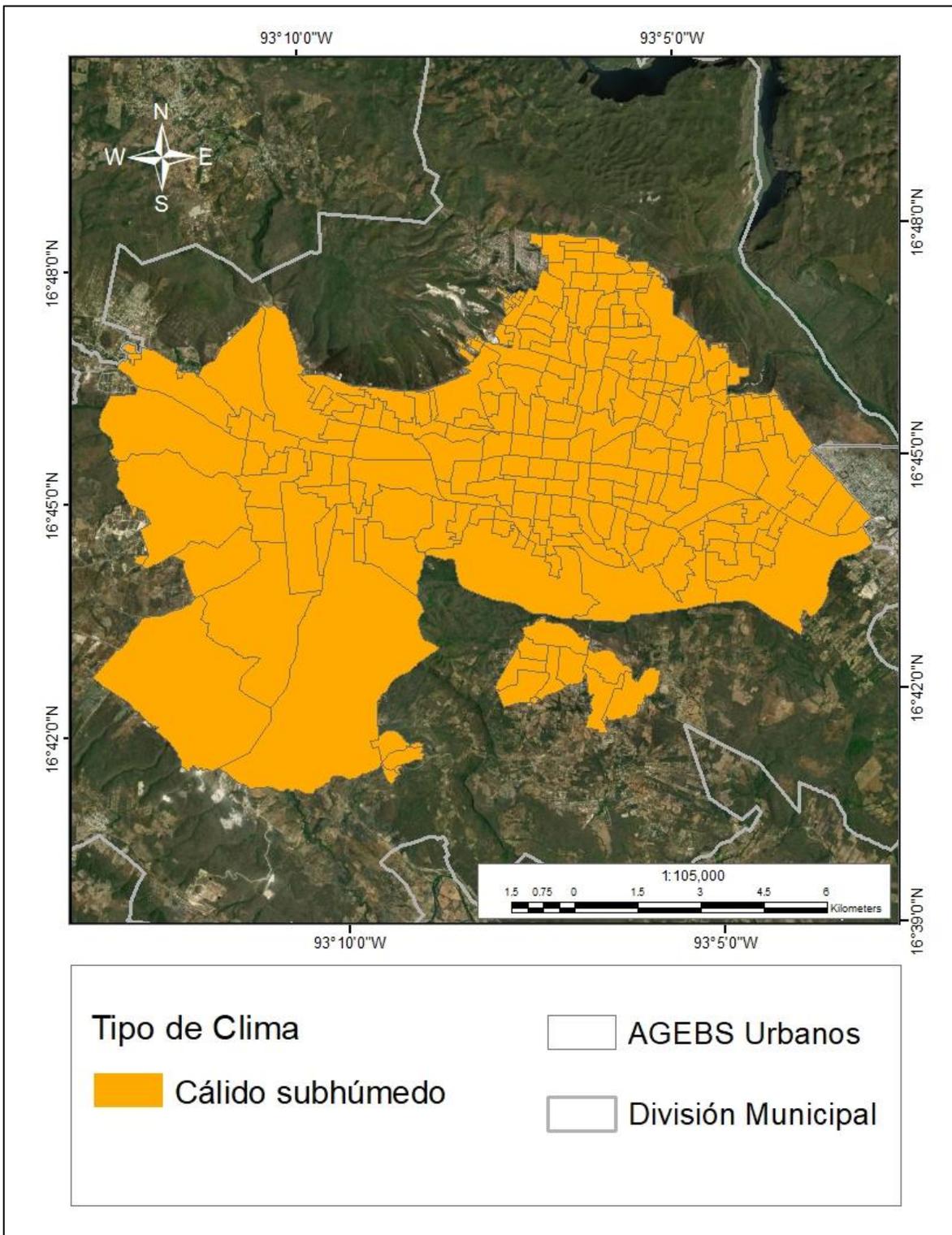


Figura B.4. Clima en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONABIO & García, Climas, 1998)

