



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**COLEGIO DE INGENIERÍA
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA**

TESIS

*“Estudio hidrológico con tecnologías de la información geográfica en
Puente de Rieles ubicado en Venta Grande, Puebla.”*

Que para obtener el Título de:
INGENIERO TOPOGRAFO GEODESTA

Presenta:
Vergara Márquez Edgar

Asesor:
M.I. José Abraham Torres Méndez

*PUEBLA, PUE.
Septiembre del 2025.*



Oficio No. SAC/1535/2025

**C. Edgar Vergara Márquez -201651628-
Pasante de la carrera de Ingeniería Topográfica y Geodésica
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“ESTUDIO HIDROLÓGICO CON TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN PUENTE DE RIELES UBICADO EN VENTA GRANDE, PUEBLA”.

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como director de tema al Mtro. José Abraham Torres Méndez.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z. a 01 de octubre de 2025

**M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director**

M'ACGZ/M'VGL/barv

C.c.p. Interesado

C.c.p. Archivo



Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
222 229 55 00 Ext. 7610

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e.

El que suscribe: Mtro. José Abraham Torres Méndez, director del tema de tesis:

"ESTUDIO HIDROLÓGICO CON TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN
PUENTE DE RIELES UBICADO EN VENTA GRANDE, PUEBLA".

Presentada por el C. Edgar Vergara Márquez -201651628-, pasante del Colegio de Ingeniería
Topográfica y Geodésica, y en atención al oficio No. SAC/1535/2025 con fecha de emisión 01 de
octubre de 2025, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente
el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo
inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z. a 14 de octubre de 2025



Mtro. José Abraham Torres Méndez.
Director de Tema.

D'EGM/BARV
C.c.p. Archivo

Agradecimientos

Mi vida esta resumida en sueños y metas, años después estoy logrando uno más, el estar culminando mi preparación a nivel superior, aprendizajes he adquirido, madurez y sobre todo fortaleza ante cada reto que he tenido en este trayecto, felicidad y agradecimiento es la que tengo al estar aquí.

Agradecido con mi mamá quién ha sido un pilar importante para el desarrollo y transformación en mi vida profesional y personal, por prepararme para la vida, que con su amor y dedicación me ha demostrado lo valioso del aprender que con valentía hay que afrontar cualquier adversidad que se nos ponga en el camino, gracias por creer en mí. Para mi padre, agradecido por inculcarme la importancia del trabajo, la dedicación y la responsabilidad, por todo el esfuerzo que conllevo para que hoy este culminado un sueño más en mi vida, gracias, por tanto.

Para mis hermanos Miguel Ángel y Vanessa, que sirva como inspiración ante cualquier meta que se propongan que se realice con esfuerzo, dedicación, sin dejar aún lado el valor de la felicidad. Que no olviden que ni el cielo es el límite.

Al Doctor Edher Estrada Jaimes por inspirarme a continuar con la ejecución de este trabajo, por su apoyo incondicional, sobre todo por no dejarme solo en los mejores, malos y peores momentos, gracias por brillar a mi lado.

A mi amiga, Liliana Hernández, por los buenos momentos que hemos compartido, por hacer más divertida la universidad, gracias por su apoyo en todo momento y su compañía, al Ing. Raúl Lima Chiquito y al Ing. Agustín Hernández Taguja, por ser unos buenos amigos y buenos compañeros de trabajo. Al M: I José Abraham Torres Méndez, por el apoyo, consejos, esfuerzo y sobre todo la dedicación para culminar este trabajo.

Índice	
Agradecimientos	2
Índice de Ilustraciones	6
Índice de Tablas	9
Introducción.....	11
Planteamiento del problema.....	13
Justificación	17
Hipótesis	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos	21
CAPÍTULO I. ZONA DE ESTUDIO	21
1.1 Región hidrológica de estudio RH 27	21
1.2 Información general RH 27	24
1.2.1 Localización	24
1.2.2 Principales ríos y lagos RH 27 – Hidrografía.....	25
1.2.3 Orografía	27
1.2.4 Posición geográfica de la región hidrológica	27
1.2.5 Climatología	27
1.2.6 Comunicaciones y transportes	27
1.3. Cuenca, subcuenca y microcuenca hidrográfica	28
1.3.1 Cuenca.....	28
1.3.3 Microcuenca	31
1.3.4 Red hidrológica	31
1.4 Asentamientos humanos – poblaciones	32
1.4.1 Ubicación	32
1.5 Población	33

1.6 Actividades Económicas	37
1.6.1 Actividades Primarias	37
1.6.2 Actividades Secundarias	38
1.6.3 Actividades Terciarias	39
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	40
2.1 Marco Teórico y conceptual	40
2.2.1 Conceptos básicos de Topografía	45
2.2.3 Conceptos básicos de Geodesia	51
2.2.4 Conceptos básicos de Cartografía	60
2.2.5 Conceptos básicos de Percepción Remota	66
2.2.6 Conceptos básicos de Hidrología	72
CAPITULO III. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA A ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	83
3.1 Sistemas de Información Geográfica y sus componentes	83
3.1.1 Conceptos básicos de SIG	85
3.1.2 Componentes de un SIG	88
3.2 Tipos de Variables en un estudio	88
3.2.1 Tipos de variables en un estudio Geográfico	89
3.3 Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en los estudios hidrológicos	91
3.4 Capas de información de la zona de estudio para un análisis espacial ..	93
3.5 Datos de información Hídrica – CONAGUA	94
3.6 Generación de Cartografía Temática para un estudio hidrológico con ayuda de QGIS	96
CAPITULO IV. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA LOCALIDAD DE PUENTE DE RIELES EN VENTA GRANDE, PUEBLA	98

4.1.1	Mapa Topográfico de la zona de estudio	98
4.1.2	Mapa de Pendientes	101
4.1.3	NDVI años 2000 y 2023	104
4.1.4	NDWI años 2000 y 2023	107
4.2	Delimitación Poblacional – Asentamientos Humanos	110
4.3	Análisis de coberturas de uso de suelo	114
4.4	Análisis Hidrológico de Puente de Rieles, Venta Grande, Puebla.	122
4.4.1	Región Hidrológica Rh – 27 Bb	122
4.4.2	Delimitación de la microcuenca puente de rieles en Venta Grande, Puebla	124
4.4.3	Análisis de la precipitación pluvial de la zona de estudio	126
CONCLUSIONES		135
Bibliografía.....		138

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 , Mapa de escasez de agua en el mundo, Fuente; Organización de las Naciones Unidas,2014.	18
Ilustración 2 , Mapa de disponibilidad de agua en México para el 2030, Fuente; Forbes 2017.	19
Ilustración 3 , Distribución de Regiones Hidrográficas en México, Fuente; CONAGUA, 2015.	22
Ilustración 4 , Región Hidrológica RH 27, Fuente; Boletín Hidrológico No. 42, 1999.	23
Ilustración 5 , Red Hidrográfica "RH 27" Tuxpan - Nautla y sus Subcuencas, Fuente; Propia de la investigación, 2021.....	24
Ilustración 6 , Ubicación de la Cuenca Río Tecolutla, Fuente; Pereyra D y Pérez S, 2021.	29
Ilustración 7 , Ejemplo de una Subcuenca Hidrográfica RH 27 Bb, Escala 1:50 000; Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.	30
Ilustración 8 , Región Hidrológica de la zona de estudio, Fuente: SIATL; 2023. ...	32
Ilustración 9 , Ubicación Geográfica: Venta Grande, Puebla, Fuente; Google Earth, 2021.	32
Ilustración 10 , Población por sexo año 2010, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.....	34
Ilustración 11 , Habitantes por edad en Venta Grande, Fuente; INEGI, Censo Poblacional 2020 y 2010, 2021.	35
Ilustración 12 , Ejemplo de actividades primarias, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.....	38
Ilustración 13 , Tipo de actividades secundarias, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.....	39
Ilustración 14 , Tipo de actividades terciarias, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.....	40
Ilustración 15 , Composición de bandas para Landsat 7 y 8, Fuente; NASA, 2024.	44

Ilustración 16 , Ejemplo de Rumbo y Azimut Topográfico, Fuente; Topografía básica. 2023.	47
Ilustración 17 , Representación gráfica de las curvas de nivel, Fuente; INEGI, 2023.	49
Ilustración 18 , Tipos de Nivelación Topográfica, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2023.	50
Ilustración 19 , Sistema de Nivelación Topográfica, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2023.	51
Ilustración 20 , Representación gráfica de un Elipsoide; Sistemas de Información Geográfica, 2011.	52
Ilustración 21 , Representación gráfica de un Geoide, Fuente; INEGI, 2023.	53
Ilustración 22 , Ejemplo de un GNSS GEOMAX, Fuente; GEOMAX, 2023.	54
Ilustración 23 , Ejemplo de Latitud y Longitud, Fuente; Apuntes de topografía, 2010.	57
Ilustración 24 , Representación geométricas de una esfera, Fuente; GeoGebra, 2023.	58
Ilustración 25 , Representación de la Tierra; Fuente; Atlas de Geografía del mundo SEP;2023.	59
Ilustración 26 , Elementos de un mapa y sus componentes, Fuente; Cuéntame INEGI, 2023.	61
Ilustración 27 , Ciclo del agua, Fuente; INEGI,2023.	74
Ilustración 28 , Representación gráfica de una Cuenca Hidrológica, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.	75
Ilustración 29 , Ejemplo de una Microcuenca, Fuente; Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018.	76
Ilustración 30 , Ejemplo de estación Hidrométrica, Fuente; CONAGUA, 2017.	80
Ilustración 31 , Ejemplo de la aplicación del método de Isoyetas, Fuente; Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2024.	81
Ilustración 32 , Ejemplo de la aplicación del método polígonos de Thiessen, Fuente; Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2024.	82
Ilustración 33 , Ejemplo de un SIG, Fuente; Grupo Método, 2024.	83

Ilustración 34 , Estructura una capa en un SIG, Fuente; Servicio Geológico Nacional, 2023.	85
Ilustración 35 , Estructura de un Geodatabase, Fuente; Gis Geography, 204.....	86
Ilustración 36 , Ejemplo de la estructura de un Shapefile, Fuente; ArcGis, 2024.	86
Ilustración 37 , Ejemplo de una aplicación de un SIG en los estudios Hidrológicos, Fuente; iagua, 2019.	92
Ilustración 38 , Ejemplo de cartografía elaborada en QGIS; Fuente, QGIS, 2024.	97
Ilustración 39 , Mapa topográfico de la Subcuenca Rh 27 Bb, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	100
Ilustración 40 , Mapa de pendientes de la Subcuenca Rh 27 Bb, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	103
Ilustración 41 , Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), año 2020, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	105
Ilustración 42 , Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	106
Ilustración 43 , Mapa de índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	108
Ilustración 44 , Mapa de índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	109
Ilustración 45 , Mapa de Asentamientos Humanos año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	112
Ilustración 46 , Mapa de Asentamientos Humanos año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	113
Ilustración 47 , Mapa de Clasificación de Vegetación año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	116
Ilustración 48 , Mapa de Vegetación año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	117
Ilustración 49 , Mapa de Clasificación de Vegetación año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	120

Ilustración 50 , Mapa de Clasificación de Vegetación año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	121
Ilustración 51 , Mapa de la Red Hidrográfica – Subcuenca RH 27 Bb, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	123
Ilustración 52 , Mapa de la Microcuenca, Puente de Rieles, Venta Grande, Puebla, Fuente; Elaboración propia de la investigación.	125
Ilustración 53 , Mapa de Polígonos de Thiessen, año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	128
Ilustración 54 , Mapa de Polígonos de Thiessen, año 2010, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	130
Ilustración 55 , Mapa de Polígonos de Thiessen, año 2020, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	132
Ilustración 56 , Mapa Polígonos de Thiessen, año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	134

Índice de Tablas

Tabla 1 , Principales ríos y lagunas de la RH 27, Fuente; propia de la investigación, 2023.	26
Tabla 2 , Información principal de Venta Grande, Puebla, Fuente; INEGI, Censo Poblacional 2020, 2023.	33
Tabla 3 , Datum y Elipsoides existentes para México, Fuente; CONABIO, 2023. .	52
Tabla 4 , Clasificación de variables utilizadas, Fuente; Propia de la investigación, 2023.	90
Tabla 5 , Estaciones Climatológicas transitadas en la RH 27 Bb, Fuente; CONAGUA, 2024.	95
Tabla 6 , Intervalos o categorías de pendientes y sus correspondientes valores relativos de susceptibilidad propuestas en la Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fuente; CENAPRED, 2006,	101
Tabla 7 , Tabla de Parámetros fisiográficos de la Subcuenca Rh 27 Bb - Necaxa, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	122

Tabla 8 , Parámetros fisiográficos de la Microcuenca Puente de Rieles, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.	124
Tabla 9 , Datos de precipitación media, año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.....	127
Tabla 10 , Datos de precipitación media, año 2010, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.....	129
Tabla 11 , Datos de precipitación media, año 2020, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.....	131
Tabla 12 , Datos de precipitación media, año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.....	133

Introducción

En la actualidad gracias a las Tecnologías de la información Geográfica podemos realizar análisis espaciales, de distintos campos de estudio, pueden ser geológicos, edafológicos, hidrológicos entre otros más, la mayor parte son utilizados para resolver problemas de planificación, gestión de cualquier parte de nuestro entorno.

Como la determinación precisa de posiciones y la cartografía son el punto fuerte de los topógrafos, éstos continuarán en el futuro jugando papeles clave en el diseño, desarrollo, implementación y administración de esos sistemas (SIG). Su contribución será particularmente esencial en establecer los controles básicos necesarios, la conducción de levantamientos aéreos y terrestres para localizar accidentes geográficos y sus atributos, la compilación de mapas y el ensamble de los archivos de datos digitales necesarios en esos sistemas. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 857).

En la presente investigación se mostrarán la aplicación de estas tecnologías (TIG), todo esto aplicado a diferentes ramas de la ingeniería, como lo es la Topografía, Geodesia, Hidrología, entre otras más, teniendo como objetivo principal llevar a cabo un análisis espacial a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 y 8 , todo esto en nuestra zona de estudio, Puente de Rieles, ubicado en Venta Grande, Puebla, con ayuda de una combinación de la Percepción Remota, Tecnologías de la Información Geográfica y los Sistemas de Información Geográfica.

En nuestro capítulo uno, analizaremos información precisa sobre Venta Grande y sus alrededores, como lo es su Región Hidrográfica, actividades económicas, ubicación geográfica, población y otros datos de interés.

El capítulo dos, se mostrará el Marco teórico en cual está basada esta investigación y los conceptos necesarios para comprender el desarrollo de la misma.

Nuestro capítulo tres, nos describe los componentes y la aplicación de los SIG todo esto llevado para realizar un estudio hidrológico en nuestra zona de estudio, se mencionaran los conceptos básicos, sus componentes y las variables que suelen usarse, los SIG generan información geográfica de uso múltiple y con ello se demostrara la aplicación en la ciencia de hidrología, la descripción de cómo se realiza la extracción datos desde Geo portales como lo es CONAGUA, INEGI y CONABIO, USGS, por mencionar algunas.

Al realizar una combinación de bandas de una imagen multiespectral y en base a una clasificación no supervisada se obtendrán mapas temáticos que en el capítulo 4 se mostrara dentro de un estudio multitemporal, tomando en cuenta los años 2000 y el año 2023, el análisis mostrará el comportamiento de la vegetación, asentamientos humanos, la vegetación sana, el impacto de la deforestación, los cuerpos de agua que rodean nuestra área de estudio, así mismo conoceremos los niveles de índice de vegetación normalizada (NDVI) y el índice de agua normalizada (NDWI).

La cartografía temática involucrará la descripción de la Topografía, el Mapa de pendientes, la subcuenca RH 27 Bb siendo está a la cual pertenece nuestra zona de estudio, su Red Hidrográfica y la microcuenca Puente de Rieles, toda la cartografía generada se ejecutará con ayuda del Software QGIS, el cual es libre y de código abierto, con el objetivo de conocer sus parámetros fisiográficos de la microcuenca de nuestra zona de estudio.

La aplicación hidrológica se mostrará con método de polígonos de Thiessen y de la mano con las estaciones hidrométricas conoceremos el cálculo aritmético de la precipitación media anual de nuestra área de estudio, aplicados para los años 2000, 2010, 2020 y 2023 para conocer los periodos con mayor y menor precipitación media anual y la distribución espacial de cada estación hidrométrica mediante un mapa ilustrativo.

En los últimos años a nivel mundial el cambio climático y sus variables están tomando mayor fuerza, convirtiéndose en una amenaza para el desarrollo de la vida en este planeta, derivado de las actividades humanas. Distintos son los fenómenos que están relacionados en el cambio climático y estos ya son más perceptibles en el día a día, cada uno de estos afecta de manera económica y social a nivel mundial.

La ONU advierte que existe un retraso en el combate del cambio climático, a continuación, mencionaremos estos 10 problemas ambientales que están causando desafío en la actualidad, la adaptación y mitigación al cambio climático, los problemas de contaminación y de impacto en la salud, la protección de los océanos, la transición energética y las energías renovables, modelo alimentario sostenible, la protección de la biodiversidad, el desarrollo urbano y la movilidad sostenible, el estrés hídrico y la escasez de agua, los fenómenos meteorológicos extremos y la superpoblación, y por último la gestión de residuos. (Iberdrola, 2024).

Parte de esta entrega es realizar un análisis para detectar posibles problemas ambientales, los cuales están teniendo mayor relevancia en la actualidad y así generar un informe sobre lo detectado con las herramientas de un SIG y generar recomendaciones a partir de los resultados.

Planteamiento del problema

El 70% de la Tierra está cubierto de agua, por lo que se le conoce como el planeta azul. De toda el agua disponible, el 97.5% es salada y se encuentra en océanos y mares. Solo el 2.5% es agua dulce. Esta la encontramos en ríos, lagos y depósitos bajo la tierra. También puede permanecer congelada en los glaciares y los polos. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2025).

Dentro de los recursos naturales el agua es indispensables para que la vida pueda continuar, un claro ejemplo es que el 70% del cuerpo humano es agua y el 85% del cerebro está conformado por agua, las personas dependen del agua para beber, realizar sus actividades cotidianas limpiar, cocinar, lavar, entre otras más, el

mantener un equilibrio entre las necesidades humanas de agua y el cuidado de los diferentes ecosistemas es uno de los principales retos del siglo XXI.

Pese a que el agua ha estado circulando desde siempre en el mundo a causa del ciclo hidrológico diversos fenómenos como el cambio climático, sobreexplotación, sobrepoblación, contaminación, estrés hídrico, la falta de conciencia de su uso entre otros han estado causado su falta física y así mismo provocando una crisis de agua, afectando a seres humanos y al medio ambiente, a pesar de que el agua es un recurso natural renovable los patrones; espacio y tiempo producen alteraciones en su ciclo hidrológico.

Actualmente el agua es uno de los temas con mayor centro de debate dentro de muchas reuniones internacionales y nacionales, su estado de interés queda manifestado en el número de publicaciones realizadas a partir de 1987 hasta 2007 en diferentes sitios web de ciencia por ejemplo: "Web of science", "Scopus", donde se calcula que para 1987 existían 118 publicaciones con el termino wáter and scarcity, sin embargo para 2007 hubo un total de 1,022 artículos con los mismos términos de agua y escasez en el mundo, lo cual manifiesta la preocupación e interés por comprender y atender este tipo de problemática.

En palabras Escibano, El agua es vida, cultura, economía, religión, salud, desarrollo, tecnología, compartir, gestionar, usar, conflicto, riqueza, belleza, seguridad y entre otras cosas más. (Escibano , 2007, pág. 91). Retomando al autor el presente trabajo se enfatizará en valorar a este recurso hídrico desde una visión de lo cultural, económico desde la salud y la gestión con ayuda de tecnologías de la información geográfica.

A un número de personas que no tiene acceso al agua durante un periodo de tiempo prolongado, se dice que padecen escasez de agua, la escasez física surge cuando no hay suficiente agua para cubrir la demanda de la población y algunos de sus síntomas son; degradación severa en el medio ambiente, la reducción del nivel de

las aguas en diferentes embalses como presas, ríos y otros y la distribución del agua que se pretende hacer llegar a la población.

Los problemas de falta de agua afectan actualmente a más de 3,000 millones de personas, mientras que 1,500 millones de personas sufren grave escasez o incluso situaciones de sequía. Se estima que hasta 700 millones de personas corren el riesgo de verse desplazadas por una aguda escasez de agua antes de 2030.

(Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2021, pág. 4).

En México dependencias gubernamentales, comienzan a identificar, analizar y clasificar los factores que producen la falta de agua en la república mexicana, como lo es Comisión Nacional del Agua, CONAGUA y el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI, entre otros, los índices de escasez han estado en constante aumento, esto se demuestra con los siguientes datos: más de 35 millones de mexicanos viven con escasez extrema de agua; arriba de 43 millones con disponibilidad baja.

De continuar los actuales esquemas de uso y aprovechamiento ineficiente de los recursos hídricos, el futuro de México se ve seriamente amenazado esto se demuestra a través de la falta física del agua y en la falta de capacidad de distribución para la población. (Breña & Breña , Disponibilidad de agua en el futuro de México, 2007).

Durante las últimas décadas, la disponibilidad anual por habitante en México ha pasado de 10 mil metros cúbicos (m^3) promedio en 1960 a 4 mil m^3 en 2000 y 3.2 mil m^3 en 2020. El deterioro y explotación de los cuerpos de agua, sumado al aumento de la población y al incremento de las sequías, provocará que para 2030, la disponibilidad en México descienda por debajo de los 3 mil m^3 por habitante al año. (Instituto Mexicano para la Competitividad A.C., 2023, pág. 1).

El estado de Puebla está sufriendo un proceso de cambio desde los años setenta del siglo pasado hasta la actualidad y cada vez se limita el acceso al agua potable. Desde hace unos cinco años, el sistema operador consideraba una dotación cercana a los 200 litros por habitante por día de agua potable; sin embargo, el reto es reducirla a 100 litros. (Zambrano, 2023).

Venta Grande es una cabecera municipal, perteneciente a Huauchinango Puebla, aquí se encuentra la microcuenca Puente de Rieles, el cual ha estado distribuyendo el agua potable, por muchas décadas a varias comunidades cercanas a este poblado, actualmente está sufriendo falta de agua, Río puente de Rieles disminuye 65% su capacidad; alerta a Xicotepec. (Hernández, 2022). Estos datos son preocupantes ya que es la única fuente de abastecimiento para los poblados de Xicotepec, El Cajón, Las Pilas y otros pueblos circunvecinos.

En tanto la Ingeniería busca práctica y conocimiento a la solución de problemas generados en la sociedad, por ejemplo, construcción de infraestructuras, tratamiento a las necesidades humanas básicas, alivio de la pobreza, buscar desarrollo seguro y desarrollo sostenible, la respuesta a situaciones de emergencia, por tal motivo la ingeniería se ha inmiscuido en temas de sustentabilidad

La ingeniería ha salvado millones de vidas a través de agua limpia con sistemas de tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de erradicar enfermedades que, causadas por el agua, como el cólera, amebiasis, tifoidea, salmonelosis, hepatitis y otras más, aunque se han estado realizando distintos avances muchas personas siguen sufriendo de escasez de agua, para la ingeniería es muy importante este desafío.

Un claro ejemplo de la Ingeniería Topográfica nos ayuda a describir la forma de alguna zona en específico de la Tierra, esta puede realizarse en zonas con extensiones de agua y con ayuda de la hidrología podemos representar sus relieves, formas y sobre todo la ubicación en relación con ayuda de las Tecnologías de

información geográfica, TIG, en esta investigación se pretende evidenciar a través de mapas temáticos, el comportamiento de nuestra zona de estudio y así generar un estudio hidrológico de agua en esta comunidad, para conocer las diferentes problemáticas que se han generado por la falta de agua.

Justificación

Una persona tiene la posibilidad de estar sin consumir alimentos por un largo periodo, pero no puede dejar de tomar agua ya que sólo sobreviviría una semana. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022). El agua es el recurso centro de la supervivencia en el mundo, en las últimas décadas su ausencia se ha visto más notable que en décadas atrás.

Distintas instituciones colaboran a nivel mundial para fomentar la preservación del agua, éstas también generan inversiones, proyectos y campañas al cuidado del agua, como lo son: la Organización de las Naciones Unidas, ONU, El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, UNICEF. La Organización Mundial de la Salud, OMS, el Consejo Mundial del Agua, (World Water Council), La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO y otras más, cada una de ellas crea campañas públicas que tratan de crear conciencia sobre los problemas de agua y evidenciar los principales retos al acceso de agua.

Entre 2,000 y 3,000 millones de personas sufren escasez de agua durante al menos un mes al año, lo que supone graves riesgos para sus medios de subsistencia, en particular la seguridad alimentaria y el acceso a la electricidad. Se prevé que la población urbana mundial que sufre escasez de agua se duplique, pasando de 930 millones en 2016 a 1,700-2,400 millones de personas en 2050. (UNESCO/ONU-Agua, 2023).

Habitualmente, los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población. Una zona experimentará estrés hídrico cuando su suministro anual

de agua caiga por debajo de los 1.700 m³ por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1.000 m³ por persona, entonces se habla de escasez de agua. Y de escasez absoluta de agua cuando la tasa es menor a 500 m³. (Organización de las Naciones Unidas, 2014)

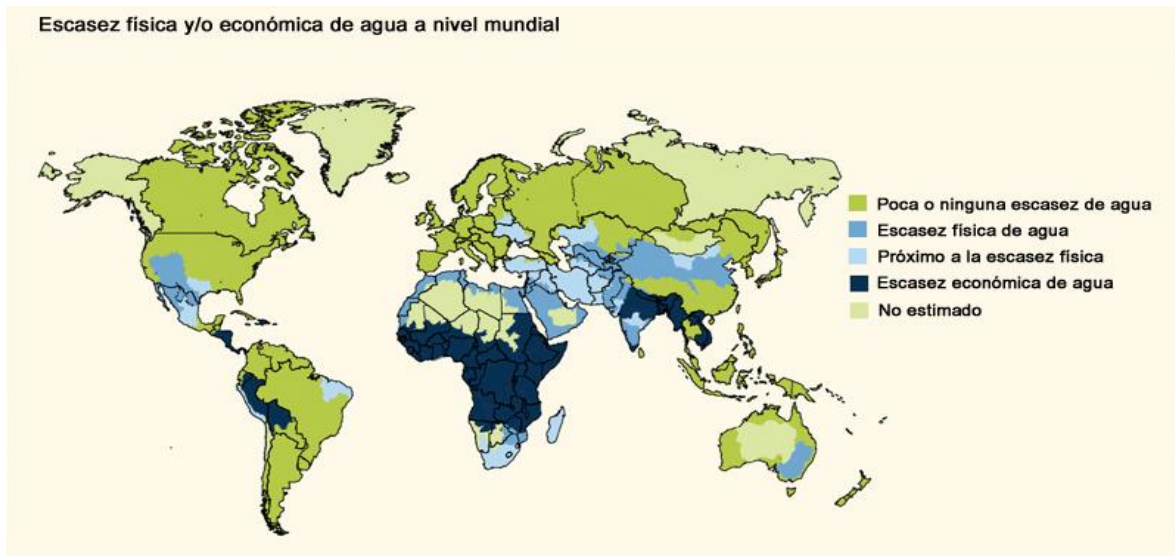


Ilustración 1, Mapa de escasez de agua en el mundo, Fuente; Organización de las Naciones Unidas, 2014.

La ilustración 1 nos muestra la escasez de agua a nivel mundial, la situación es cada día más preocupante, ya que de manera económica y física el agua está faltando.

Más de 35 millones de mexicanos viven con escasez extrema de agua; arriba de 43 millones con disponibilidad baja. De continuar los actuales esquemas de uso y aprovechamiento ineficiente de los recursos hídricos, el futuro de México se ve seriamente amenazado. (Breña & Breña , 2007).

La disminución de agua para el 2030 afectara a las principales ciudades en pleno crecimiento tal como lo muestra la ilustración 2, la cual ejemplifica la urgencia e importancia del hablar del tema en México, con la espera de una solución a esta situación.

Regiones con más y menor disponibilidad

La disminución de agua en 2030 tendrá lugar sobre todo en zonas donde hay ciudades en pleno crecimiento.

2030

m³ / hab. / año

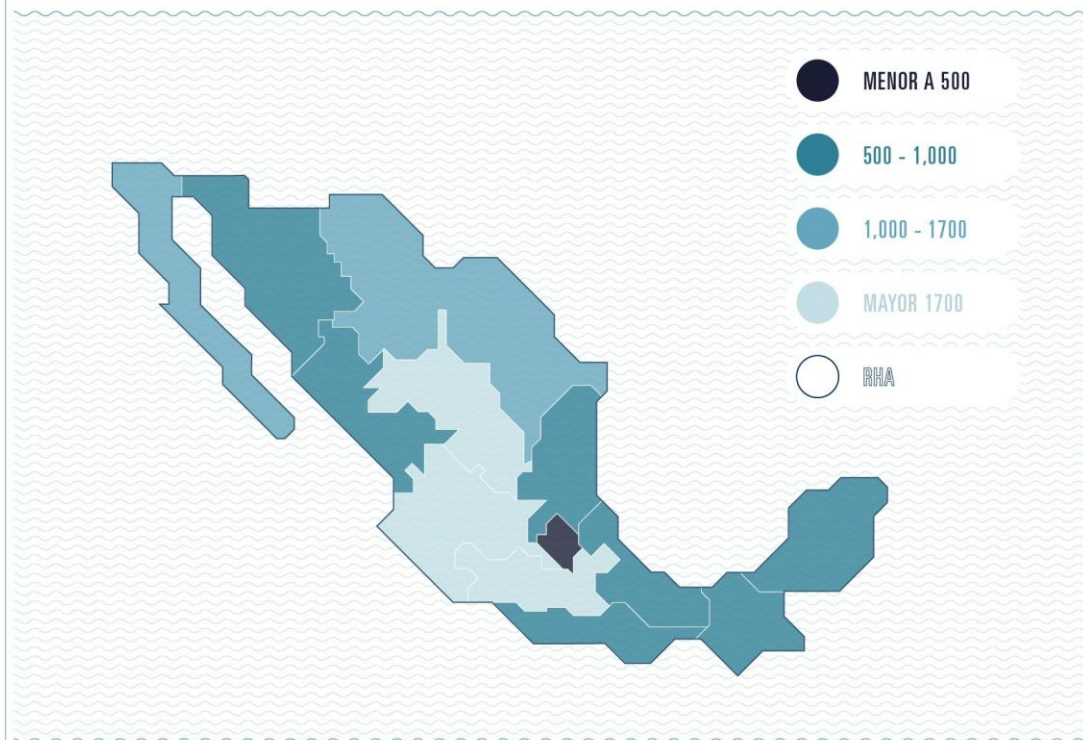


Ilustración 2, Mapa de disponibilidad de agua en México para el 2030, Fuente; Forbes 2017.

Puebla se encuentra entre las ciudades en alerta roja, ya que está posicionada entre las ciudades del mundo declarada en alerta roja por la inminente crisis que enfrenta por escasez de agua. En la capital poblana es donde se concentra el mayor número de población del estado en donde se consume anualmente entre el 40 y el 80 por ciento de sus reservas de agua. (Llaven, 2019).

Debido al cambio climático y a la degradación de la calidad de agua se generan crisis ambientales entre ella la falta de agua, por ellos es importante recalcar que este tema no es abordado con la importancia que debería ser tratado, para ello se

busca un equilibrio de este recurso natural para toda la demanda humana, el abordar este tipo de problemas ambientales desde la visión de la ingeniería topográfica en la producción de tesis a nivel de licenciatura, promoverá la formación de futuros ingenieros que apostarán por aplicar y desarrollar temas sustentables haciendo uso de sus saberes técnicos, científicos y disciplinares.

Hablar de escasez de agua es hablar de un tema multidisciplinar desde la visión del presente trabajo se pretende abordar las disciplinas como; Geografía, Topografía, Geodesia, Hidrología, Geología, Estadística, Tecnologías de la Información Geográfica, Gestión del Territorio, desde la administración del agua y su marco jurídico.

Con ayuda de estas disciplinas se permitirá a la investigación aplicar los métodos y procesos de un estudio hidrológico, con ayuda de hidrología, los sistemas de información geográfica, la teledetección, geoestadística, y como producto cartográfico la modelación de la zona de estudio, con ello poder tener una visión de cómo ha evolucionado el problema a través del tiempo y así generar propuestas para erradicar el problema.

Hipótesis

¿La Ingeniería Topográfica y Geodésica podría determinar el estudio hidrológico en Venta Grande, Puebla utilizando las Tecnologías de la Información Geográfica?

Objetivo general

Realizar un estudio hidrológico con ayuda de las Tecnologías de Información Geográfica para Puente de Rieles ubicado en Venta Grande, Puebla.

Objetivos específicos

1. Analizar información básica sobre la zona de estudio, con ayuda de sistemas de información geográfica.
2. Reconocer la metodología para realizar estudio hidrológico con Tecnologías de la Información Geográfica en Venta Grande, Puebla.
3. Reconocer la importancia de las Tecnologías de la Información Geográfica, conociendo sus componentes y aplicaciones, mostrando la relación con la Ingeniería Topográfica y Geodésica.
4. Identificar las principales aplicaciones de un estudio hidrológico en Puente de Rieles, ubicado en Venta Grande, Puebla.

CAPÍTULO I. ZONA DE ESTUDIO

1.1 Región hidrológica de estudio RH 27

El ordenamiento del recurso hídrico es de suma importancia para su estudio, ya que con él se facilita la administración y su estudio, empezando por la región hidrológica, tal como lo dice CONAGUA, por tanto, sus límites de la región hidrológica son en general distintas en relación con la división política por estados, Ciudad de México y municipios. Una o varias regiones hidrológicas integran una región hidrológica administrativa. Normalmente una región hidrológica está integrada por varias cuencas, y sus límites difieren a la división política por estados y municipios. (Comisión Nacional del Agua, 2018, pág. 298).

La ilustración 3 nos muestra la distribución de las Regiones hidrográficas en México.



Ilustración 3. Distribución de Regiones Hidrográficas en México, Fuente; CONAGUA, 2015.

Para propósitos de administración de las aguas nacionales, la CONAGUA ha definido 757 cuencas hidrológicas, cuyas disponibilidades se encuentran publicadas en el Diario Oficial de la Federación. Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (RH). A su vez, las regiones hidrológicas se agrupan en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA). Las regiones hidrológicas representan los límites naturales de las grandes cuencas de México y se emplean para el cálculo del agua renovable. (Comisión Nacional del Agua, 2018, pág. 298).

Geográficamente nuestra zona de estudio se sitúa en Venta Grande, perteneciente al municipio de Huauchinango, Puebla, para ello clasificaremos las cuencas que transitan dentro del estado de Puebla;

El estado de Puebla se divide en 4 regiones hidrológicas, las cuales son:

1. Rh 18 Río Balsas.
2. Rh 27 Río Tuxpan – Nautla.
3. Rh 28 Río Papaloapan.

4. Rh 26 Río Pánuco.

Estas cuatro regiones hidrológicas transitan dentro del estado de Puebla, la región hidrológica perteneciente a nuestra zona de estudio es la RH 27 a su vez se encuentra dividida por tres cuencas: Río Nautla, Río Tecolutla y Río Cazones, la ilustración 4, nos muestra la cobertura de la Red Hidrológica RH 27 dentro de la división política de la República Mexicana. A su vez esta cuenca está dividida por 6 subcuencas: Río Tecolutla, Río Necaxa, Río Laxaxalpan, Río Tecuantepec, Río Apulco, Río Jolopan, ejemplificado en la ilustración 5.

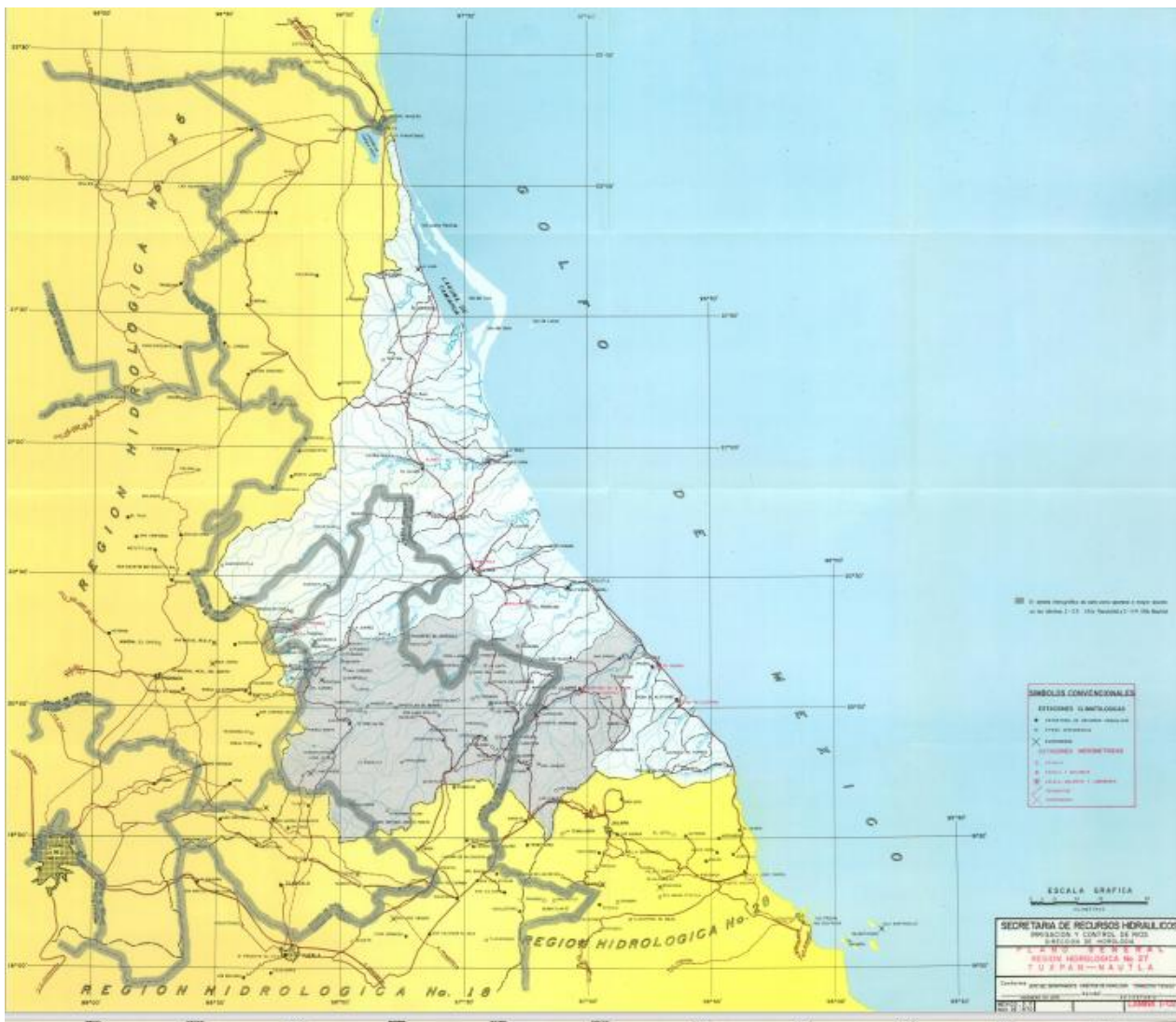


Ilustración 4, Región Hidrológica RH 27, Fuente; Boletín Hidrológico No. 42, 1999.

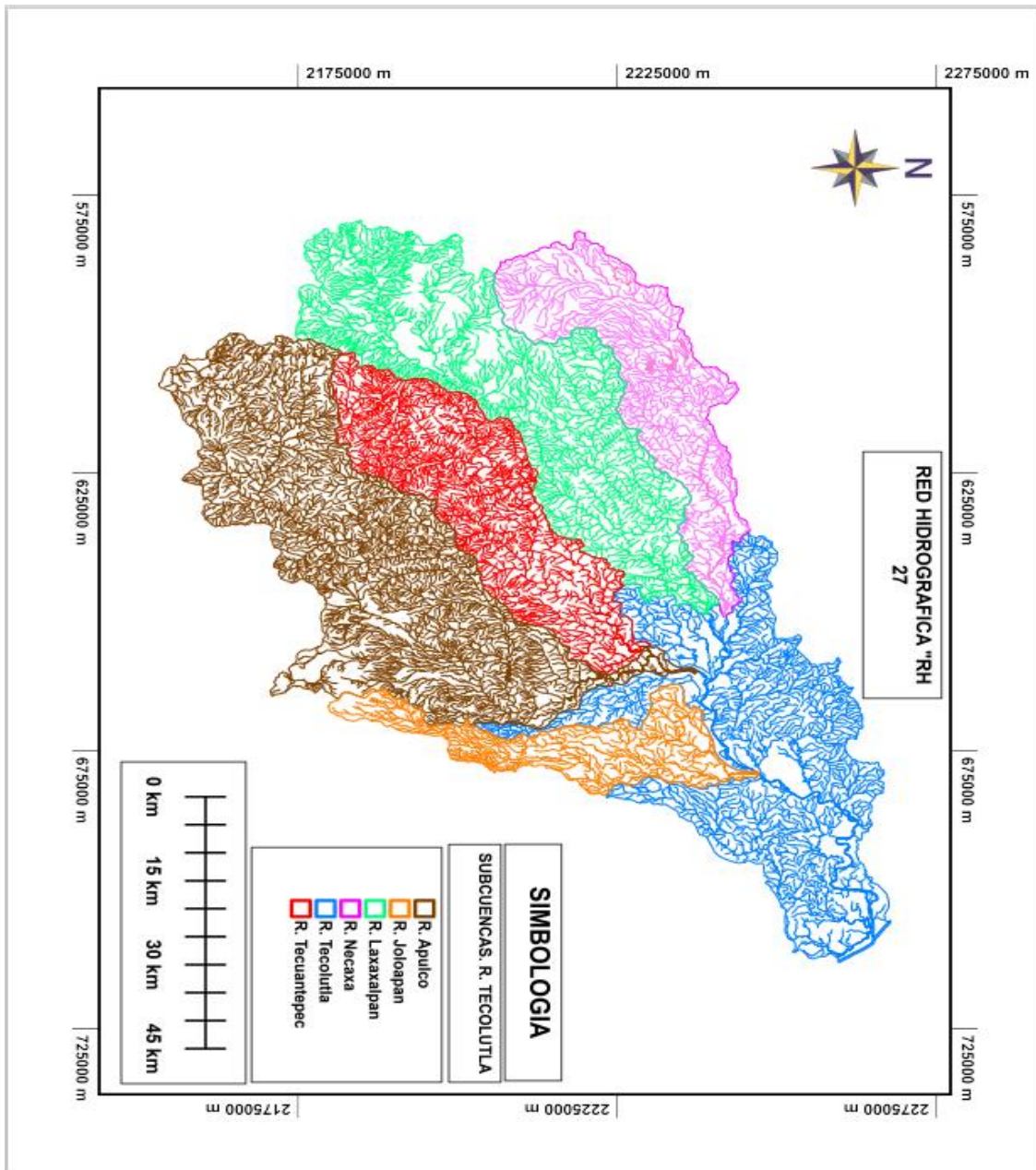


Ilustración 5, Red Hidrográfica "RH 27" Tuxpan - Nautla y sus Subcuencas, Fuente; Propia de la investigación, 2021.