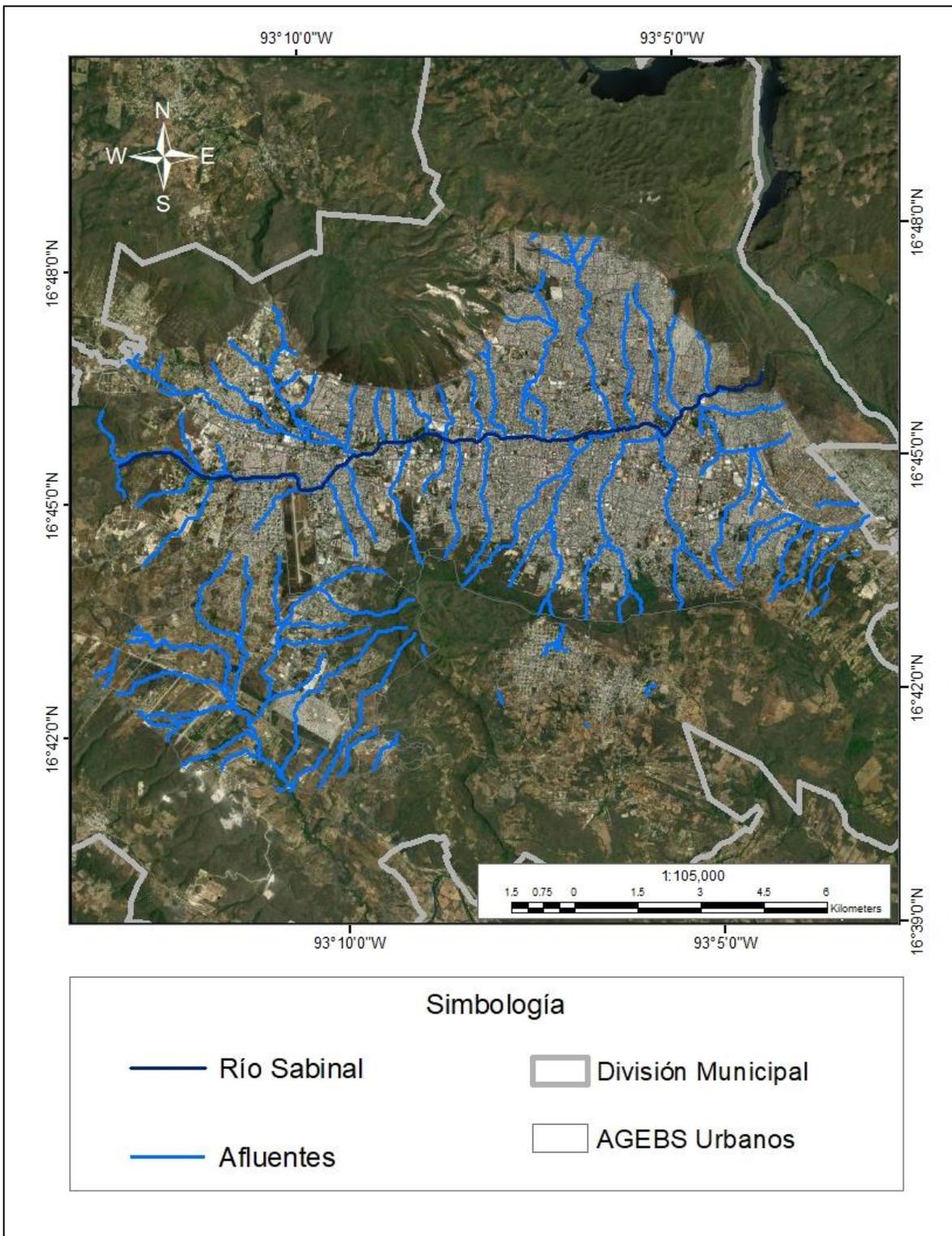


Figura B.5. Hidrología de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2020)