1.2 Información general RH 27

1.2.1 Localización

Se ubica en la parte central del Golfo de México, se encuentra limitado por la RH 26 al norte, al oeste por la RH 18 y al sur por la RH 28. Tiene inicio en la barra de

Tampico, continua en una península larga hacia el sureste por 25 km, toma dirección para el sur, uniéndose a tierra firme superficie conocida como Laguna de Tamiahua. Conectándose con el Golfo de México, por la bahía Tanhuijo, desembocando 10 km al río Tuxpan.

Su hidrografía se conforma por ríos, arroyos, esteros, lagunas y corrientes menores, sus ríos más importantes son; el río Cazones, Tecolutla, Tuxpan, Misantla, Colipa y Nautla, las lagunas de mayor importancia en esta región hidrológica son; Laguna Chica, Laguna Grande, San Agustín y Tamiahua, las corrientes pequeñas que forman grupos con arroyos paralelos entre sí y muchos se alimentan de esteros y lagunas ya mencionados.

Aunque la mayor parte de la Región Hidrológica se desarrolla en Veracruz, abarca importante zona del estado de Puebla y áreas menores a Tlaxcala e Hidalgo. La región hidrológica RH 27 corresponde a la segunda región en extensión dentro de Veracruz, el sistema fluvial está formado por las cuencas de los ríos Tuxpan – Nautla, sumando cauces secundarios.

Se caracteriza esta región hidrológica por presentar las principales expresiones geomorfológicas de litoral, como dunas e islas de barreras, apoyados de arrecifes, los cuales forman sistemas lagunares, destaca Tamiahua y otros de menor dimensión, del cual ocupa el 25.70% del total de la superficie del territorio Veracruzano.

1.2.2 Principales ríos y lagos RH 27 – Hidrografía

Gracias a la cercanía con el Golfo de México y la costa, esta región es muy rica en su aprovechamiento del gran potencial de energía hidroeléctrica y en el riego, para ello describiremos cuales son los ríos y lagunas con mayor aprovechamiento y de mayor importancia en la RH 27.

Tabla 1, Principales ríos y lagunas de la RH 27, Fuente; propia de la investigación, 2023.

Nombre	Descripción
Laguna de Tamiahua	Es una de las lagunas más grande de la República Mexicana, ubicada entre la ciudad de Tampico y Tuxpan, entre los paralelos 20° 58' y 22° 10' latitud norte, y 97° 20' y 97° 45' longitud este.
Río de Tuxpan	Nace en el estado de Hidalgo, con el nombre de río Pantepec a 8 km de Tenango de Doria, desemboca en el Golfo de México en el lugar llamado de barra de Tuxpan.
Río Cazones	Su formación inicia con arroyos formadores que descienden en la Sierra de Hidalgo, la planicie costera con el nombre el nombre de Cazones desemboca en el Golfo de México, así lo mismo con el río Tecolutla y Cazones.
Río Tecolutla	Los principales arroyos nacen en la Sierra norte de Puebla, como lo es en Huauchinango, Zacatlán, Acatlán y por último en Teziutlán, sus principales afluentes son el río Xiucayucan, Calapa, Tecuantepec, Necaxa y Nautla.
Río Laxaxalpan	Nace en el estado de Puebla, conocido con su nombre antiguo "Tecocuya" en el poblado de Paredón, pasa por la zona montañosa de Zacatlán, confluyendo con el río Necaxa a 20 km de dichos límites.
Río Necaxa	En dirección de este - Noroeste a 15 km se localiza la presa de Necaxa aguas abajo afluye con el río Tenango y el almacenamiento de esta se deriva por medio de un túnel en dirección a la presa de Necaxa.

Dentro de un estudio hidrológico es importante definir aspectos que forman una región hidrológica, dentro de este apartado describiremos datos de la región hidrológica RH 27, evidenciados a continuación.

1.2.3 Orografía

La región hidrológica RH 27, la caracteriza por un accidente orográfico importante, está constituido por la Sierra madre Oriental, se extiende desde Texas hasta terminar en cofre de Perote, Veracruz y por el extremo suroeste recibe el nombre de Sierra madre de Hidalgo, Sierra Norte de Puebla, y otras, estos accidentes tienen relación con la Cordillera Neovolcánica y este se extiende hasta la costa, de aquí proviene el límite el límite entre las regiones hidrológicas RH 27 y RH 28.

En estas sierras es donde se forman las mayores precipitaciones de toda la región hidrológica, en consecuencia, se genera mayores escurrimientos superficiales, que fluyen hacia la planicie generando corrientes torrenciales y con formaciones de grandes avenidas de origen ciclónico.

1.2.4 Posición geográfica de la región hidrológica

Localizada dentro de la zona tropical, frente al Golfo de México, con una latitud que queda expuesta para el ataque de los ciclones los cuales tiene como origen el Océano Atlántico, mar Caribe y en el Golfo de México.

1.2.5 Climatología

Se clasifica como muy húmedo a húmedo, en otras partes cálidas, otras semiseco o templado, su vegetación es de bosque tropical y subtropical, y con zonas de bosques de coníferas, bosque de encino, bosque de pino, bosque mesófilo.

1.2.6 Comunicaciones y transportes

La mayor parte de la región hidrológica se desarrolla dentro de los estados de Veracruz y Puebla, así como pequeñas porciones de Hidalgo y Tlaxcala, sin embargo, las ciudades conectan entre si a las ciudades de Tampico, Pánuco,

Naranjos, Molango, Tuxpan, Poza Rica, Tecolutla, Teziutlán, Ciudad de México, Estado de México, Huauchinango, Nautla, Tulancingo, Pachuca y Puebla. Actualmente se cuentan con aeropuertos como lo es en Puebla, Poza Rica, Tampico, Ciudad de México, Estado de México y Tuxpan, todos estos son de largo alcance para pista y para diversos usos, red amplia de teléfonos, telégrafos y correos que unen a los cuatro estados.

La Red Hidrográfica Rh 27, en conjunto con sus cuencas y microcuencas son ricas en aprovechamientos hidrológicos, en la parte alta de la cuenca de río Cazones sobre el río Chaltecontla se ubica la presa de los Reyes cuyos almacenamientos incorporan a los de la presa la Laguna y a la planta de Texcapa, del sistema hidroeléctrico de Necaxa.

Dentro de los estudios comprendidos de esta Red Hidrológica 27, se han realizado diversos estudios, con la finalidad de conocer información general de la red hidrológica, cuencas y subcuencas que conforman esta importante masa de agua.

Diversidad de climas, vegetación, orografía y comunicación y transporte conforman a la Red Hidrológica RH 27, la cual comprende una gran riqueza en cuanto a el aprovechamiento del recurso hídrico, para su explotación en presas hidroeléctricas las cuales pueden mejorar las condiciones de vivienda y nuevos proyectos, para realizar contribuciones el desarrollo hidráulico.

1.3. Cuenca, subcuenca y microcuenca hidrográfica

1.3.1 Cuenca

La cuenca en conjunto con otros cuerpos de agua son fundamentales de la hidrología, para ello describiremos las características de una cuenca;

1. Con un área aproximadamente a 50, 000 hectáreas.
2. Es la unidad de la planeación hidrologica.

1.3.3 Microcuenca

La composición de una microcuenca se analiza de arriba hacia abajo, en lo que se denomina clasificación vertical, sus criterios son los siguientes;

1. Zona o área de captación: se conforma por las partes altas, (cerros, montañas), que rodean la microcuenca, estas zonas son muy importantes debido que las coberturas vegetales existentes tienen como función la regulación hídrica.
2. Área de vertientes: esta se conforma por las partes medias del terreno en el que se encuentra la microcuenca, en esta zona se afloran las aguas subterráneas que se filtran a través del suelo, aquí mismo aquí mismo se pueden apreciar arroyos y quebradas, conformados y con mayor caudal.
3. Zona receptora o con mayor confluencia, esta se da principalmente en las áreas bajas de las montañas y las vegas de los ríos en este punto se unen todos los quebrados, ríos y arroyos, en torno al río principal.

1.3.4 Red hidrológica

El construir una red hidrológica nos permite producir estudios fundamentales aplicados a la hidrología, como la prevención de desastres, ordenamiento territorial, agrícola forestal y de infraestructura, análisis de sistemas de aguas superficiales de las cuencas y el producto final es la elaboración de mapas.

Componentes de una red hidrológica:

1. Puntos de drenaje, Indica donde los flujos se drenan a otras subcuencas, o al mar, estas se juntan para crear nuevas formaciones como lagos.
2. Líneas de flujo. Simboliza el flujo de agua natural o artificial, a través de canales.
3. Polígonos de subcuencas. Delimitación del área, por una divisoria cuyas aguas fluyen en una corriente principal o cuerpo de agua.

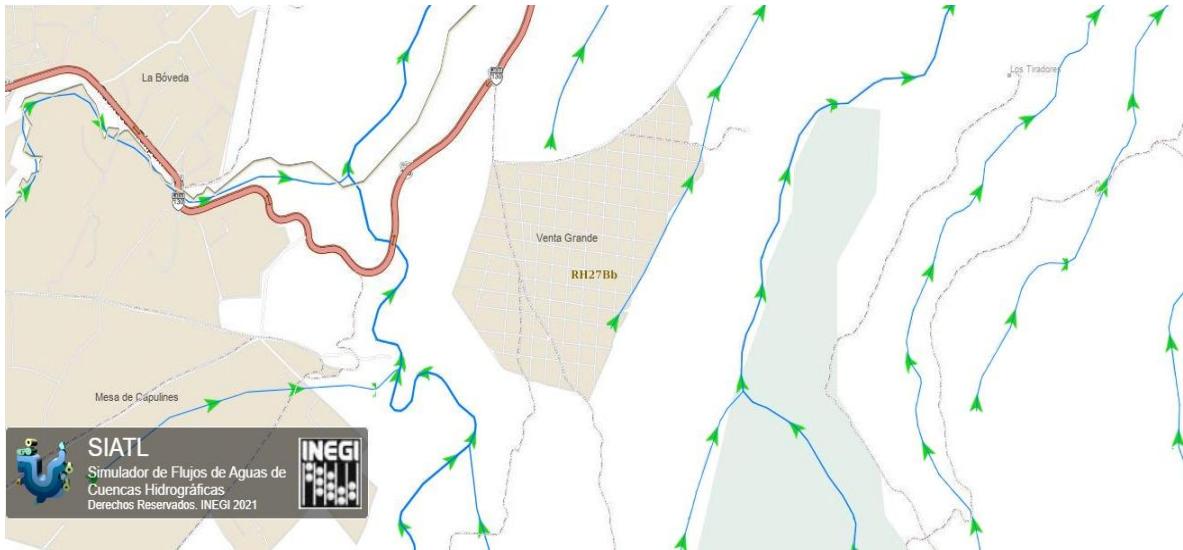


Ilustración 8, Región Hidrológica de la zona de estudio, Fuente: SIATL; 2023.

Como se muestra en la ilustración 8, la circulación de la Red Hidrológica en nuestra zona de estudio, Venta Grande, pertenece a la Subcuenca RH 27 Bb.

1.4 Asentamientos humanos – poblaciones

1.4.1 Ubicación



Ilustración 9, Ubicación Geográfica: Venta Grande, Puebla, Fuente: Google Earth, 2021.

Venta Grande, Huauchinango, Puebla, ubicado geográficamente como lo muestra la ilustración 9, con coordenadas geográficas longitud 20° 07' 7.0", latitud -98° 05' 55.0", altitud: 2,127 metros sobre el nivel de mar.

Dentro de la tabla 2 se muestra información general con relación a la población, extraídos de INEGI, durante el censo poblacional 2021.

Tabla 2, Información principal de Venta Grande, Puebla, Fuente; INEGI, Censo Poblacional 2020, 2023.

INFORMACIÓN DE LA LOCALIDAD	DATOS ACTUALES 2020
Clave INEGI	210710037
Clave de la identidad	21
Nombre de la entidad	Puebla
Clave del Municipio	071
Nombre del Municipio	Huauchinango
Clave de la localidad	0037
Nombre de la localidad	Venta Grande
Es cabecera municipal	No
Código Postal	73167
Grado de marginación de la localidad	Medio
Grado de rezago social	Muy bajo
Tipo de localidad habitada	Poblado tradicional

1.5 Población

Datos demográficos. Esta parte de nuestra investigación mostraremos información general de Venta Grande, para conocer el comportamiento que tiene la población, como lo es demografía, servicios públicos, seguridad pública, consumo y cosecha

de alimentos, el servicio de telecomunicaciones, medios de transporte, saneamiento en la región, lenguas indígenas y los principales fenómenos naturales que afectan a la región, con ayuda de los censos poblacionales del 2010 y 2020 de INEGI.

Tipos de vivienda. El censo poblacional del año 2020 proporciono que, en Venta Grande, hay 702 viviendas particulares, de las cuales 458 son habitadas, y 436 no cuentan con recubrimiento del piso, 451 cuentan con energía eléctrica, 455 con agua entubada, 411 con servicio de sanitario, las cifras del censo poblacional 2010 muestran 197 viviendas particulares no habitadas y 51 viviendas con tres o más ocupantes por cuarto.

Población por sexo. La población por sexo en el año 2010 era de 771 mujeres y de 757 hombres, dando un total de 1528 habitantes dentro de Venta Grande, como lo ejemplifica la ilustración 10.



Ilustración 10, Población por sexo año 2010, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.

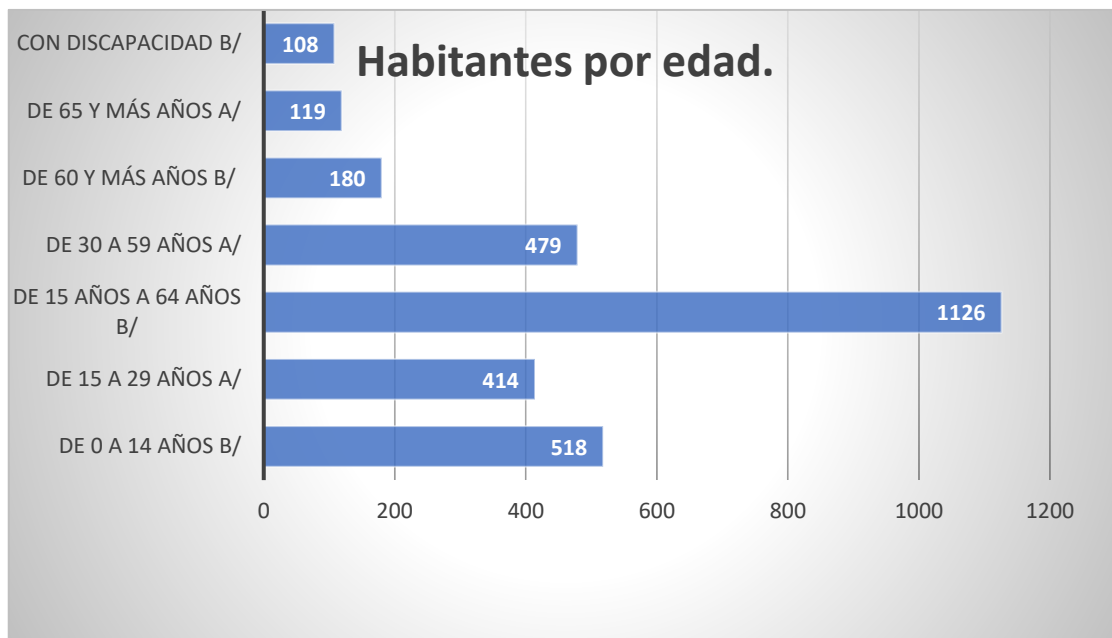


Ilustración 11, Habitantes por edad en Venta Grande, Fuente; INEGI, Censo Poblacional 2020 y 2010, 2021.

Los habitantes por edad se muestran en la ilustración 11, de acuerdo con los censos poblacionales 2010 y 2020, el símbolo A/ muestra los datos actualizados del año 2010 y el B/ para el año 2020. La población con mayor abundancia en Venta Grande es de 15 años a 64 años, de acuerdo con las cifras del año 2020.

Alimentación. Dentro de los alimentos con mayor consumo en esta región de acuerdo con el Censo Poblacional 2020; INEGI, son los siguientes; el frijol, el maíz (tortillas o maíz), harina de pan o trigo, arroz, leche, huevo, carne de res o puerco, pollo, pescado y por último frutas y verduras.

Servicios públicos. La mayor parte de los servicios públicos en esta región aún no están cubiertas en su totalidad, con ayuda de los datos del censo poblacional 2020 de INEGI, describiéremos la calidad de los servicios públicos con los que cuenta y con los que no cuenta la población, el abastecimiento del agua es mediante mangueras, la disponibilidad de la red de agua es por medio de tubería, pero no en su totalidad, su fuente de abastecimiento de agua es por la extracción de manantiales cercanos a la región, cuenta con alumbrado público, pero la cobertura

es para menos de la mitad de la población y su principal problema socioeconómico es la carencia y el mal estado del drenaje.

Seguridad pública. La calidad del bienestar de los espacios públicos y privados está a cargo por personas con facultades académicas distintivas, con el fin de garantizar la inexistencia de amenazas, sin embargo, no todas las poblaciones cuentan con ello, Venta Grande, Pue, se caracteriza por la carencia de autoridades ya que datos del INEGI correspondientes al censo poblacional 2020, indica que no existe autoridades municipales, y los encargados de hacer valer las leyes está en manos de comisarios ejidales / de bienes comunales, apoyados de autoridades indígenas y autoridades tradicionales, no cuenta con el apoyo de policía local.

Fenómenos naturales. Dentro de Venta Grande de acuerdo a INEGI y al censo poblacional 2020 existe sequia / escasez de agua provocado por los cambios climáticos, los siguientes fenómenos naturales no tienen ocurrencia alguna en esta zona; las heladas y granizadas, inundación por lluvia o desbordamiento de los ríos cercanos, incendios forestales, temblores y por último ciclones y/o huracanes.

Saneamiento. En la mejora de la calidad del medio ambiente existe el área de saneamiento la cual se encarga recoger los residuos y subsanar diferentes áreas dañadas por el ser humano, en Venta Grande, Pue, los residuos se ponen en manos de la red pública de drenaje, el destino de esos desechos llega a los arroyos, ríos mares, la limpieza de sus áreas públicas no es una actividad que se realiza dentro de esta zona, la recolección de basura es domiciliaria y su destino es a un centro de transferencia o de acopio.

Medios de transporte para Venta Grande. La carretera federal Tulancingo – Huachinango es la carretera principal para llegar a esta localidad, el transporte principal para llegar a esta localidad es en taxi, combi y micro, las salidas de los transportes es cada 30 minutos con destino a Huauchinango, si los habitantes desean salir de fuera Huauchinango, tendrán que llegar a este municipio primero.

Servicios de telecomunicaciones. La manera de comunicarse actualmente es más rápida, eficaz y veraz, claro ejemplo dentro de este lugar siendo una localidad cuenta con teléfonos públicos, internet público / señal de teléfono celular, servicio de televisión de paga, los servicios con los que no cuenta son los de servicio de envío y recepción de dinero, si requieren algún servicio similar a este, se tendrá que realizar en el municipio al que pertenece esta cabecera municipal.

Venta Grande al ser una localidad, el contacto con la naturaleza es muy frecuente, cuenta con pocos servicios públicos, debido a que la población que habita no es muy extensa, la mayoría de actividades son enfocadas al campo, propias de agricultura y ganadería que dan origen a las actividades primarias que se desarrollan dentro de una localidades, por lo cual en el siguiente apartado se describiría información sobre las actividades primarias, secundarias y terciarias.

1.6 Actividades Económicas

1.6.1 Actividades Primarias

La Explotación y obtención de los recursos naturales es su principal característica, teniendo materias primas como; la silvicultura, agricultura, ganadería, pesca, caza, minería, ganadería, explotación forestal, por mencionar algunos. Se colocan en primer plano debido a que de esta se aprovechan los recursos de la naturaleza ya sea el mejoramiento de razas en cría de ganado, peces y del uso de fertilizantes en planta, tal como lo muestra la ilustración 12.

El Censo Poblacional 2020 de INEGI nos señala que las siguientes actividades se realizan dentro de Venta Grande, Puebla, las cuáles se contemplan dentro de las actividades primarias; agricultura, cría y explotación de animales, el comercio de las cosechas, su principal actividad económica es la agricultura, el principal producto de la actividad económica es el maíz. El corte y/o siembra de árboles, pesca y/o

caza de animales, la elaboración de artesanías, son actividades que no se practican con mayor frecuencia.



Ilustración 12, Ejemplo de actividades primarias, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.

1.6.2 Actividades Secundarias

Se dedica a transformar la materia prima extraída o producida por el sector primario en productos de consumo o en bienes de equipo, en otras palabras, mientras el sector primario se limita en obtener de manera inmediata los recursos naturales, el sector secundario ejecuta diferentes procedimientos industriales para transformar los recursos extraídos. Existen actividades que se sitúan tanto como en las actividades primarias y secundarias ya que ambas combinan la extracción y de transformación un ejemplo claro es la minería.