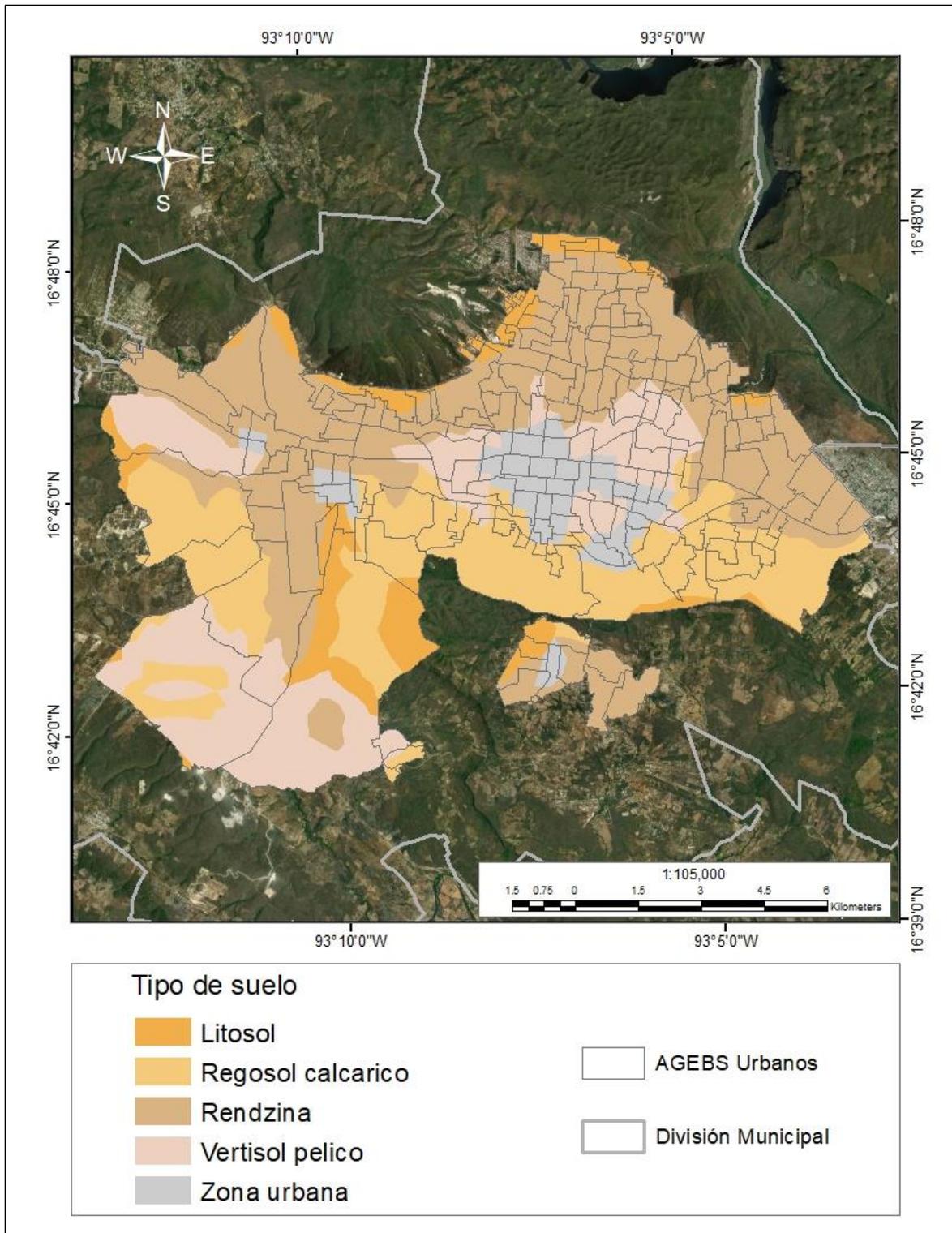


Figura B.6. Edafología de la ciudad Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONABIO & INIFAP, 1995)

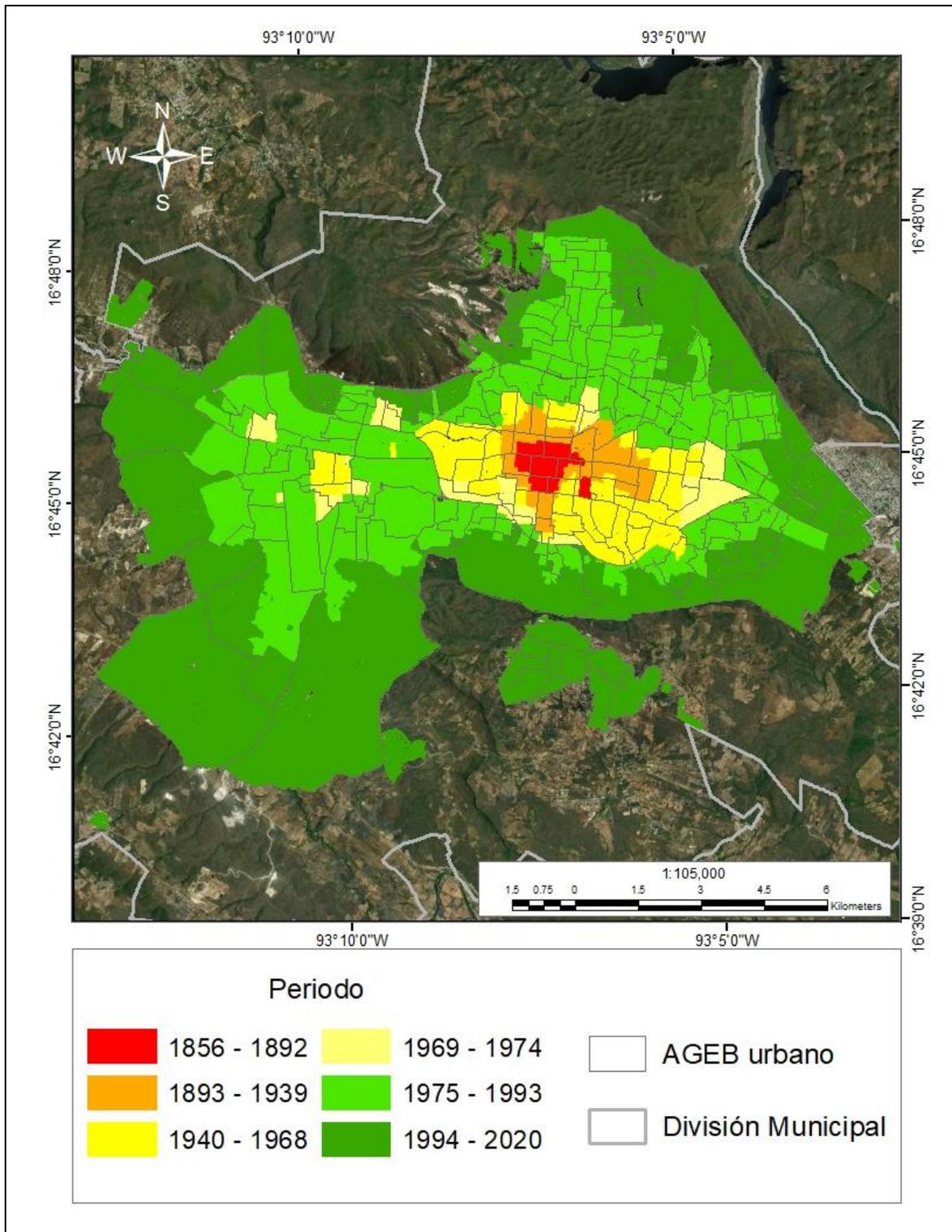


Figura B.7. Crecimiento urbano de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2020)