Las actividades secundarias en Venta Grande que se desarrollan son las siguientes; mercado o tianguis se realiza de manera constante, tienda de abarrotes, tienda Diconsa, tienda Liconsa, farmacia, papelería, ferretería / tlapalería, tienda de ropa o calzado, tienda de loza o utensilios, tienda de muebles o aparatos, tienda de materiales de construcción y venta de gas, así como lo muestra la ilustración 13 de acuerdo al Censo de Población de INEGI 2020.



Ilustración 13, Tipo de actividades secundarias, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.

1.6.3 Actividades Terciarias

Se encarga de distribuir los bienes producidos por las actividades primarias y secundarias, conocido como sector servicios, incorpora actividades relacionadas con los servicios no productores y aquellos que se encargan de transformar bienes materiales. Ejemplo de ello es tiendas departamentales o agencias de servicios. Inmediatamente el comercio se sitúa después de las manufacturas, por su relación clara entre ellas. Algunos de los servicios que brinda son servicios de insumo principal incluyen el conocimiento y la experiencia personal, servicios encargados de la recreación.

En Venta Grande las siguientes actividades que se mencionaran están relacionadas con las actividades terciarias, Clínica o centro de salud, consultorio médico o particular, las brigadas móvil o caravanas de salud, curanderos, plaza o jardín público, cancha deportiva y biblioteca, así como lo ilustra la ilustración 14.



Ilustración 14, Tipo de actividades terciarias, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco Teórico y conceptual

En relación a la Teledetección la EOS Data Analytics nos dice que la teledetección es el conjunto de instrumentos que permite obtener información de un objeto sin estar en contacto con él, simplemente escaneándolo a distancia. Los usos y aplicaciones que tiene la teledetección espacial son cada vez más y más numerosos y abarcando cada vez más campos, desde agricultura hasta oceanografía, pasando por labores humanitarias o en las fuerzas armadas. (EOS Data Analytics, 2023).

La Teledetección es una rama de estudio importante en la actualidad, la cual tiene como propósito obtener datos de la superficie terrestre mediante sensores y plataformas espaciales, a partir de una imagen satelital, el término se utiliza desde tiempo atrás teniendo registros desde 1960, en otros países se usan diferentes

traducciones. Otras traducciones se refieren a la disciplina como percepción remota o sensores remotos. (Pinilla, 2020).

El desarrollo temprano de la Teledetección como campo científico está estrechamente ligado al desarrollo de la fotografía. Las primeras imágenes indelebles producidas por acción de la luz directa fueron las llamadas heliografías. (Pinilla, 2020).

Distintos datos marcaron los inicios de esta disciplina, uno de ellos es el haber usado un avión en el cual estuviera incrustada una cámara y así desarrollar técnicas fotogramétricas usando ortofotos, hasta llegar a lo que hoy conocemos como imagen satelital, la cual es capturada por satélites y sensores remotos.

En 1960, la NASA pone en órbita el primer satélite en órbita de la serie TIROS, pionero de múltiples misiones de observaciones meteorológicas, que han permitido un conocimiento y control más ajustado a las condiciones atmosféricas. (Chuvienco, 1990).

Como producto de la Teledetección obtenemos imágenes satelitales, y tienen diferentes aplicaciones así lo menciona la EOS Data Analytics por ejemplo, el empleo de imágenes en sensores remotos en ingeniería permite determinar la topografía y orografía de la Tierra. (EOS Data Analytics, 2023).

Las imágenes generan diversos datos de interés, en su composición se consideran compuestos matemáticos los cuales forman matrices de píxeles conociendo los valores aritméticos de las imágenes obtendremos información adicional, tal como lo menciona Pinilla, en general, el álgebra de imágenes proporciona nuevas imágenes con bandas obtenidas a partir de combinaciones lineales de bandas originales. (Pinilla, 2020).

Las imágenes son parte fundamental dentro de los estudios de un SIG, ya sea desde el origen y su análisis, tal como lo menciona Olaya, la representación, la identificación de elementos y la identificación de características, son utilidades básicas de las imágenes dentro de un SIG, estas consideraciones son de suma importancia para poder describir los procesos que se pueden hacer dentro de una imagen satelital.

El trabajar con imágenes satelitales implica realizar diversos procesos que van desde corrección, calibración, procesamiento hasta obtener un resultado. Se pueden dividir en tres grupos principales, corrección, mejora y la extracción de la información, así lo recomienda Olaya, de igual manera georreferenciar a un sistema de coordenado es de suma importancia, tomando en cuenta el elipsoide, datum para poder ubicar la imagen en algún punto de la superficie terrestre.

Parte de esta investigación es ejecutar cartografía temática, teniendo como insumo principal archivos ráster y shapefile, toda la información cartográfica generada será resultado del software QGIS, el cual es un sistema de información geográfica de software libre y de código abierto, para conocer las funciones y las herramientas básicas de este software nos referiremos al manual generado por Gazaba. El documento pretende ser una primera lectura para quienes recién comienzan con los SIG y QGIS y ha sido organizado por niveles de dificultad creciente. (Gazaba, 2021).

La USGS - United States Geological Survey, por sus siglas en inglés, conocido como Servicio Geológico de Estados Unidos, se encarga de recopilar, estudiar, analizar y proveer información científica sobre las condiciones, asuntos y problemas concernientes a los recursos naturales, tales como el agua, los minerales, el carbón, el petróleo y el gas. (Usa gov en español, 2024).

Pero dentro de toda la información que ofrece, en el sitio web, puedes obtener información satelital de distintas misiones, para uso de esta investigación se utilizara Landsat 7 y Landsat 8.

La misión Landsat fue lanzado con éxito el 15 de abril de 1999, su instrumento de observación en la tierra de Landsat 7, enhanced Thematic Mapper Plus – ETM + replica las capacidades de los instrumentos de Landsat 4 y 5.

El ETM+ también incluye características adicionales que lo convierten en un instrumento más versátil y eficiente para observaciones globales. estudios de cambio climático, monitoreo y evaluación de la cobertura terrestre y mapeo de áreas más extensas que sus antecesores de diseño.

Estas características son:

1. Una banda pancromática con una resolución espacial de 15 m.
2. A bordo, apertura total, calibración radiométrica absoluta del 5%.
3. Un canal IR térmico con resolución espacial de 60 m.
4. Un registrador de datos a bordo. (NASA, 2024).

Los instrumentos Landsat 8 representan un avance evolutivo en tecnología. OLI mejora los sensores Landsat anteriores utilizando un enfoque técnico demostrado por un sensor volado en el satélite experimental EO-1 de la NASA OLI es un sensor tipo cepillo con un telescopio de cuatro espejos y cuantificación de 12 bits, OLI recopila datos para bandas espectrales visibles, infrarrojas cercanas e infrarrojas de onda corta, así como una banda pancromática. (NASA, 2024).

Sus imágenes tienen resoluciones espaciales pancromáticas de 15 metros (49 pies) y multiespectrales de 30 metros a lo largo de una franja de 185 km (115 millas) de ancho, cubriendo amplias áreas del paisaje de la Tierra y proporcionando suficiente resolución para distinguir características como centros urbanos, granjas, bosques y otros usos de la tierra. (NASA, 2024)

El contenido de cada una de las bandas de estas dos misiones se muestra en la ilustración 15, describiendo sus características principales para su uso y así posteriormente realizar combinación de bandas, creando nuevos falsos colores.

Landsat-7 ETM+ Bands (μm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Ilustración 15. Composición de bandas para Landsat 7 y 8, Fuente: NASA, 2024.

Los filtros o composiciones RGB de imágenes satelitales, son una de las técnicas de análisis en la teledetección que puedes emplear para identificar elementos territoriales como la vegetación, masas de agua, explosiones de algas o presencia de incendios entre las opciones más tradicionales. Un sencillo juego de bandas permite filtrarlas a través de tres canales de color (rojo, verde y azul) para componer imágenes realzando estos elementos territoriales gracias a su comportamiento en el espectro electromagnético. (Matellanes, Roberto, 2019).

Cada una de estas combinaciones se pueden consultar en el manual de Landsat 7 y 8 respectivamente, los cuales se encuentran en la página web de la NASA, en donde se especifica la funcionalidad de cada combinación. (NASA, 2024).

Parte del análisis hidrológico de este estudio es realizar la integración de los SIG, y con ellos se busca sus principales componentes y sobre todo la ejecución para

generar de cartografía temática de Venta Grande, Pue. Realizar un estudio hidrológico involucra métodos hidrológicos, los cuales nos ayudaran a conocer el comportamiento que está teniendo el líquido vital, para ejecutar estos métodos y tener un panorama más amplio, dentro de estos métodos involucraremos los principios y cálculos aritméticos de la precipitación media anual, para así la cantidad de agua que llega a la microcuenca delimitada.

En esta investigación estudiaremos diferentes métodos y ciencias que están involucradas en nuestro tema de estudio, como lo es Topografía, Geodesia, Hidrología, Cartografía, Tecnologías de la información, por mencionar algunas, algunos ejemplos se enlistan a continuación:

2.2.1 Conceptos básicos de Topografía

Para hablar de ingeniería es importante tomar en cuenta la ingeniería Topográfica y Geodésica ya que esta es primordial a la hora de elaborar y ejecutar un proyecto constructivo o ejecutivo, distintas aplicaciones son las que aporta, destacando su aportación en los SIG, para ello definiremos algunos conceptos que se usarán en esta presente investigación, partiremos por definir la Topografía.

Topografía. Es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de los puntos sobre la superficie de la Tierra, por medio de medidas, según los 3 elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y elevación. (Montes de Oca, 1989, pág. 1).

Para medir y representar la superficie terrestre existes distintos complementos que describiremos a continuación.

Distancia. Longitud del segmento de recta comprendido entre dos puntos del espacio. (Real Academia Española, 2024).

Ángulo. Figura geométrica formada en una superficie por dos líneas que parten de un mismo punto; o también la formada en el espacio por dos superficies que parten de una misma línea. (Real Academia Española, 2024).

Para su estudio de la Topografía se clasifica de la siguiente manera:

1. Planimetría o control horizontal.
2. Altimétrica o control vertical.
3. Planimetría y Altimetría simultáneamente.

Planimetría. Procedimientos para fijar las posiciones de puntos, proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. (Montes de Oca, 1989, pág. 4).

Altimetría. Tiene por objeto determinar las diferencias de alturas entre puntos de un terreno. (Montes de Oca, 1989, pág. 79).

Azimut. Es el ángulo que forma una línea con la dirección Norte – Sur medido de 0° a 360° a partir del Norte en el sentido del movimiento de reloj. (Montes de Oca, 1989, pág. 19).

Rumbo. Es el ángulo que forma una línea con el Eje Norte – Sur, contando de 0° a 90° , a partir del Norte o a partir de Sur, hacia el Este o hacia el Oeste. (Montes de Oca, 1989, pág. 19).

RUMBO Y AZIMUT

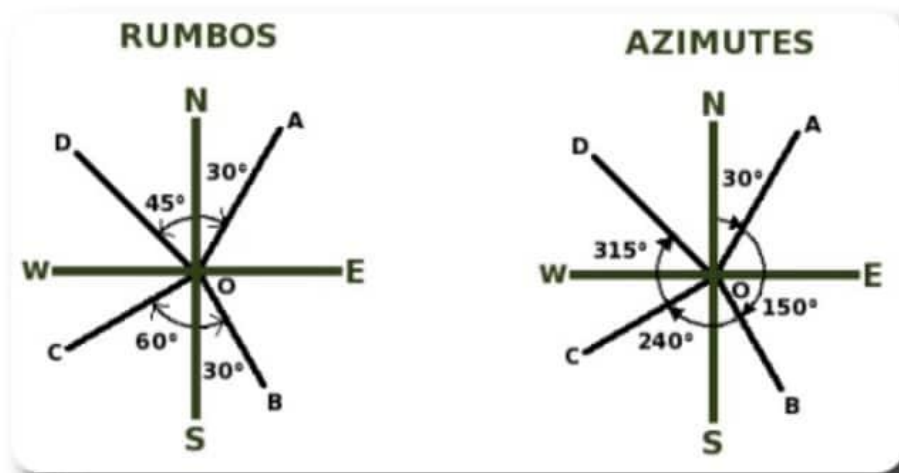


Ilustración 16, Ejemplo de Rumbo y Azimut Topográfico, Fuente; Topografía básica. 2023.

La ilustración 16, nos muestra gráficamente el ejemplo de un Azimut Topográfico, así muestra el comportamiento de un Rumbo Topográfico en un plano cartesiano. Para realizar Topografía se requieren métodos para planear, construir entre otras más para eso existen los levantamientos los cuales se clasifican y se muestran a continuación:

Levantamiento. Conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano. (Montes de Oca, 1989, pág. 1).

Levantamientos Topográficos. Son aquellos que por abarcar superficies reducidas pueden hacerse despreciando la curvatura de la Tierra sin error apreciable. (Montes de Oca, 1989, pág. 1).

Levantamientos Geodésicos. Son levantamientos en grandes extensiones que hacen necesarios considerar la curvatura de la Tierra. (Montes de Oca, 1989, pág. 1).

Levantamientos Aéreos. Pueden lograrse ya sea utilizando la fotogrametría o a través de percepción remota emplea cámaras y otros tipos de sensores que pueden transportarse tanto en avión como en satélites. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 12).

Levantamientos por Satélite. Incluyen la determinación de sitios en el terreno a partir de mediciones hechas en los satélites que usan receptores GNSS, o el uso de imágenes por satélite para el mapeo y observación de grandes regiones de la superficie de la Tierra. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 12).

Levantamientos hidrográficos. Definen la línea de playa y las profundidades de lagos, corrientes, océanos, represas y otros cuerpos de agua. Los levantamientos marinos están asociados con industrias portuarias y de fuera de la costa, así como con el ambiente marino, incluyendo investigaciones y mediciones marinas hechas por el personal de navegación. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 11).

Levantamientos de control. Establecen una red de señalamientos horizontales y verticales que sirven como marco de referencia para otros levantamientos. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 11).

Para describir las diferencias de altura se requiere de conceptos para poder desarrollar los métodos topográficos aplicados al control vertical.

Superficie de Nivel. Es la que, si se mueve un cuerpo sobre ella la gravedad no ejecuta ningún trabajo, es decir, en todos sus puntos es normal a la dirección de la gravedad. (Montes de Oca, 1989, pág. 80).

Elevación. La distancia medida a lo largo de una línea vertical desde un plano de referencia vertical hasta un punto u objeto. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 73).

Curvas de nivel. La representación del terreno, con sus formas y accidentes, tanto en posición en un plano horizontal como en sus alturas, se logra mediante las curvas de nivel.

La orilla del agua, en el mar o un lago, la curva del nivel del terreno a esa cota. (Montes de Oca, 1989, pág. 122). La ilustración 17 nos muestra la representación gráfica de las curvas de nivel en un relieve terrestre.



Ilustración 17, Representación gráfica de las curvas de nivel, Fuente; INEGI, 2023.

Banco de nivel (BN). Objeto natural o artificial relativamente permanente, que tiene un punto fijo marcado, cuya elevación arriba o abajo de un plano de referencia adoptado se conoce o se supone. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 74).

Control vertical. Serie de bancos de nivel u otros puntos de cota conocida que se colocan para un trabajo de topografía o geodesia; también se le llama control básico o control de nivel. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 74).

Nivelación. Es un término genérico que se aplica a cualquiera de los diversos procedimientos a través de los cuales se determinan elevaciones o diferencias entre las mismas. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 72) .

Existen distintos tipos de nivelación dentro de la Topografía tales como se muestran en la ilustración 18.

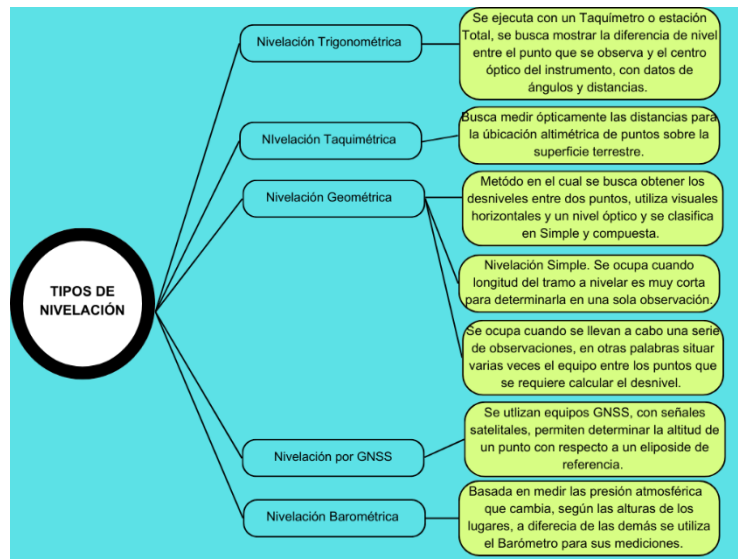


Ilustración 18, Tipos de Nivelación Topográfica, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2023.

La comprobación de una nivelación es mediante otra nivelación, tal como lo muestra la ilustración 19 y se puede realizar por alguno de los siguientes sistemas;

Nivelar diferencial. Tiene por objeto determinar la diferencia de nivel entre 2 puntos (generalmente bancos de nivel, de control). (Montes de Oca, 1989, pág. 107).

Nivelar de ida y de regreso. Por los mismos puntos o por otro camino o puntos diferentes, (es lo más conveniente en general). (Montes de Oca, 1989, pág. 108).

Nivelar por doble punto de liga. De este modo se hace lo mismo que en el caso anterior, pero las dos nivelaciones se llevan a cabo al mismo tiempo, o también tres si se desea. (Montes de Oca, 1989, pág. 108).

Nivelar por doble altura aparato. Por este procedimiento las nivelaciones que se llevan quedan totalmente independientes, pues se van comprobando las diferencias de lecturas entre PL consecutivo, y no tienen en común la primer la última lectura, como en el caso anterior. También puede trabajarse con triple altura del aparato. (Montes de Oca, 1989, pág. 109).

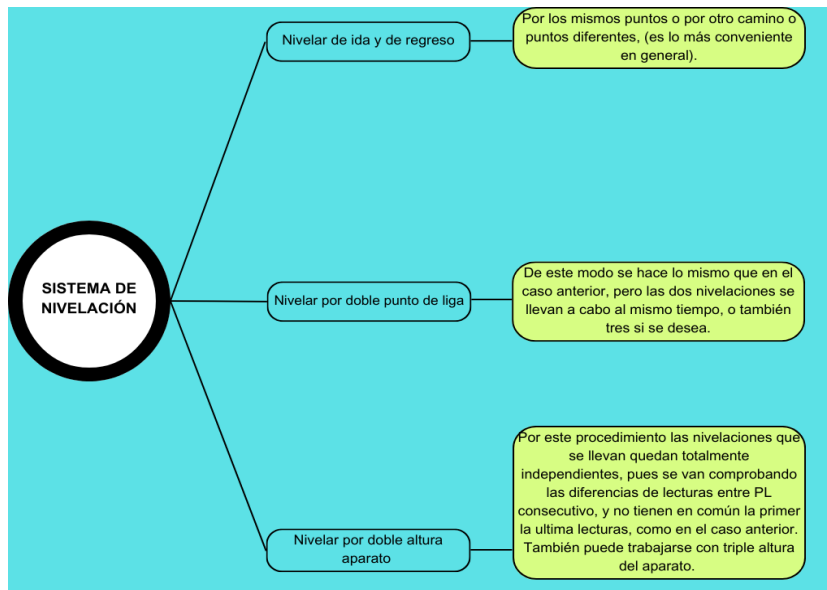


Ilustración 19, Sistema de Nivelación Topográfica, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2023.

Pendiente. La pendiente entre dos puntos se define como la relación entre la diferencia de altitud de estos dos puntos y la distancia horizontal que guardan entre sí. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2005, pág. 14).

Perfil Topográfico. Es una construcción gráfica en donde se registran, a una escala vertical y otra horizontal, las variaciones de altura (desniveles) que se presentan a lo largo de una línea predeterminada; en otras palabras, es la intersección del terreno con un plano vertical cualquiera. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2005, pág. 14).

2.2.3 Conceptos básicos de Geodesia

Para localizar y describir la forma de la tierra existe una disciplina llamada Geodesia, los fundamentos matemáticos y físicos necesarios para obtener resultados colocan a la Geodesia como una ciencia básica para el desarrollo de otras ciencias, tales como topografía, cartografía y SIG, por citar algunos. Para ellos definiremos conceptos básicos que serán fundamentales para esta investigación.

Elipsoide. Es una superficie matemática obtenida al hacer girar una elipse alrededor del eje polar de la Tierra. Las dimensiones de la elipse se seleccionan de modo que se obtenga un buen ajuste del elipsoide con el geoide para un área grande, y se basan en levantamientos hechos en el área. Con el advenimiento de los satélites, los elipsoides cotidianos proveen un mejor ajuste de la Tierra, así como se representa en la ilustración 20. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 526).

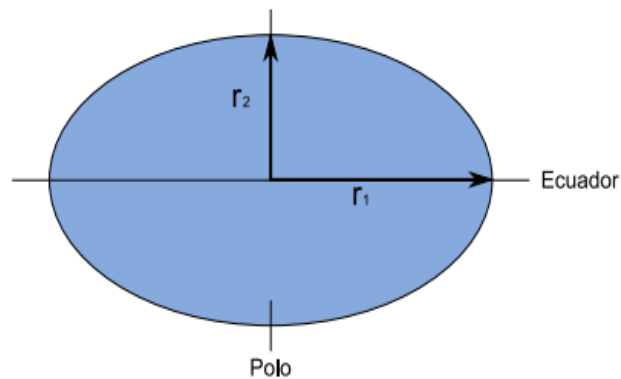


Ilustración 20, Representación gráfica de un Elipsoide; Sistemas de Información Geográfica, 2011.

Dentro de la tabla 3, se muestran los datum y los elipsoides más importantes utilizados en México.

Tabla 3, Datum y Elipsoides existentes para México, Fuente; CONABIO, 2023.

DATUM	ELIPSOIDE GEODÉSICO DE REFERENCIA (asociado al Datum)
NAD 27 – Datum Norteamericana de 1927	Clarcke 1866 Clarcke
WGS84 – Sistema Geodésico mundial de 1984	WGS84 Sistema Geodésico mundial de 1984
ITRF92 Marco de referencia terrestre internacional de 1992	GRS80 Sistema Geodésico de referencia de 1980

Geodesia. Es la ciencia que desarrolla y estudia los métodos, tecnologías y procedimientos dirigidos a determinar con exactitud el tamaño y la forma de la Tierra o parte de ella, incluyendo su campo gravitacional externo, como una función del tiempo. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía , 2015, pág. 5).

Geoide. Es una superficie gravitacional equipotencial localizada aproximadamente al nivel medio del mar, que es perpendicular en todo punto a la dirección de la gravedad. Debido a las variaciones en la distribución de la masa de la Tierra y a la rotación de la Tierra, el geoide tiene una forma irregular. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 526), tal y como lo muestra la ilustración 21.



Ilustración 21, Representación gráfica de un Geoide, Fuente; INEGI, 2023.

Datum. Conjunto de parámetros que intenta aproximar la forma de la superficie de la tierra, normalmente a través de un elipsoide, en una zona determinada y permite calcular posiciones y áreas de una manera consistente y precisa. (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, 2013, pág. 30).

Los sistemas de localización y de posicionamiento satelital son fundamentales a la hora de referenciar algún objeto sobre la superficie terrestre, para ello existen los sistemas GNSS, (Global Navigation Satellite Systems), Sistema Global de Navegación por Satélite, este sistema nos ayuda a medir coordenadas geográficas desde cualquier parte del mundo, con ayuda de los satélites se encargan de emitir su ubicación a los receptores de la Tierra (GPS) mediante las efemérides astronómicas y así medir la distancia entre el receptor y los satélites por el tiempo recorrido de las señales GNSS.



Ilustración 22, Ejemplo de un GNSS GEOMAX, Fuente; GEOMAX, 2023

GPS. Es el Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System, o GPS), originalmente puesto en funcionamiento por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Actualmente, este es el único GNSS completamente operativo, aunque existen otros tales como el GLONASS ruso, el COMPASS chino o el Galileo europeo, cuyo funcionamiento completo está previsto a corto plazo. (Olaya, 2011, pág. 143).

Sistema GNSS, Es un sistema que permite conocer en todo momento y en cualquier punto del globo la localización exacta de dicho punto con un margen de error del orden de unos pocos metros o menos. Para ello, se basan en el envío de señales entre un dispositivo situado en el punto concreto y una red de satélites, pudiendo establecerse la posición exacta mediante las características de dicha transmisión. (Olaya, 2011, pág. 143).

A continuación, enlistaremos algunos satélites más ocupados en el sistema GNSS; El NAVSTAR-GPS16. (NAVigation Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System) es un sistema de localización diseñado por el Departamento de

Defensa de los Estados Unidos con fines militares, y que se encuentra operativo desde 1995, cuando se utilizó con grandes resultados en operaciones militares de la Guerra del Golfo Pérsico. (León, 2009, pág. 25).

Galileo. El 28 de diciembre del 2005 se puso en órbita el satélite Giove-A, el primero de los satélites que formarán parte de la constelación del sistema GALILEO, iniciativa de la Unión Europea en colaboración con la Agencia Espacial Europea, para poner en marcha un sistema global de navegación por satélite bajo control civil. (León, 2009, pág. 27).

Glonass. GLONASS es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) desarrollado por Rusia como contrapartida al sistema GPS norteamericano y al futuro GALILEO europeo. En 1982 se pusieron en órbita los tres primeros satélites de los 24 que conforman la constelación de este sistema, que empezó a ser operativo en 1996. (León, 2009, pág. 28).

Las coordenadas nos ayudan a localizar un punto sobre la superficie terrestre, estas se calculan a partir de un sistema de referencia que puede ser tridimensional o bidimensional. Para ello existen los sistemas coordenados los cuales se especificarán en este apartado de la investigación.

Coordenadas. Conjunto de números que indica la ubicación de un punto en la Tierra o por encima de ella. Las coordenadas se basan habitualmente en líneas de referencia correspondientes a latitud y longitud, o en una proyección cuadrangular del planeta o una región (por ejemplo, mediante el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) o Maidenhead). (Organización de las Naciones Unidas, 2013, pág. 24).

Sistema coordinado. Los datos se definen tanto en un sistema de coordenadas horizontales como verticales. Los sistemas de coordenadas horizontales localizan los datos en la superficie de la Tierra, mientras que los sistemas de coordenadas

verticales localizan la altura o la profundidad relativas de los datos. (ArcGis Pro, 2023).

Sistema de coordenadas horizontales. Los sistemas de coordenadas horizontales pueden ser de tres tipos: geográficos, proyectados o locales. Puede determinar qué sistema de coordenadas usan los datos examinando las propiedades de la capa. (ArcGis Pro, 2023).

Sistema de coordenadas verticales. Los sistemas de coordenadas verticales son elipsoidales o basados en la gravedad, (ArcGis Pro, 2023).

Coordenadas rectangulares. Corresponden a las proyecciones cartesianas x,y o (N, E) de un punto cualquiera con relación al origen de referencia por el cual cruzan los ejes ortogonales del plano cartesiano. (Botia , y otros, 2014).

Coordenadas polares. Definen la ubicación de un punto respecto del origen de un plano mediante dos elementos: la distancia entre el origen del plano y el punto conocido como polo y el ángulo (θ) medido desde el eje, tomando como referencia (norte) y la línea imaginaria proyectada al punto que se desea localizar. (Botia , y otros, 2014).

Coordenadas cartesianas. Coordenadas de un punto en el espacio, representadas en tres dimensiones perpendiculares unas a otras (x, y, z). (Organización de las Naciones Unidas, 2013, pág. 24).

Coordenadas cartesianas geocéntricas. Sistema de coordenadas cartesianas cuyo origen es el centro de la masa de la Tierra y que se halla fijo en la superficie del planeta (es decir, rota con la Tierra). (Organización de las Naciones Unidas, 2013, pág. 24).

Sistema cartesiano. El sistema de coordenadas cartesianas en el plano está constituido por dos rectas perpendiculares que se intersecan en un punto "O" al que se le llama "el origen". Una de las rectas se acostumbra representarla en posición horizontal y se le da el nombre de eje X o eje de las abscisas; a la otra recta, vertical, se le denomina eje Y o eje de las ordenadas, y ambas constituyen los dos ejes de coordenadas rectangulares, los cuales dividen al plano en cuatro partes llamadas cuadrantes. (Universidad Nacional Autónoma de México , 2011, pág. 1).

Coordenadas geográficas. Es un sistema de coordenadas esféricas mediante el cual un punto se localiza con dos valores angulares, (latitud y longitud), así como lo demuestra la ilustración 23. (Olaya, 2011, pág. 41).

Latitud. Es el ángulo que forma la vertical de un lugar con el Plano del Ecuador; se mide sobre un plano normal al Ecuador (meridiano del lugar), de 0° a 90° hacia el Norte o Sur. (Montes de Oca, 1989, pág. 225).

Longitud. Es el ángulo medido sobre el Plano del Ecuador a partir del meridiano de origen (meridiano de Greenwich), hasta el meridiano del lugar. Se mide generalmente hacia el Oeste de 0 a 24 horas o de 0° a 360°. (1h = 15°). (Montes de Oca, 1989, pág. 225).

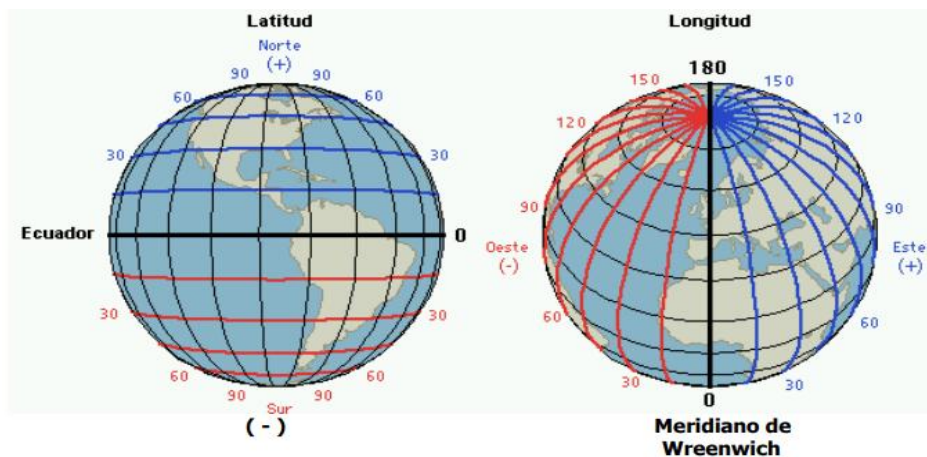


Ilustración 23, Ejemplo de Latitud y Longitud, Fuente; Apuntes de topografía, 2010.

Coordenadas UTM. Sistema de coordenadas universales transversales de Mercator, más conocido como sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator). Las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar, que es la base de la proyección del elipsoide de referencia. (León, 2009, pág. 19).

Época. Instante fijo y determinado que se emplea como punto de referencia en una escala temporal. (Organización de las Naciones Unidas, 2013, pág. 27).

Representar la superficie terrestre de la Tierra implica diversas consideraciones, según su objeto de estudio. El representar la Tierra de forma esférica ha funcionado para representar nuestro planeta de manera más sencilla, como se muestra en la ilustración 24.

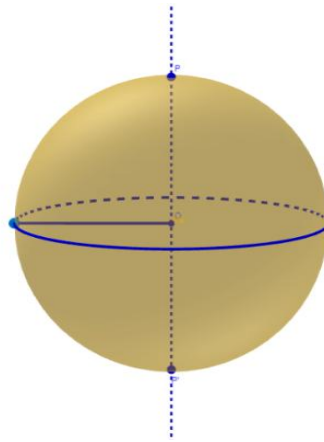


Ilustración 24, Representación geométrica de una esfera, Fuente; GeoGebra, 2023.

Para poder facilitar la localización de cualquier punto sobre la superficie terrestre, la Tierra se divide en círculos y semicírculos denominados Paralelos y Meridianos ellos conformar una red geográfica de referencia como lo muestra la ilustración 25.

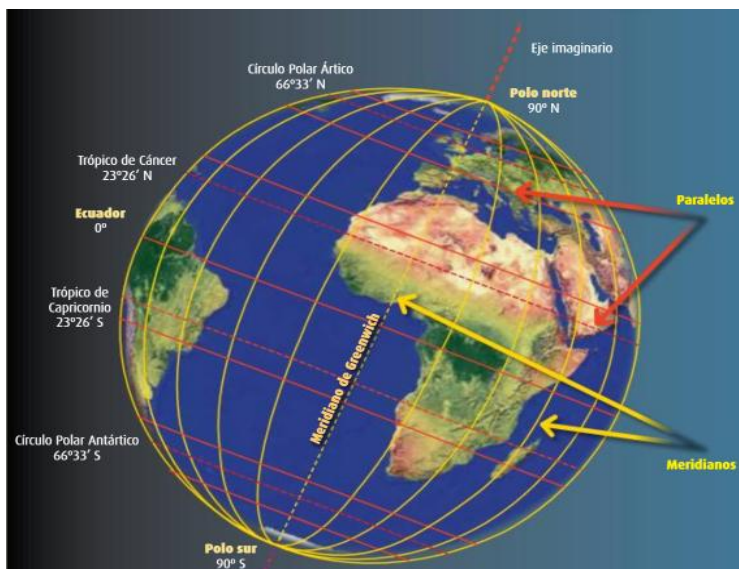


Ilustración 25, Representación de la Tierra; Fuente; Atlas de Geografía del mundo SEP;2023.

Dentro del hemisferio norte los principales paralelos son el Trópico de Cáncer y el círculo polar Ártico, en el hemisferio Sur son el Trópico de Capricornio y el círculo polar Antártico. Los meridianos principales de la Tierra es el de Greenwich y el meridiano 180° y estos dividen en hemisferio Este y Oeste.

Paralelos. Son círculos menores que van del ecuador hacia ambos hemisferios, los paralelos delimitan la latitud en el planeta. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

Meridianos. Son semicírculos que van de polo a polo, son perpendiculares al ecuador. El círculo completo se forma con un meridiano y su antimeridiano que es el meridiano opuesto; juntos marcan la longitud en la Tierra. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

Polo Norte. Es el punto imaginario donde el eje terrestre encuentra un punto de contacto con el Norte de la Tierra. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

Polo Sur. Es el punto imaginario donde el eje terrestre encuentra un punto con el Sur de la Tierra. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

Ecuador. Es el círculo imaginario perpendicular al eje terrestre que divide a la Tierra en dos hemisferios el Norte (también llamado septentrional o boreal) y Sur (también conocido como meridional o Austral). (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

Trópicos. Son los paralelos más importantes en la Tierra, entre ellos tenemos al Trópico de Cáncer en el hemisferio Norte y el Trópico de Capricornio en el hemisferio sur, nos marcan el inicio de las zonas térmicas templadas en el planeta. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

2.2.4 Conceptos básicos de Cartografía

Cartografía. Es el término con que se designa el proceso total de la producción de mapas, abarca el diseño de mapas, la preparación o compilación de manuscritos, el dibujo final y la reproducción. Todos estos procesos son aplicables a los mapas, ya sean estos gráficos o digitales. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 499).

Cartografía base. Representa el tipo de mapa que originalmente era el objeto principal de la cartografía, cuando lo primordial era recoger con precisión que había sobre la Tierra, documentando a través del documento cartográfico las características físicas de esta. (Olaya, 2011, pág. 617).

Existen distintas formas de clasificar los mapas, según el tipo de información que aporten, para ello tenemos la siguiente clasificación que será fundamental para la presente investigación; mapa base y cartografía temática.

Cartografía temática. Se centra en la representación de un tema concreto (una variable espacial dada), pudiendo esta ser de cualquier índole: física, social, política, cultural, etc. (Olaya, 2011, pág. 618).

Mapa. Es una abstracción simbólica de algún fenómeno real, lo cual significa que presenta un cierto grado de simplificación y generalización. (Olaya, 2011, pág. 615) Para poder representar un mapa se debe de contemplar la composición para su fácil interpretación tal como se muestra en la ilustración 26.



Ilustración 26, Elementos de un mapa y sus componentes, Fuente: Cuéntame INEGI, 2023.

Es importante identificar la utilidad en los mapas, tal como se describe a continuación:

1. Representar el mundo o alguna de sus partes.
2. Tener un conocimiento más real del planeta en que vivimos.
3. Saber con precisión dónde estamos y cómo llegar a otro lugar.
4. Comprender el contexto del lugar donde vivimos.
5. Conocer la interrelación de elementos que constituyen un espacio geográfico.
6. Ubicar los continentes y países, así como las ciudades y localidades.

7. Situar presas, carreteras y demás infraestructura que existe en diferentes espacios geográficos.
8. Localizar ríos, lagos, vegetación y montañas.
9. Representar temas específicos como: climas, vegetación o tipos de suelo, por ejemplo.
10. Relacionar información estadística de la población o la economía en un lugar determinado (georreferenciar).
11. Planear la urbanización de ciudades y el óptimo aprovechamiento de recursos naturales.
12. Apoyar el desarrollo sustentable.
13. Atender desastres naturales. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023).

Para la elaboración de cartografía (mapas) son esenciales las proyecciones cartográficas, con ellas se puede hacer la transformación matemática de un sistema de coordenadas a otra. A continuación, se enlistan las proyecciones cartográficas más utilizadas a la hora de ejecutar cartografía.

Proyección Cartográfica. Es una red de meridianos y paralelos que se traza sobre un mapa; en la actualidad existen distintas proyecciones cartográficas, las más usadas son las cilíndricas, polares y cónicas, sin embargo, dependiendo el lugar se debe elegir la proyección que mejor represente a la Tierra. (Universidad Autónoma de México , 2023).

Existen diversos tipos de proyecciones según la superficie en la que desean proyectarse, describiremos algunas a utilizar en esta investigación:

Por tipo de Propiedades.

Proyección Equivalente. En este tipo de proyección se conservan las superficies del área representada, lo que obliga a la deformación tanto de las distancias como de los ángulos. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 31)

Proyección Equidistante. En este tipo de proyección las distancias entre puntos seleccionados se conservan sin deformación, en términos prácticos significa que el

factor de escala es igual a la unidad. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 32).

Proyección Conforme. La característica de estas proyecciones es la conservación diferencial de los ángulos, característica que puede identificarse al observar que las líneas de radícula se intersecan a 90° , aún a costa de distorsionar las líneas que unen dos puntos. Una consecuencia directa de lo anterior, es que la superficie de cualquier polígono se distorsiona en dicho proceso. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 32).

Proyecciones Alifáticas. En las proyecciones alifáticas no se conserva ninguna de las propiedades anteriores, es decir, se deforman ángulos, áreas y distancias. Aun cuando tales proyecciones en principio aparentan no tener utilidad, en realidad son ampliamente utilizadas para representar el globo terráqueo, continentes completos o para propósitos especiales. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 33).

Por tipo de Superficie.

Proyección Plana. Como se indicó anteriormente son aquellas donde la superficie de referencia es un plano. En este caso existe una subclasificación de acuerdo al punto de vista de la proyección. En este momento es conveniente señalar que los factores de escala del paralelo y del meridiano, no son fáciles de determinar en las proyecciones planas. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 33).

Proyección Gnómica. Se definen así las proyecciones planas que tienen como punto de vista el centro de la Tierra. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 33).

Proyección Estereográfica. Son aquellas proyecciones planas que tienen como punto de vista el punto diametral opuesto al punto de tangencia. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 33).

Proyección Cónica. Se usa para representar en particular a las latitudes medias ya que las deformaciones son mínimas en esta zona; los paralelos lucen como arcos y los meridianos se dirigen a los polos en líneas rectas. (Universidad Autónoma de México , 2023).

Esta categoría presenta diferentes alternativas referentes a la posición del cono con respecto al eje de rotación de la Tierra, teniéndose así:

Normales. Cuando el eje de simetría del cuerpo de referencia es coincidente con el eje de rotación de la Tierra. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 36).

Transversas. Cuando el eje de simetría del cuerpo de referencia forma un ángulo recto con respecto al eje de rotación de la Tierra. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 36).

Oblicuas. Cuando no se cumple ninguno de los dos casos anteriores. Asimismo, las proyecciones cónicas pueden tener uno o dos paralelos base, dependiendo si son tangentes o secantes. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 36)

Proyección Cilíndrica. Se clasifican en este rubro las que utilizan al cilindro como superficie de proyección. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 37).

Dentro de esta clasificación se debe considerar la posición de la superficie de referencia con respecto al eje de rotación de la Tierra tal como se describen a continuación:

Normales. Cuando el eje de simetría del cuerpo de referencia es coincidente con el eje de rotación de la Tierra. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 37).

Transversas. Cuando el eje de simetría del cuerpo de referencia forma un ángulo recto con respecto al eje de rotación de la Tierra. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 37).

Oblicuas. Cuando no se cumple ninguno de los dos casos anteriores. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2002, pág. 37).

Proyección Cilíndrica de Mercator. Esta proyección se utiliza para la elaboración de planisferios, se caracteriza su red de meridianos y paralelos ya que se cortan en ángulos rectos; son usados en la navegación tanto marítima como aérea. Su desventaja es la deformación en el área polar ya que el tamaño que representa es más grande de lo que realmente es. (Universidad Autónoma de México , 2023).

Escala. Un objeto hecho a escala es una réplica que conserva todas las características del original, sólo que en menor tamaño. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía , 2023).

Escala numérica. Se indica mediante números. Por ejemplo, en un mapa a escala 1:8 000 000, los objetos dibujados son ocho millones de veces más pequeños que en la realidad. Si la escala es 1:100, la representación es cien veces más pequeña. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía , 2023).

Escala gráfica. Muestra la equivalencia mediante una regla graduada. Es muy útil para calcular rápidamente distancias entre dos puntos en los mapas. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía , 2023).

2.2.5 Conceptos básicos de Percepción Remota

Para realizar un análisis espacial se requiere información espacial, para ello la Teledetección o Percepción remota es de suma importancia, para comprender los funcionamientos y sus aplicaciones definiremos en este apartado, términos básicos para su utilización.

Percepción remota. Es una disciplina basada en ciencia y tecnología que permite desarrollar, capturar, procesar y analizar imágenes, junto con otros datos físicos de la Tierra, obtenidos desde sensores en el espacio, sensores aerotransportados y con sensores que capturan datos de mediciones. (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2023).

La Percepción Remota está conformada por diversos elementos que describiremos a continuación;

Fuente de iluminación. Formada en este caso por el Sol que emite luz o radiación solar. (Secretaría de Marina, 2009).