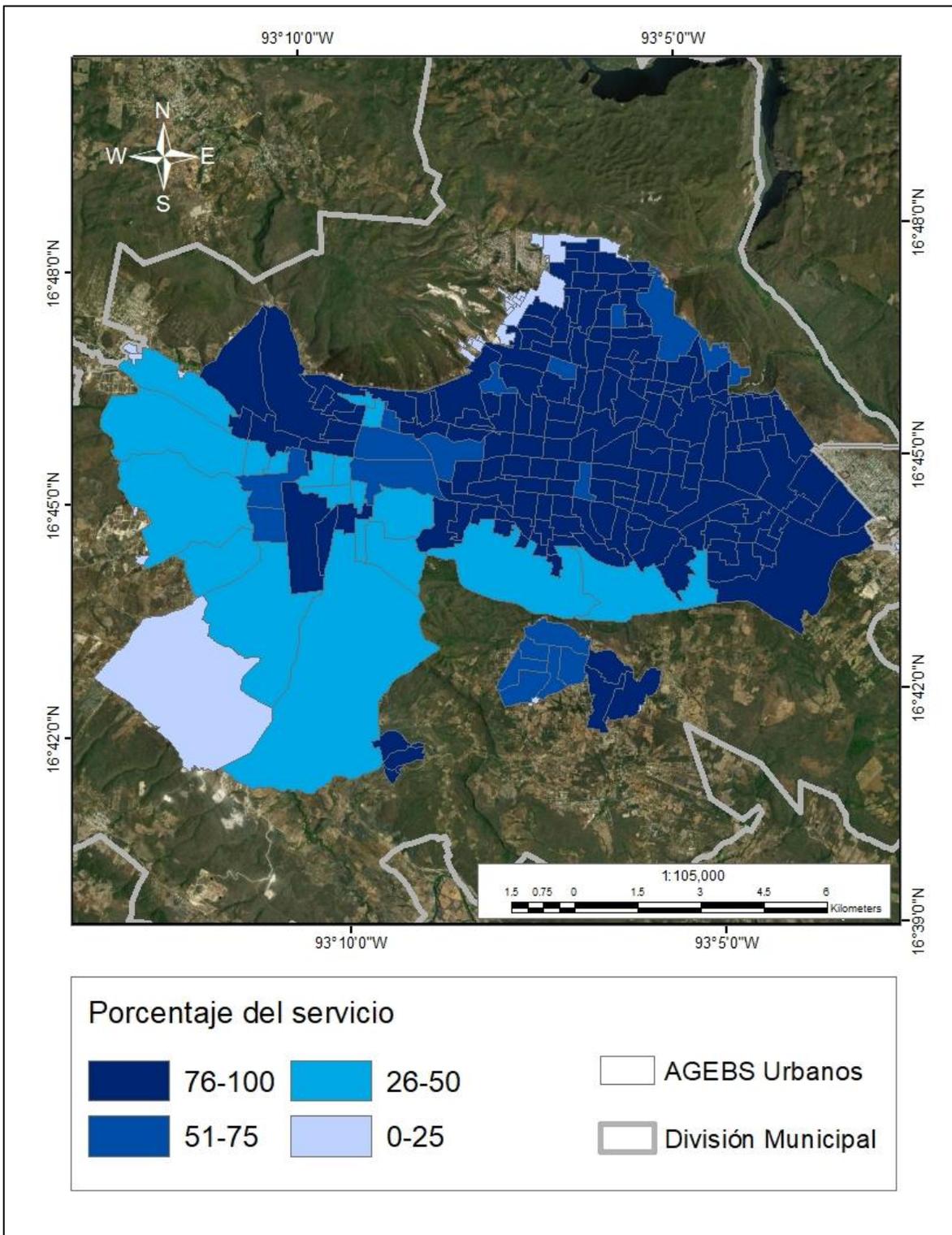


Figura B.8. Disponibilidad del servicio de agua en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (SCOP, 2017)