El paisaje. Configurado por todos los objetos presentes en el territorio explorado por el hombre, tales como el mar, los ríos, vegetación o rocas. (Secretaría de Marina, 2009).

La escena. Aquella sección o superficie del paisaje donde se enfoca el interés, pudiendo ser esta la superficie de una roca o un valle completo. (Secretaría de Marina, 2009).

Sensor remoto. Con el que se captura la luz proveniente de la escena y que en este caso, permite obtener una representación visual de aquella región del paisaje que ha sido enfocada por el iris y el cristalino del ojo. (Secretaría de Marina, 2009).

La plataforma. Es el lugar donde se coloca o instala el sensor remoto para obtener una visión de conjunto de la escena. (Secretaría de Marina, 2009).

Fotografía aérea. Las fotografías aéreas se refieren a fotos de la superficie terrestre tomadas desde un avión. Hoy día, la mayoría de los mapas topográficos se elaboran a partir de la interpretación de fotografías aéreas. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

Fotografía aérea oblicua. Es aquella que se toma con una inclinación predeterminada de la cámara, es decir, en diferentes posiciones angulares. El punto de visión más común utilizado es desde la parte lateral de un avión. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023).

Imagen. Reproducción de la figura de un objeto por la combinación de los rayos de luz que proceden de él. (Real Academia Española, 2024).

Imagen satelital. Son una especie de fotografía tomada desde el espacio sideral cercano a nuestro planeta. Actualmente existe un número importante de satélites dedicados a la toma de estas imágenes, en alturas que sobrepasan los 200 km respecto a la superficie de la Tierra. (Palma & Barrera, 2012, pág. 48).

Imagen hiperespectral (HSI). Es una imagen que tiene varias bandas espectrales de información a través de todo el espectro electromagnético. (Roman , Avid, 2014)

Albedo. Se define como la proporción del flujo solar incidente sobre una superficie que es reflejado en cualquier dirección. (Pinilla, 2020, págs. A1-1).

Imagen espectral. Es aquella que reproduce la figura de un objeto en función de la longitud de onda que esté reflejando (o emitiendo) el objeto en cuestión; o, dicho de otro modo, es un set de imágenes del mismo objeto representadas cada una de ellas con diferentes longitudes de onda. (Multiespectral, 2024)

Pixel. Abreviatura de Picture Element, cada uno de los elementos que componen una imagen dispuestos matricialmente en filas y columnas. (Pinilla, 2020, págs. A1-5).

Espectro. Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía, la frecuencia o la masa. (Real Academia Española, 2024).

Banda. Intervalo de longitud de onda dentro del espectro electromagnético. Por extensión, se denomina banda a cada uno de los canales de adquisición de datos de un sistema sensor. (Pinilla, 2020, págs. A1-1).

Bandeado de la imagen. Fenómeno por el cual la imagen espacial formada mediante un barredor de líneas (scanner) presenta bandas horizontales a intervalos regulares anormalmente claras u oscuras, como consecuencia del fallo de un detector del sensor durante la adquisición. (Pinilla, 2020, págs. A1-1).

Imagen multiespectral. Es aquella en la que se capturan los datos de una imagen dentro de rangos de longitud de onda específicos a través del espectro electrónico magnético. (Canalejo, 2018).

Nivel Visual (NV). Se llama Nivel visual (NV) al nivel de gris que le atribuye a cada ND de la imagen en una representación gráfica, bien sea sobre un monitor o sobre algún soporte de impresión. (Pinilla, 2020, págs. A1-4).

ND. Abreviatura de nivel digital. Se trata del valor numérico discreto asignado por el sistema formador de imágenes a cada celda en respuesta a la intensidad radiométrica recibida por el sensor. Se le conoce asimismo como nivel de gris, luminancia, número digital, valor de pixel, etc. (Pinilla, 2020, págs. A1-4).

NVDI. Acrónimo de Normalized Difference Vegetation Index, índice de vegetación de diferencia normalizada. (Pinilla, 2020, págs. A1-4).

RGB. Acrónimo de rojo-verde-azul. Se trata de un sistema de especificación del color basado en la propiedad aditiva de los tonos primarios que es el comúnmente utilizado en los sistemas informáticos y en la composición en verdadero o en falso color de las imágenes espaciales. (Pinilla, 2020, págs. A1-5).

Paleta de colores.

La paleta de color es una tabla de referencia mediante la cual se define el color que se aplica a cada ND.

Las paletas pueden ser:

1. Monocromáticas: constituidas por una gama de grises.
2. Cromáticas: elaboradas con mezclas de los tres colores primarios rojo (R), verde (G), azul (B), cuyas abreviaturas proceden de sus nombres en inglés. (Pinilla, 2020, págs. 09-1).

Filtrado digital. El filtrado digital es una transformación de la imagen mediante operadores locales que involucran a la celda que se pretende modificar y a un entorno cercano de ella. (Pinilla, 2020, págs. 10-2).

Bit. Abreviatura de Binary Digit, unidad de información binaria utilizada por los sistemas informáticos. (Pinilla, 2020, págs. A1-1).

Byte. Grupo de 8 bit. Representa un carácter, y en teledetección suele ser la unidad para asignar el nivel digital a una celda, pudiendo oscilar éste entre 0 y 255. (Pinilla, 2020, págs. A1-1).

Clasificación no supervisada. Procedimiento de clasificación digital basado en el análisis cluster, mediante el cual el algoritmo de clasificación busca los

agrupamientos naturales de los datos para establecer las correspondientes clases. (Pinilla, 2020, págs. A1-2).

Clasificación supervisada. Procedimiento de clasificación digital mediante el cual se establecen una serie de campos de entrenamiento seleccionados por el analista en razón de su homogeneidad temática, en función de cuya similitud el sistema informático realiza la clasificación de la escena completa. (Pinilla, 2020, págs. A1-2).

Filtro. Operador local mediante el cual se obtiene una nueva imagen cuyos ND son función de los ND de las celdillas contiguas en la imagen inicial. Se utilizan para la eliminación de ruidos y para el realce de los rasgos lineales de una imagen. (Pinilla, 2020, págs. A1-3).

Radiancia. Es la cantidad de energía radiada desde un objeto en la unidad de tiempo por cada unidad de ángulo sólido y de unidad de superficie del objeto perpendicular a la dirección de propagación. Es el parámetro físico medible con un radiómetro. (Pinilla, 2020, págs. A1-5).

Reflectancia. Medida de la capacidad de una superficie para reflejar energía electromagnética en una determinada longitud de onda. Es la razón existente entre el flujo reflejado y el incidente sobre dicha superficie. Es sinónimo de albedo. (Pinilla, 2020, págs. A1-5).

Satélite artificial. Un satélite artificial es una nave espacial fabricada en la Tierra o en otro lugar del espacio y enviada en un vehículo de lanzamiento; un tipo de cohete que envía una carga útil al espacio. Los satélites artificiales pueden orbitar alrededor de asteroides o planetas. Tras su vida útil, pueden quedar orbitando como basura espacial. (Pérez, 2015).

Resolución. La resolución de un sensor es su habilidad para registrar información en detalle de las distintas cubiertas. La resolución depende de la capacidad de los sensores para distinguir variaciones de la energía electromagnética, del detalle espacial que captura y del número y ancho de las bandas que alberga. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003, pág. 47).

Resolución espacial. Es la distancia mínima entre dos objetos, de tal manera que el sensor los pueda separar como objetos distintos (tamaño de celda). Se refiere al objeto más pequeño que puede distinguirse como unidad independiente y es representada por el tamaño de un pixel (celda). (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003, pág. 47).

Resolución espectral. Es el ancho del espectro electromagnético medido y el número de canales empleados, es decir, el número y ancho de las bandas espectrales registradas por el sensor. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003, pág. 47).

Resolución radiométrica. Es la sensibilidad del sensor para diferenciar una señal, es decir, qué partes del espectro electromagnético registra, su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003, pág. 47).

Resolución Temporal. Es el lapso mínimo comprendido entre la toma de dos imágenes de una misma zona, esto es, la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes del mismo punto de la superficie terrestre. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003, pág. 47).

Saturación. Proporción de tono puro que tiene una determinada tinta o color. Una saturación nula indicaría un gris del mismo valor que el color considerado. Una saturación igual a la unidad representaría el mencionado color completamente puro. (Pinilla, 2020, págs. A1-5).

Sensores activos. Aquellos que emiten energía electromagnética generada artificialmente en la plataforma, la cual será después detectada a bordo tras sufrir la reflexión en la superficie objeto de estudio. (Pinilla, 2020, págs. A1-5).

Sensores pasivos. Aquellos otros que solamente registran la energía emitida por la superficie estudiada o la que, procedente del sol, es reflejada por ésta. (Pinilla, 2020, págs. A1-5).

Textura. Frecuencia de cambio y disposición que tienen los niveles de gris en una imagen espacial o fotográfica. (Pinilla, 2020, págs. A1-6).

Fotogrametría. Se define como la ciencia, el arte y la tecnología para obtener información confiable a partir de fotografías. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 789).

2.2.6 Conceptos básicos de Hidrología

El realizar un estudio de escasez hidrológica contempla el uso de distintos métodos y conceptos, los cuales se describirán en esta parte de la investigación, partiendo por el origen del agua mediante el ciclo hidrológico y el concepto de hidrología.

Hidrología. Es la ciencia que trata de las propiedades, ocurrencia, circulación y distribución del agua, sobre la corteza terrestre y debajo de ella, su presencia en la atmósfera y sus relaciones con el medio ambiente. Es la ciencia que trata las diversas fases del ciclo hidrológico. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 8).

El ciclo hidrológico. Se puede representar como un sistema, es decir, como una estructura o volumen en el espacio, delimitada por una frontera, cuyos componentes internos interactúan entre sí o con otros sistemas adyacentes. (Palma & Barrera, 2012).

En la ilustración 27 se muestra gráficamente el proceso del Ciclo hidrológico, cada uno de estos fenómenos los describiremos a continuación;

Evaporación. Este fenómeno aparece como consecuencia del calentamiento que los rayos solares producen sobre la superficie líquida de mares, lagos y ríos, así como en los suelos húmedos, convirtiendo el agua en vapor, mientras la atmósfera no esté saturada de vapor a la temperatura ambiente. (Palma & Barrera, 2012, pág. 103).

Condensación. Una vez que el agua se evaporó, el viento se encarga de transportarla y cuando dicho vapor se encuentra con diminutas partículas de polvo, se une a éstas formando pequeñísimas gotas de agua visibles para nosotros en forma de nubes. (Palma & Barrera, 2012, pág. 103).

Precipitación. Cuando las nubes llegan a su punto de saturación, es decir, la mayor cantidad de agua que puede sostener el aire a cierta temperatura, y ésta desciende, entonces se produce la lluvia o precipitación. Si la temperatura es muy baja, entonces las gotas de agua se transforman en nieve o granizo. (Palma & Barrera, 2012, pág. 103).

Escurrimiento. Casi toda el agua que cae por la lluvia, nevadas, heladas o granizadas, escurre hasta llegar a los ríos o arroyos y posteriormente al mar. (Palma & Barrera, 2012, pág. 2013).

Infiltración. Otra parte del agua que cae y no escurre, se filtra al interior del suelo aumentando así el volumen de los cuerpos de agua subterráneos. (Palma & Barrera, 2012, pág. 103).

Evapotranspiración. Es un proceso combinado que depende de la influencia de las condiciones atmosféricas sobre el sistema agua-suelo-planta. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 18).



Ilustración 27, Ciclo del agua, Fuente; INEGI,2023.

Así como existe un orden territorial en nuestro país, existe un orden territorial del agua, con ello describiremos la forma en la que se ordenan tal como lo indica CONAGUA.

Región Hidrológica. Área delimitada por una divisoria que agrupa por las menos dos cuencas hidrográficas, cuyas aguas fluyen hacia el mismo cauce principal. La nacional asciende a 37 divisiones de las cuales se denotan por el prefijo "RH" y los números del "01" al "37". Ejemplo: "RH 12". (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010, pág. 8).

Cuenca. Superficie delimitada por una divisoria cuyas aguas fluyen hacia a una corriente principal o cuerpo de agua; constituye una subdivisión de la región hidrográfica. La clave se compone de los dos dígitos de la región hidrográfica y una letra mayúscula de la "A" a la "Z". Ejemplo: "RH12K", como lo muestra la ilustración 27. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010, pág. 8).

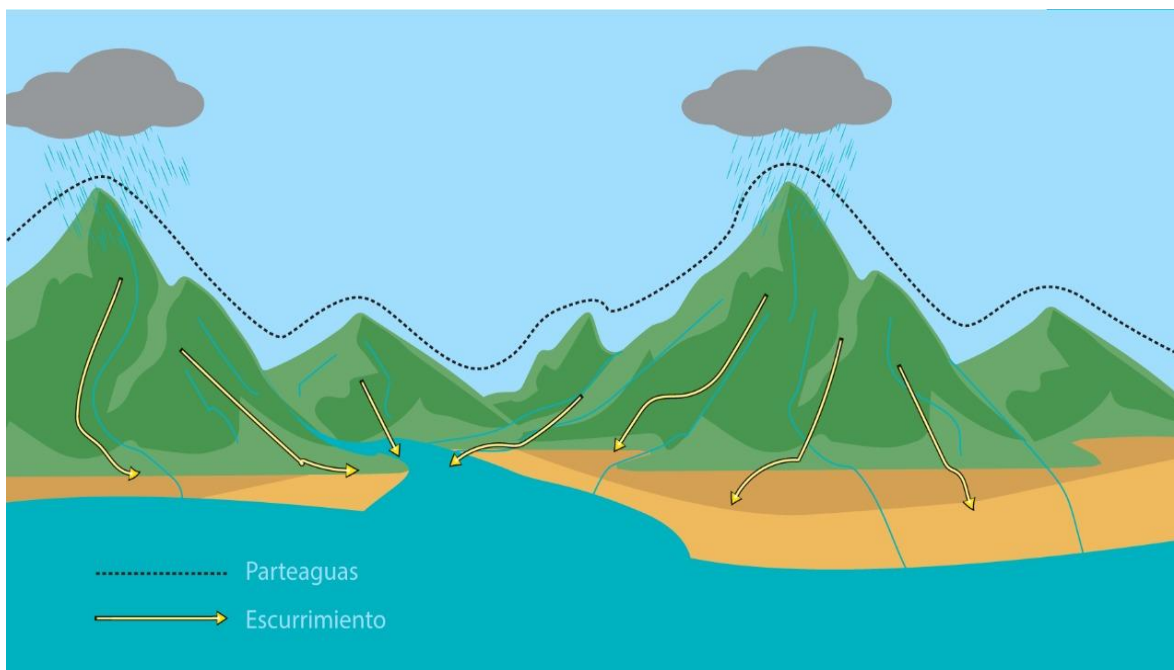


Ilustración 28, Representación gráfica de una Cuenca Hidrológica, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2021.

Clasificación de cuencas

1. Exorreicas. Los escurrimientos confluyen y desembocan en el mar o en un sistema lagunar costero.
2. Endorreica. Se caracteriza porque todas sus aguas son descargadas hacia un cuerpo de agua interior.
3. Arreico. No tiene salida hacia el mar ni tampoco drena hacia un cuerpo de agua colector observable. (CONAGUA, 2018, pág. 92).

Subcuenca hidrológica. Es el área considerada como una subdivisión de la cuenca hidrográfica que presenta características particulares de escurrimiento y extensión. Su clave es el resultado de la concatenación de la clave de la región hidrográfica, más la clave la cuenca y una letra minúscula de la “a” a la “z”. Ejemplo: “RH12Kf”. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010, pág. 8).

Microcuenca. Una microcuenca es aquella cuenca que está dentro de una Subzona hidrográfica o su nivel subsiguiente, cuya área de drenaje es inferior a 500 Km², corresponde al área de aguas superficiales, que vierten a una red hidrográfica

natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar; la microcuenca está delimitada por la línea del divorcio de las aguas, como lo ejemplifica la ilustración 29. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018, pág. 11).

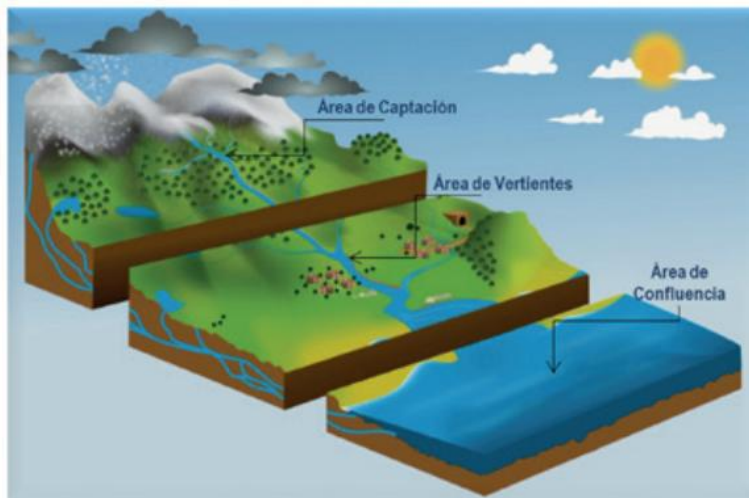


Ilustración 29, Ejemplo de una Microcuenca, Fuente; Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018.

Para poder describir los comportamientos de las cuencas, es importante conocer los parámetros fisiográficos de cada una, a continuación, describiremos algunos conceptos que serán de gran utilidad para la ejecución de los métodos que se realizarán.

Área de la cuenca. Es la proyección del parteaguas a un plano horizontal, caracterizándose así el tamaño de la cuenca. El valor del área se obtiene de los mapas topográficos a través del uso del planímetro o de otros métodos. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 28).

Perímetro. El perímetro es la longitud total del parteaguas y por lo regular se utiliza el curvímetro para medirlo. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006).

Corriente principal. Es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la cuenca hidrológica. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 28).

Longitud del eje mayor de la cuenca. Es la máxima longitud que va desde el punto de la descarga o salida de la cuenca al punto más lejano de la cuenca. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 28).

Ancho de la cuenca. Es la longitud perpendicular a la longitud del eje mayor de la cuenca y para su estimación se miden las longitudes perpendiculares representativas de cada parte de la cuenca, tomando como referencia la recta que se ha trazado para la longitud del eje mayor. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 28).

Pendiente media de la cuenca. Este parámetro mide la pendiente media en dos ejes principales (x, y) y a partir de estos valores se determina la pendiente media de la cuenca, definida como la inclinación o declive promedio de su topografía. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006).

Cauce. Canal ocupado por una corriente. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 21).

Parteaguas. Línea que divide a cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 21).

Perfil del cauce. Es la representación gráfica en un plano vertical de la curva de elevaciones a lo largo del desarrollo del cauce principal de una cuenca hidrológica. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 39).

Orientación de la cuenca. Es el ángulo de orientación a partir del norte geográfico y para su determinación se toma como punto de referencia la descarga o salida de la cuenca y utilizando la recta que representa a la longitud del eje mayor, se determina el ángulo de la orientación a partir del norte geográfico. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 28).

Corriente perenne. Río o arroyo con agua todo el año. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 21).

Corriente intermitente. Río o arroyo con agua sólo en determinada época del año. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 21).

Caudal. Volumen de agua que pasa por determinada sección del río, arroyo, etc., en un intervalo de tiempo. Se expresa en metros cúbicos por segundo. También se denomina gasto. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 21).

Escurrimiento. Desde el punto de vista hidrológico el escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua que. no ha sido afectado por obras artificiales. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 21).

Existen distintos fenómenos meteorológicos que están involucrados en la hidrología, los cuales se describen brevemente, siendo importante para la presente investigación.

Temperatura. La temperatura es una medida del movimiento de traslación medio de las moléculas de un sistema, que en nuestro caso se trata del aire. Para evitar perturbaciones por la incidencia directa de los rayos solares sobre los termómetros, se colocan dentro de un abrigo meteorológico, que permite el paso del aire a través

de unas rendijas que forman parte de las paredes. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 52).

Viento. Se genera cuando existen diferencias de temperatura en puntos geográficos cercanos o por cambios en la presión atmosférica. Así, se presentan variaciones fuertes en intervalos de tiempo cortos en un lugar particular. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006, pág. 55).

Para poder cuantificar la cantidad de agua sobre cierta zona existen métodos y procesos que nos proporcionan los datos por distintas dependencias, claro ejemplo en México mediante CONAGUA, mediante esta descripción conoceremos los principales conceptos.

Aforo. Medición de la cantidad de agua que lleva una corriente y que pasa a través de una sección determinada en una unidad de tiempo. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 21).

Estaciones climatológicas. Son las instalaciones en las que se llevan a cabo mediciones de temperatura y precipitación mediante aparatos como termómetros /pluviómetros /igualmente se ubican en la carta todas las estaciones de la región y aparecen con su respectivo número. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 20).

Estación hidrométrica. Las estaciones hidrométricas son reglas graduadas colocadas escalonadamente en un río, arroyo, laguna o embalse que miden la cantidad de agua disponible en estos cuerpos de agua originados por las lluvias y los escurrimientos. (Comisión Nacional del Agua, 2017).



Ilustración 30, Ejemplo de estación Hidrométrica, Fuente; CONAGUA, 2017.

Dentro de este estudio se busca utilizar el método por el cual se pueda determinar la precipitación pluvial en nuestra zona de estudio, para ello describiremos los diferentes métodos existentes y algunas de sus características.

Método aritmético. Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usadas. (Aparicio, 1989, pág. 140).

Precipitación media anual. La precipitación media anual es el valor que se obtiene a partir del promedio de las lluvias registradas en los doce meses del año. Se asocia directamente a las condiciones geográficas del territorio, por lo que factores físicos como la orografía, la distancia de la tierra al mar, así como la incidencia de eventos frontales y ciclónicos, varían los regímenes de precipitación. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2024).

Isoyetas. Son líneas que unen puntos que tienen la misma precipitación media anual; se muestran como curvas con valores en milímetros, tal como lo muestra la ilustración 31. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1986, pág. 20).

Polígonos de Thiessen. Este método divide el área usando polígonos de Thiessen con el supuesto de que la precipitación es homogénea dentro del área de cobertura de cada estación. Este método también es llamado una media ponderada por área. Estas suposiciones son buenas para terreno bajo o plano, pero no son apropiadas para terreno montañoso. En la ilustración 31 muestra un ejemplo de la aplicación de este método. (Gandhi, Ujaval Gandhi, 2024).

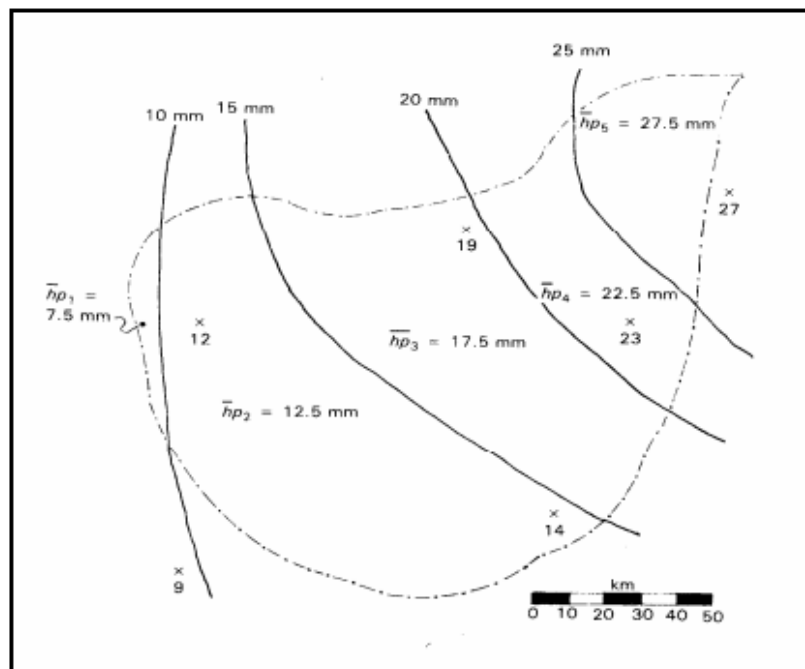


Ilustración 31, Ejemplo de la aplicación del método de Isoyetas, Fuente; Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2024.

Polígonos de Voronoi. Partición del espacio en áreas o celdas que rodean a un conjunto de objetos geométricos (normalmente puntos). Estas celdas o polígonos deben satisfacer los criterios de los triángulos de Delaunay. Todas las ubicaciones presentes en un área están más cerca del objeto al que rodean que a cualquier otro objeto del conjunto. Los diagramas de Voronoi se utilizan con frecuencia para delinear áreas de influencia alrededor de entidades geográficas. Los diagramas de

Voronoi deben su nombre al matemático ucraniano Georgy Fedoseevich Voronoi (1868-1908). (ESRI, 2024).

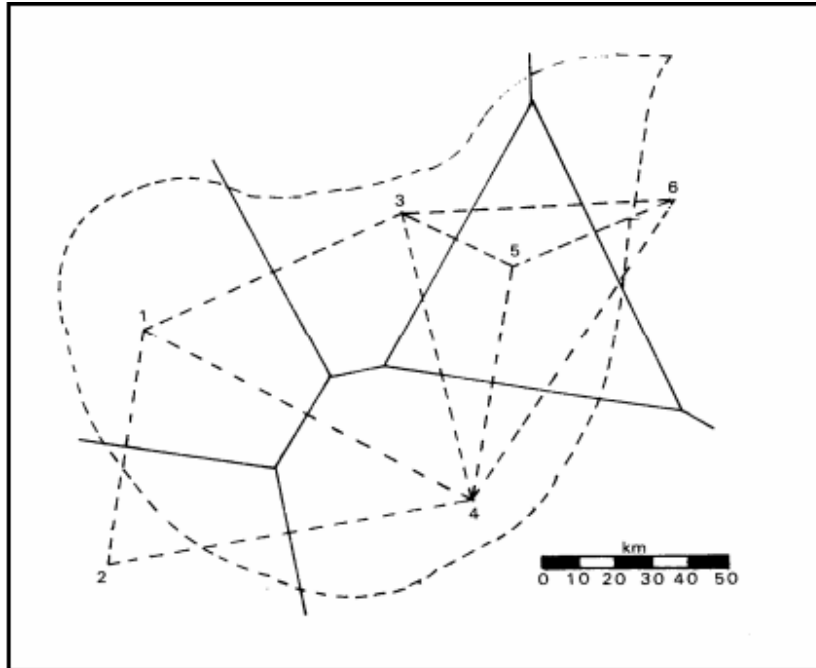


Ilustración 32, Ejemplo de la aplicación del método polígonos de Thiessen, Fuente; Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2024.

Hidrograma. El hidrograma es una representación gráfica o tabular de la variación en el tiempo de los gastos que escurren por un cauce. El gasto (Q) se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo (m^3/s) que escurre por un cauce. (Breña & Jacobo , Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial, 2006).

CAPITULO III. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA A ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

3.1 Sistemas de Información Geográfica y sus componentes

Los Sistemas de Información Geográfica juegan un papel importante dentro de los estudios que se realizan en la actualidad, ya que facilitan el manejo de la información y el análisis de sus resultados, pero ¿qué es un Sistema de Información Geográfica y para qué sirve?

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son el resultado de la aplicación de las llamadas Tecnologías de la Información (TI) a la gestión de la Información Geográfica (IG). El término Sistema de Información Geográfica (SIG) tiene tres acepciones: el SIG como disciplina; el SIG como proyecto, que comprende cada una de las realizaciones prácticas e implementaciones; y el SIG como software, es decir, los programas y aplicaciones de un proyecto SIG. (INEGI, 2014).



Ilustración 33, Ejemplo de un SIG, Fuente; Grupo Método, 2024.

El software y hardware son dos elementos primordiales que componen un SIG, pero no son los únicos existen otros componentes que lo conforman. La base de un SIG, es la información que lo manipula, esta se encuentra en almacenada en un compendio de datos, se compone de una serie de caracteres alfanuméricos, para posteriormente representar información geográfica la ilustración 33 muestra un ejemplo de un SIG.

Los objetivos de los SIG tienen variación de acuerdo a los propósitos de estudio como lo pueden ser; monitoreo o seguimiento de ciertos rasgos, apoyo en la toma de decisiones, desarrollo de procesos de zonificación o planificación, otros buscan respuestas de investigación de diferentes disciplinas, científicas o administrativas.

Estos tienen una gran capacidad para manejar volúmenes de información, a su vez la manera de ejecutarlos es más complejas, un ejemplo de ellos es la manipulación de los datos obtenidos mediante la percepción remota produciendo imágenes satelitales.

Hablando sobre información geográfica, no es solo enfocarnos a un simple punto en la superficie terrestre, es más amplio al contemplar que su comportamiento es estudiado por la Geografía, relacionado a los fenómenos físicos, biológicos, y humanos que ocurren dentro de la superficie terrestre, investiga y analiza causas y consecuencias, por todo ello la información puede ser climatológica, topológica, demográfica, económica, ambiental, orográfica etcétera, toda esta información debe estar georreferenciada es decir mediante una coordenada para poder ubicarla en algún espacio, ejemplo (latitud o longitud).

De igual manera pudiera referirse a un sistema no implícito, como bien podría ser alguna referencia como código postal, calle o alguna área censal. El definir un sistema de referencia no es una tarea sencilla, requiere de diferentes conceptos y conocimientos que van desde desarrollos y cálculos geométricos y matemáticos, utilizamos dos áreas de estudio fundamentales, como lo es la Geodesia y la Cartografía, por mencionar algunos, para poder comprender mejor los SIG y sus componentes se definirán algunos conceptos para su mejor comprensión de este apartado de la investigación.

3.1.1 Conceptos básicos de SIG

SIG. En palabras habituales, un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos. (Olaya, 2011, pág. 9).

Georreferenciación. Es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. (Berné , Garrido , & Capilla , 2023, pág. VIII).

Modelos geográficos. Es conceptualizar el espacio estudiado, la variable tratada y la variación de esta a lo largo del espacio. (Olaya, 2011, pág. 74).

Capas. Es una porción o estrato de una realidad geográfica en una zona determinada, y es más o menos equivalente a un elemento de leyenda en un mapa de papel. En un mapa de carreteras, por ejemplo, las carreteras, parques nacionales, fronteras políticas y ríos se pueden considerar como capas diferentes, ejemplificado en la ilustración 34. (Esri, 2023).



Ilustración 34, Estructura una capa en un SIG, Fuente; Servicio Geológico Nacional, 2023.

Geodatabases. Es el almacenamiento físico de la información geográfica y usa, principalmente, un sistema de administración de bases de datos o un sistema de archivos. (ArcGIS Desktop, 2021).

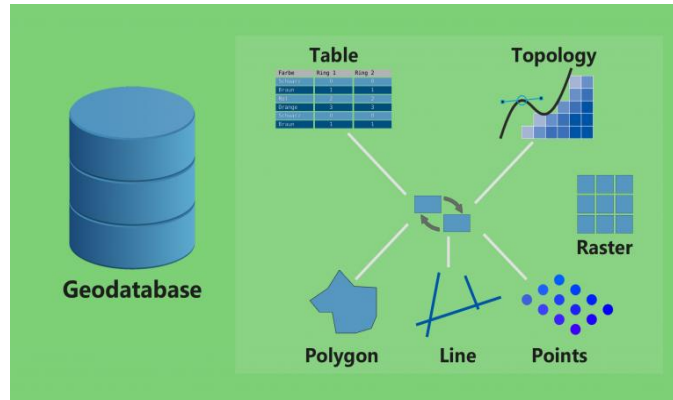


Ilustración 35, Estructura de un Geodatabase, Fuente; Gis Geography, 2024.

Shapefile. Es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas de un shapefile se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (áreas). (ArcGIS Desktop, 2021).

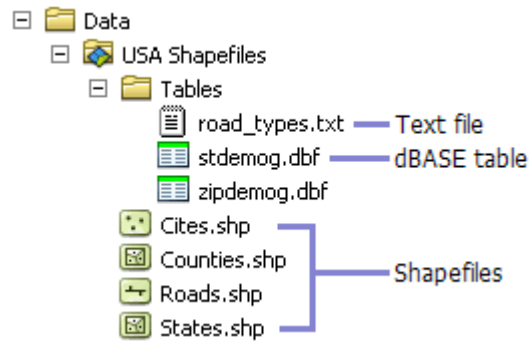


Ilustración 36, Ejemplo de la estructura de un Shapefile, Fuente; ArcGis, 2024.

El GeoTIFF se ha convertido en un archivo de imagen estándar en la industria de los SIG y en las aplicaciones de teledetección. Casi todos los SIG y programas de procesamiento de imágenes tienen compatibilidad con GeoTIFF. Un Geo TIFF puede ir acompañado de otros archivos:

1. TFW es el archivo de mundo que es requerido para dar geolocalización al ráster.
2. XML contiene los metadatos. Es opcional.

3. AUX en este archivo se almacenan las proyecciones y otra información. (Sánchez, Orlando, 2015).

Malla de celdas regulares. En cada una de las cuales se dispone un valor, que corresponde a las características de la zona ocupada por dicha celda. En este caso, cada celda tiene un valor de altura propio. (Olaya, 2011, pág. 76).

Red de triángulos Irregulares. (TIN en sus siglas inglesas, de Triangulated Irregular Network), es una estructura en la cual se toman los puntos más característicos del relieve y en base a ellos se construye una teselación en triángulos con unas condiciones particulares. (Olaya, 2011, págs. 76-77).

Existen dos modelos principales que son utilizados para la definición de capas y de información geográfica, los cuales definiremos a continuación;

Modelo Ráster. Consiste en representar la información dividiendo un mapa en celdas con un valor determinado, que podrá ser un número, una imagen, un color, etc. Estableciendo un símil que facilite el entendimiento, una celda podría equipararse a un píxel (unidad mínima de representación en una fotografía digital). (León, 2009, pág. 49).

Modelo Vectorial. Toda la información se codifica y almacena en un sistema de coordenadas (X, Y, Z), manteniendo las propiedades geométricas de las figuras. En este caso, sólo podrán representarse puntos, líneas y polígonos. Es un modelo puntual, es decir cada coordenada (X, Y, Z) hace referencia a un solo punto, almacenándose las características lineales (como pudiera ser una calle o un río) como un conjunto de puntos. Los polígonos se almacenan como un circuito cerrado de puntos. (León, 2009, pág. 49).

Carta Topográfica. Representa la concreción gráfica del inventario de la infraestructura, orografía, hidrografía y de la población del país, así como de su

distribución geográfica; en ellas se registra fielmente todos estos factores y las relaciones que guardan entre sí. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2005, pág. 1).

3.1.2 Componentes de un SIG

Una manera diferente de ver el sistema SIG es cumpliendo los elementos básicos que lo forman estos elementos, cinco son los principales que enlistaremos a continuación;

1. Datos. Son la principal materia importante para elaborar un SIG y contienen información vital para su existencia.
2. Métodos. Estos son conjuntos de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos, ya sea un modelo RÁSTER O VECTORIAL.
3. Software. Indispensable aplicación informática la cual necesita trabajar con datos y diversos métodos para crear un SIG.
4. Hardware. Es el equipo necesario para que se utiliza para ejecutar el software.
5. Personas. Ellos se encargan de diseñar y utilizar el software partiendo del motor del SIG. (Olaya, 2011, pág. 15).

3.2 Tipos de Variables en un estudio

Las variables de un estudio es todo aquello que se mide en otras palabras los datos que se recolectan en un estudio, estos sirven para responder preguntas, las cuales normalmente están referidas en los objetivos. Es importante definir como serán medidas estas variables.

Existen distintas formas de clasificar a los tipos de variables, según las funciones que cumplen dentro del proceso de investigación, sus propiedades o características dentro de las cuales la primera clasificación observada se separa

como cualitativas y cuantitativas, pero existen distintas maneras de clasificarse, por ejemplo:

1. Variables Cualitativas
2. Variables Cuantitativas
3. Variables Continuas
4. Variables Discontinuas
5. Variables Dependientes
6. Variables Independientes
7. Variables Intermitentes

3.2.1 Tipos de variables en un estudio Geográfico

Para un estudio geográficos esto se refiere por ejemplo a las características que tiene una población, según la comunidad en la que viva, raza a la que pertenece, sus condiciones de ambiente que predominan en la zona, así como su estilo de vida de cada ciudadano.

Por ejemplo, en México podemos denotar las diferencias geográficas de cada una de las Entidades Federativas, con respecto a las costumbres y tradiciones, así mismo los rasgos físicos entre habitantes de cada estado o región.

Dentro de las variables geográficas se consideran las siguientes:

1. Unidad geográfica. Se consideran la ubicación, ya sea la región, estado, municipio y el país.
2. Condiciones geográficas. El ambiente en el cual se desarrolla y comporta la zona de estudio determinamos que las variables que influyen son el clima y el relieve.
3. Raza. Son todos los grupos de la especie humana que pertenecen a una zona en específica, dentro de ellas se clasifican en raza blanca, caucásica, y negra dejando fuera los conceptos raciales, algunos ejemplos son asiáticos, árabes, afroamericanos, negros y blancos por mencionar algunos.

4. Tipo de población. Aquellas condiciones que influyen con la densidad de alguna comunidad en la que se comercializará algún producto, sea en una megápolis, urbana, suburbana y rural.

Algunas variables a investigar en este estudio se describen en la tabla 4.

Tabla 4, Clasificación de variables utilizadas, Fuente: Propia de la investigación, 2023.

Cuantitativa	Temperatura	Se mide en tres tipos de escalas Celsius (°c), Kelvin (k) o Fahrenheit (°f).
	Climas	Tropical, seco o árido, templado, continental, polar.
	Aforo hidrológico	Conteo o medición que determina la cantidad de agua que pasa por un cuerpo de agua en un tiempo dado, contabiliza su disposición hídrica del cuerpo de agua.
	Escorrentía Superficial	Se contabiliza por m ³ .
	Demografía	Se ocupa de aspectos numéricos de población.
Cualitativa	Tipos de poblaciones	Urbana
		Rural
Ordinal	Tipo de corriente hidrológica	Corriente principal, corrientes secundarias.
Nominal	Nombres de ríos	Según el origen etimológico de cada uno de los cuerpos de agua.

3.3 Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en los estudios hidrológicos

Diversos tipos de análisis geográficos existen, estos se enfocan en la prevención y el estudio de riesgos, sobre algún fenómeno natural, los cuales juegan un papel muy importante en la actualidad para predecir el comportamiento de algún punto en específico de la superficie terrestre.

Existe tres tipos de riesgos muy relacionados entre sí, tal como lo menciona Olaya, riesgos de tipo meteorológico (sequías, huracanes, etcétera) riesgos de naturaleza hidrológica (inundaciones, aludes, etcétera) y riesgos relativos al terreno, tales como desplazamiento en masa. (Olaya, 2011, pág. 748).

Hay una gran vinculación en estas clases de riesgos porque las tres tienen en relación el clima y el terreno. Para el análisis de riesgo hidrológico es importante el factor clima, pero, sobre todo el componente espacial es el medio principal para desarrollar estos tipos de estudios.

La delimitación de zonas de inundación es de los más concurrentes de estos análisis, incorpora conceptos hidráulicos, hidrológicos y topográficos. Olaya menciona tres etapas a la hora de hacer un análisis en la delimitación de zonas de inundación, los cuales mencionaremos a continuación, cálculo de o estimación de variables meteorológicas, aplicación de modelos hidrológicos y aplicación de modelos hidráulicos. (Olaya, 2011, págs. 754, 755).

Para esta presente investigación nos enfocaremos en la aplicación de modelos hidrológicos, para ello mencionaremos los elementos y procesos que se deben de analizar en los modelos hidrológicos:

1. Precipitación
2. Infiltración
3. Escorrentías

4. Perdidas (evapotranspiración, intercepción, etcétera) (Olaya, 2011).

Necesitan de algún método hidrológico, para poder realizar este tipo análisis hidrológico de la mano con un SIG y de esta manera conocer el comportamiento de algunos de los fenómenos naturales mencionados en este capítulo.

La mayor parte de las aplicaciones hidrológicas que son estudiadas mediante un SIG, se enlistan a continuación:

1. Estudio y modelado de cauces fluviales.
2. Simulaciones hidrológicas.
3. Valoraciones mediante imágenes satelitales.
4. Perdidas.
5. Cálculo de avenidas y aforos.
6. Aplicaciones y desarrollos de Sistemas de Información Geográfica.

(Alvaro & Carrera , 2019, pág. 97).

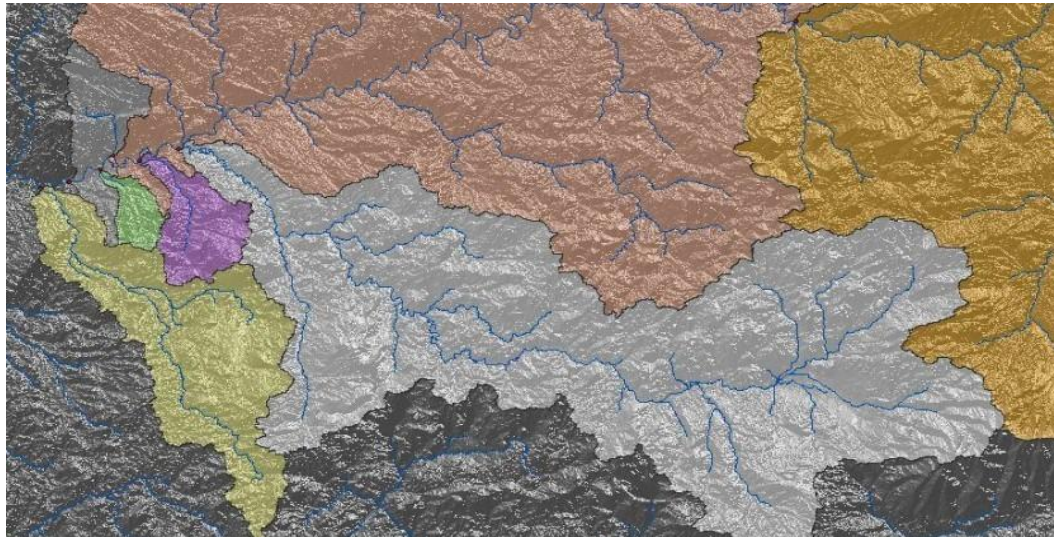


Ilustración 37, Ejemplo de una aplicación de un SIG en los estudios Hidrológicos, Fuente; iagua, 2019.

Todas estas aplicaciones tienen como producto un elemento cartográfico, dentro del cual se pueden conocer atributos esto depende de las necesidades y el enfoque que se tenga.

3.4 Capas de información de la zona de estudio para un análisis espacial

Las capas conforman una parte fundamental de los SIG, con ellos se obtienen datos que se desean procesar para generar nueva información, estos datos se pueden representar de manera vectorial o ráster, una de las razones de usar capas de información es que en ocasiones es necesario desacoplar la información almacenada en su contexto digital.