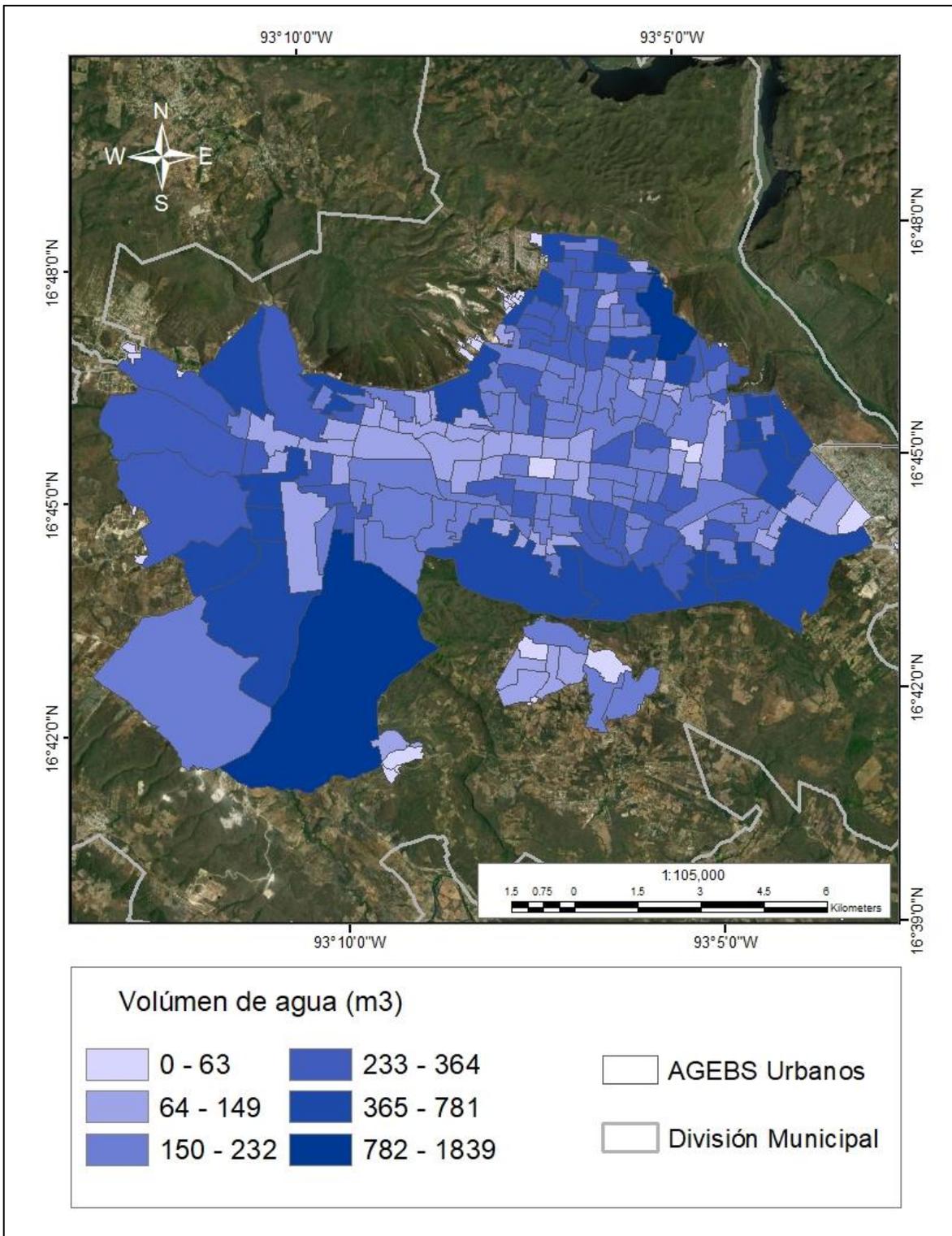


Figura B.9. Volumen del consumo de agua potable de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2020)

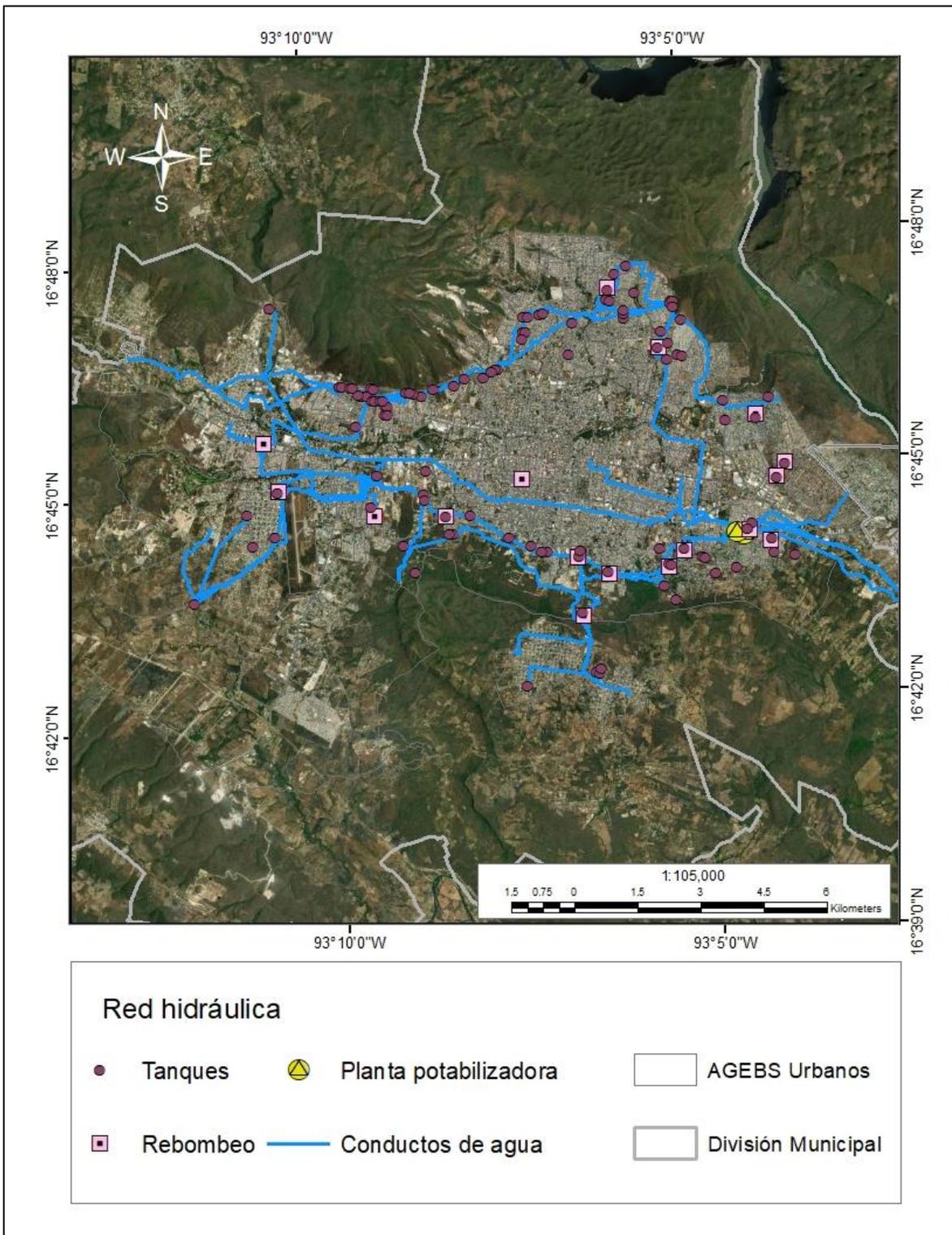


Figura B.10. Red hidráulica en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con datos de (SCOP, 2017)

BIBLIOGRAFÍA

- Arregui, F. (25 de Mayo de 2020). *Agua en los procesos industriales*. Obtenido de CONTYQUIM: <https://contyquim.com/blog/agua-en-los-procesos-industriales>
- Cecchini, S. (2005). *Indicadores sociales en America Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Naciones Unidas.
- Cedillo, J. L. (2017). *Suministro de agua potable en México: más allá del crecimiento poblacional*. Estado de México: SciELO.
- CONABIO, & García, E. (1998). *Climas*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- CONABIO, & INIFAP, I. F. (1995). *Edafología*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- CONAFOR. (2011). *EL PROGRAMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES*. México. Recuperado el 16 de agosto de 2021, de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/2290Servicios%20Ambientales%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico.pdf>
- CONAGUA. (2006). *Agua en México*. Ciudad de México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2015). *Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México*. México: Comisión Nacional del Agua(CONAGUA).
- CONAGUA. (2017). *El agua en Chiapas*. México: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- CONAGUA. (2017). *Estadísticas del Agua en México*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAPO. (2010). *El agua en Chiapas*. Ciudad de México: CONAGUA. Obtenido de <https://www.aguas.org.mx/sitio/publicaciones/el-agua-en-chiapas/el-agua-en-chiapas.pdf>
- CONEVAL. (2020). *REZAGO SOCIAL A NIVEL ZONAS URBANAS (AGEB URBANAS)*. Ciudad de México.
- DOF, D. O. (2019). *Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. Ciudad de México: DOF.
- Fajardo, E. A. (2016). *Modelo presión, estado, respuesta (p-e-r), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río*

- Puyango Tumbes*. Perú: Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM.
- Gobierno de Chiapas. (2017). *Segundo informe de gobierno, Urbanismo Sustentable*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Gobierno de Chiapas.
- Gobierno de Tuxtla Gutiérrez. (2019). *Plan Municipal de Desarrollo, Administración 2018-2021*. Comisión de Planeación para el Desarrollo de la LXVII Legislatura del H. Congreso del Estado de Chiapas.
- González, M. C., Saldarriaga, A. d., & Jaramillo, O. (2010). *Estimación de la demanda de agua. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial*. Bogotá. DC.: IDEAM.
- Gutiérrez, F. V. (2011). *Evaluación socioeconómica de infraestructura de agua potable en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: IMTA.
- INAFED. (2018). *TUXTLA GUTIÉRREZ*. Ciudad de México: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED).
- INEGI. (2020). *Censo Poblacional*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Neculqueo, P. (2001). *Análisis de indicadores de sostenibilidad ambiental y urbana en las Agendas 21*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- ODM, F. p. (2011). *PNUD*. Fondos ODM.
- OECD. (2002). *Indicadores Ambientais: Rumbo a un desarrollo Sustentable*. (Vol. 09).
- Orellana, J. (2005). *Abastecimiento de agua potable*. Rosario, Argentina : Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO.
- Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Agua, Fugas y Medidores*. Washington D. C. : Pan American Health Organization(PAHO).
- Orozco, N. M. (01 de marzo de 2021). *Obras por Expresión*. Obtenido de <https://obras.expansion.mx/infraestructura/2021/03/01/infraestructura-hidraulica-pilar-desarrollo-economico-social>
- PNH, P. N. (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. México DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Protección Civil. (2015). *Atlas de Riesgo del municipio de Tuxtla Gutiérrez*. AR Atlas de Riesgo.
- Rivas, R. G. (2010). *El derecho al agua y su relación con el medio ambiente*. México: UNAM.

- Rivera, H. R., Alcocer Yamanaka, V. H., & Tzatchkov, V. (2012). *Esquema Gerencial de la infraestructura hidráulica del Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- SCOP, S. d. (2017). *Programa de desarrollo urbano del centro de la población de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Gobierno del Estado de Chiapas.
- Secretaría de Obras Públicas. (2019). *Plan Maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable del Río “El Sabinal”, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Protección Civil.
- SEMARNAT. (2012). *Evaluación del impacto ambiental*. México, D.F.: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2017). *Indicadores básicos del desempeño ambiental en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores14/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual2.html
- SENER. (2017). *Evaluación Rápida del Uso de la Energía*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Secretaría de Energía.
- SIASEG, S. d. (2012). *Modelo PER*. Guanajuato: Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato.
- SMAPA. (2022). *Tarifa de cuota de conexión a los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario*. Obtenido de Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado: <http://www.smapa.gob.mx/index.php/conozca/tarifas-vigentes>
- SNIA, S. N. (2011). *Indicadores*. México: SEMARNAT.
- Tiburcio, A. (2011). *Indicadores para la Gestión Integral del Agua*. Ciudad de México: UNAM.
- USGS. (29 de Agosto de 2017). *La ciencia del agua*. Obtenido de <https://water.usgs.gov/gotita/wudo.html>