Dentro de esta investigación se utilizarán diferentes capas de información, las cuales serán extraídas de INEGI, dentro de este portal, se pueden descargar archivos de tipo ráster (fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite) y de tipo vectorial (shapefile), por mencionar algunos.

Capas de información de INEGI:

1. SIATL, Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográfica. Con ayuda de esta herramienta, se puede obtener la distribución espacial y el comportamiento del agua superficial de cualquier zona de estudio en nuestro país, la cual nos proporciona capas de información, como lo es elevaciones, longitud del cauce, área, perímetro y otros más datos de la cuenca o subcuenca de interés.
2. CEM 3.0, Continuo de Elevaciones Mexicano. Los modelos de elevación digital, DEM, El Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) es un producto que representa las elevaciones del territorio continental mexicano, mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas (X, Y) a las que se le integran valores que representan las elevaciones(Z). Los puntos se encuentran espaciados y distribuidos de modo regular. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía , 2024).

Esta herramienta nos ayudará a extraer el modelo de elevación digital de la zona que el usuario dese perteneciente a la República mexicana, previo a ello en el sitio web se buscará conforme a la clave de su carta topográfica de INEGI, cada modelo de elevación tendrá una resolución de 15 metros, el archivo será de tipo ráster en formato TIFF y con este se obtendrá la extracción de pendientes, curvas de nivel, la red hidrográfica y microcuenca del área de estudio con ayuda del software QGIS.

3. INEGI – Geografía y Medio ambiente. Dentro de los temas que ofrece esta plataforma, geografía y medio ambiente ofrece distintos tipos de mapas y datos, tales como topográficos, hidrológicos, edafológicos, geológicos, por mencionar algunos, en el interior de estos nos proporciona datos de la república mexicana, para el caso de esta investigación buscaremos información hidrográfica, perteneciente a la cuenca RH 27 Tuxpan - Nautla y las subcuencas pertenecientes a esta, los archivos que se usarán serán de tipo shapefile, de forma vectorial los cuales se manipularan para delimitar nuestra zona de estudio.

3.5 Datos de información Hídrica – CONAGUA

Con la finalidad de medir las variables del clima, entre ellas la temperatura, la lluvia, evaporación del agua, así como la velocidad y dirección del viento en el territorio nacional, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene a su disposición 3 mil 153 estaciones climatológicas en operación, de las cuales 79 son observatorios que transmiten en tiempo real la información meteorológica cada tres horas.

Por su parte, las estaciones hidrométricas se encargan de medir el caudal del agua de los ríos, así como la extracción por obra de toma de las presas. Actualmente, México cuenta con 861 instalaciones de este tipo, de las cuales algunas son totalmente automáticas.

Existe otro tipo de estaciones, las conocidas como hidro - climatológicas, que son las encargadas de medir algunos parámetros climatológicos e hidrométricos.

Con ayuda de CONAGUA se realizará la búsqueda la información hídrica existente para ejecutar un análisis multitemporal, de la mano con las estaciones hidrométricas que hay dentro de nuestra zona de estudio, tales como Venta Grande, Xicotepec, Huauchinango, Necaxa, por mencionar algunos. Se extraerán datos de los años 2000, 2010, 2020 y 2023 así se conocerán las precipitaciones pluviales en dichos años.

Tabla 5. Estaciones Climatológicas transitadas en la RH 27 Bb, Fuente; CONAGUA, 2024.

Nombre de Estación	Clave	Dependencia	Tipo de estación	Situación
Xicotepec de Juárez	21127	CONAGUA - SMN	Climatológica	Operando
Jopala	21051	CFE	Climatológica	Suspendida
Coamanala	21041	CFE	Climatológica	Suspendida
Nuevo Necaxa	21058	CFE	Climatológica	Suspendida
Tenango de las Flores	21085	CFE	Climatológica	Suspendida
Huauchinango	21118	CONAGUA – SMN	Climatológica	Operando
Universidad de la Sierra (USAC) – Huauchinango	21220	CONAGUA	Climatológica	Operando
San Lorenzo Tlapexipehuala	21076	CFE	Climatológica	Suspendida
Venta Grande	21190	CONAGUA – DGE	Climatológica	Operando
Laguna	21125	CFE	Climatológica	Suspendida
Ahuazotepec	21210	CONAGUA – DGE	Climatológica	Operando
Chignahuapan	21140	CONAGUA – DGE	Climatológica	Operando
Tulancingo (OBS)	13041	CONAGUA – SMN	Observatorio	Operando

Tal como lo enlista la tabla 5 muestra las estaciones climatológicas que se utilizarán en este estudio, transitadas en la RH 27 Bb.

3.6 Generación de Cartografía Temática para un estudio hidrológico con ayuda de QGIS

En la actualidad los SIG sirven se han convertido en una herramienta fundamental y sobre todo básica, para poder analizar, planificar y ordenar el territorio, incorporando otras ciencias de estudio, como geología, demografía, climatología, demografía, climatología por mencionar algunas.

Con la ayuda de la cartográfica temática podemos realizar mapas de vegetación, de recursos y aprovechamientos del territorio, cartografía del medio natural como lo es geología, edafología, geomorfología, hidrogeología e hidrología, la cual esta última es tema central de esta investigación.

Cada uno de estos mapas es resultado de la aplicación de un SIG y como resultado la obtención de cartografía temática. Para poder crear cartografía temática existen distintos softwares que son suma utilidad a la hora de ejecutar estas actividades, tal como QGIS, el cual es un software libre y de código abierto para todos.

Para elaborar mapas en QGIS es importante seguir una serie de paso que enlistaremos a continuación:

1. Definir el tema central de la cartografía a generar. Para este paso se necesitan definir los alcances, el propósito y el tipo de mapa ya sea, geológico, hidrológico, edafológico por mencionar alguna temática, considerando la información necesaria para poder tener éxito en la ejecución.
2. Datos. Se necesita información que se desee representar ya sea en formato ráster o shapefile, estos formatos pueden ser procesados para obtener clasificaciones supervisadas o no supervisadas, reclasificaciones, cortes, entre otros procedimientos, como mapa base se pueden utilizar los complementos que ofrece en programa que son originarios de Google

Streets. A estos mapas se les debe otorgar simbología, según el tema central de dicho mapa.

3. Diseñador de impresión de QGIS. Una vez creada la simbología, es momento de crear un diseño de impresión o presentación para este mapa, al cual por se le anexaran los datos importantes, como simbología, escala gráfica, nombre del mapa, mapa de ubicación, norte, cuadrícula, etiquetas sobre información como nombre del autor del mapa, fecha de creación, elipsoide al cual esta referido, datum y otros más según las necesidades del creador.
4. Impresión o exportación del mapa. Para este punto de la elaboración es importante definir la manera en la que se exportara el producto cartográfico, ya que QGIS ofrece diversas maneras de exportación, como, tif, jpeg, png, .bmp, etcétera, un ejemplo se muestra en la ilustración 38 de una creación de mapa en QGIS.

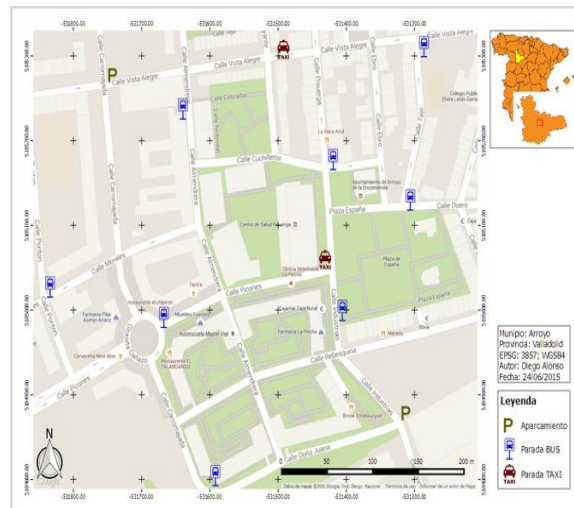


Ilustración 38, Ejemplo de cartografía elaborada en QGIS;
Fuente, QGIS, 2024.

Para esta investigación para realizar la cartografía temática hidrológica se utilizará el modelo de elevación digital (DEM) de la zona de estudio, siendo un archivo tipo ráster, con el propósito de extraer su red hidrográfica, la subcuenca y la microcuenca, para la parte topográfica se generarán las curvas de nivel y la extracción de las pendientes.

El análisis espacial contemplará información de imágenes satelitales de los satélites Landsat 7 correspondiente al año 2000 y Landsat 8 para el año 2023, de los cuales se pretende conocer Índice de vegetación de diferencia normalizada – NDVI, el índice de agua de diferencia normalizada – NDWI, la clasificación de vegetación, asentamientos humanos, cuerpos de agua, zonas agrícolas, para ambos años 2000 y 2023.

CAPITULO IV. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA LOCALIDAD DE PUENTE DE RIELES EN VENTA GRANDE, PUEBLA

4.1 Delimitación de la zona de estudio – Imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica

Dentro de este apartado de la investigación se evidenciará la cartografía temática obtenida por imágenes satelitales. Estos mapas contarán con un mapa base y el contenido temático, ayudarán a visualizar datos espaciales, con el fin de transmitir información, de estos serán fundamentales los resultados que se obtengan de estas composiciones para poder describir características de la región, como lo es el mapa Topográfico, mapa de pendientes, mapa de los NDVI y los NDWI, todos ellos con el fin de delimitar y conocer datos de la zona de estudio y aplicar la bases y métodos de los SIG.

4.1.1 Mapa Topográfico de la zona de estudio

Los mapas de curvas de nivel son de suma importancia para conocer el relieve de la superficie terrestre, ya que en este se puede mostrar las zonas planas, empinadas, con crestas, valles, ríos, entre otros.

Dentro de la ilustración 39, se representa el mapa topográfico con curvas a nivel con una distancia de 15 metros una de otra, con la finalidad de visualizar la

superficie terrestre de nuestra zona de estudio, todo esto elaborado con el software QGIS, siendo un insumo importante el Modelo de elevación digital, extraído de INEGI, el cual tiene una resolución de 15 metros x 15 metros.

Dentro de esta composición topográfica comprendemos las partes de la sierra norte de Puebla, con mayor presencia de cerros altos, en, los municipios de Necaxa, Huauchinango y Xicotepec de Juárez.

Mapa Topográfico de la Subcuenca RH 27Bb.

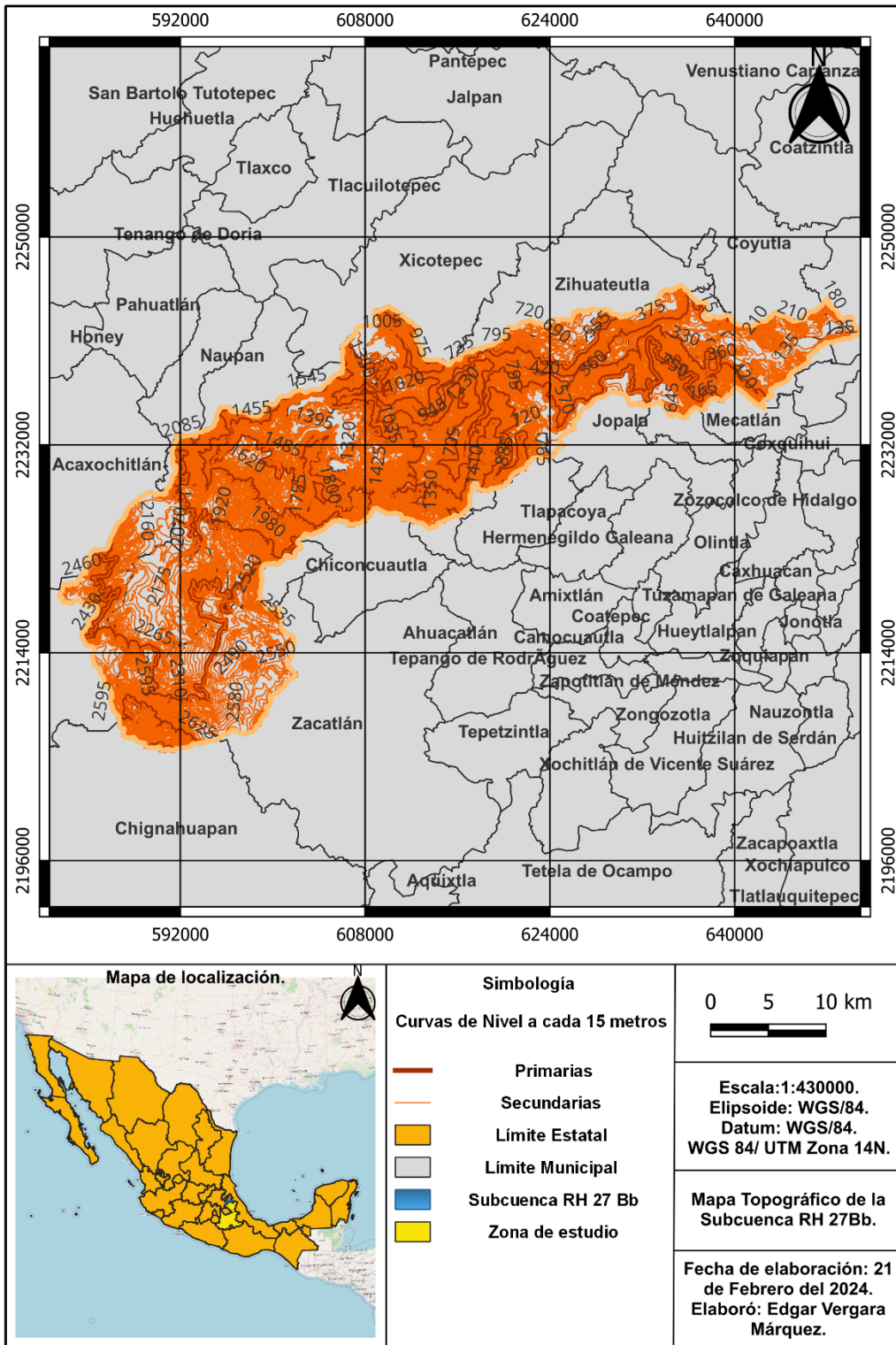


Ilustración 39, Mapa topográfico de la Subcuenca Rh 27 Bb, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.1.2 Mapa de Pendientes

Con ayuda del DEM, extraeremos las pendientes del área de estudio, basándonos en los intervalos y categorías de pendientes como lo muestra la tabla 6, refiriéndonos a cada valor representado en grados, considerando los valores que nos proporciona CENAPRED.

Tabla 6,Intervalos o categorías de pendientes y sus correspondientes valores relativos de susceptibilidad propuestas en la Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fuente; CENAPRED, 2006,

Intervalos	Valores
Mas de 45°	2.0
35° a 45°	1.8
25° a 35°	1.4
15° a 25°	1.0
Menos de 15°	0.5

(González , Domínguez , & Castañeda , 2015).

Los valores con una pendiente de más de 45° o igual tendrán una mayor aportación se muestran de color rojo, tal como lo muestra la ilustración 40, las pendientes altas en color naranja en esta se mostraran los intervalos de 35° a 45°, las pendientes medias se denotan entre los valores de 25° a 35°, por otro lados las pendientes bajas en color verde una pendiente de 15° a 25° y por ultimo las pendientes muy bajas se encuentran con un valor de menos de 15° y estarán representadas de color verde vívido.

Para este análisis de este mapa, representamos las pendientes de la Subcuenca RH 27Bb:

1. Muy baja pendiente, la cual representa 52.803 ha, esta es la mayor parte de área de la zona de estudio, equivalente a un 68.5%, se conecta principalmente en zonas de Ahuzotepec. Estas zonas son ideales para el desarrollo urbano, agricultura y zonas de expansión territorial.

2. Baja pendiente, representa un área de 362.15 ha equivalente a un .47%, es una de las pendientes con menor cobertura, en estas zonas probablemente existan zonas de transición entre pendientes muy bajas y medias, es apta para zonas de agricultura y asentamientos humanos, con una probabilidad mínima de erosión.
3. Media, con una cobertura de 18,452.21 ha, la cual representa un 23.93%, ocupando una cuarta parte del área total de la zona de estudio.
4. Alta, con una cobertura de 16,564.94 ha equivalente a un 21.49% con mayor presencia en los municipios de Zihuatehutla y Tlacuilotepec, asociada a riesgos de erosión, escurrimientos intensos.
5. Muy alta, con 1434.85 ha de cobertura y equivalente a 1.86%, esta zona se caracteriza por tener zonas montañosas describiendo así la sierra norte de Puebla, dentro de estas zonas son pieza fundamental para el desarrollo de cuencas, ríos y otros cuerpos de agua.

4.1.3 NDVI años 2000 y 2023

La extracción del NDVI en imágenes multiespectrales, sirve para indicar, analizar, gestionar la salud de la vegetación. Las aplicaciones del NDVI, se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones como:

1. Monitorización de la salud de cultivos.
2. Detección de cambios de uso de suelo.
3. Evaluación de la desertificación.
4. Gestión de recursos naturales.

Para generar este análisis se utiliza la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Donde:

NIR= Banda infrarroja cercana.

Red= Banda roja.

Para el año 2000 nos muestra un 10% de índice de vegetación enferma, para la vegetación medianamente enferma muestra el 24%, el 66% muestra un estado excelente de salud.

Analizando la composición cartográfica para el año 2023, los índices de vegetación nos muestran un 16% de vegetación enferma, la vegetación medianamente enferma destaca con un 47% en la zona de estudio y el 37% ejemplifica un índice de vegetación en excelente estado de salud.

Es importante analizar el cambio que se dio en 23 años en el índice de vegetación, la vegetación sana se degradó casi al doble para el año 2023 y el 6% de avance en la vegetación enferma, denotando el estrés que se generó en las dos últimas décadas en la zona de estudio.

Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), año 2000.

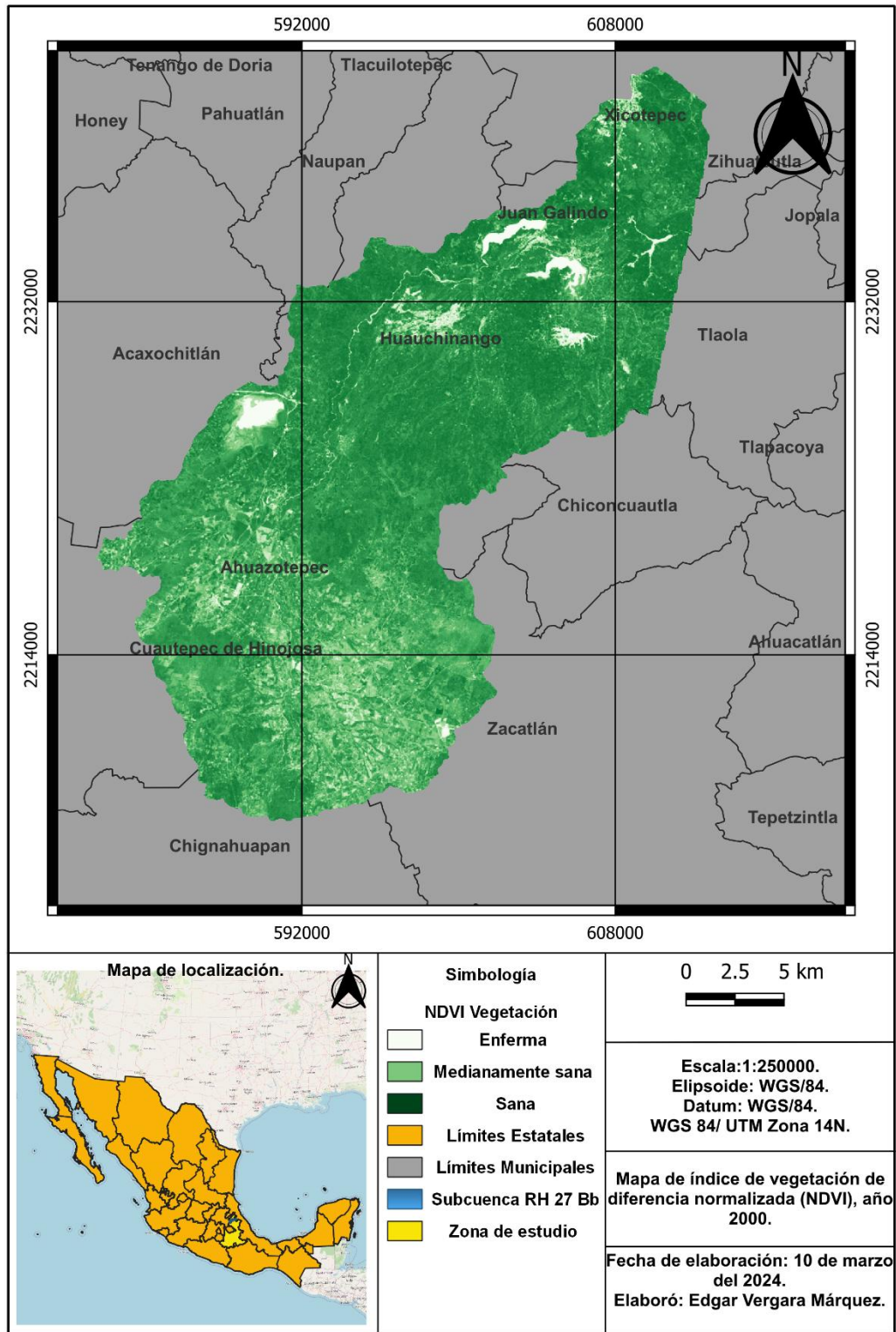


Ilustración 41, Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), año 2020, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), año 2023.

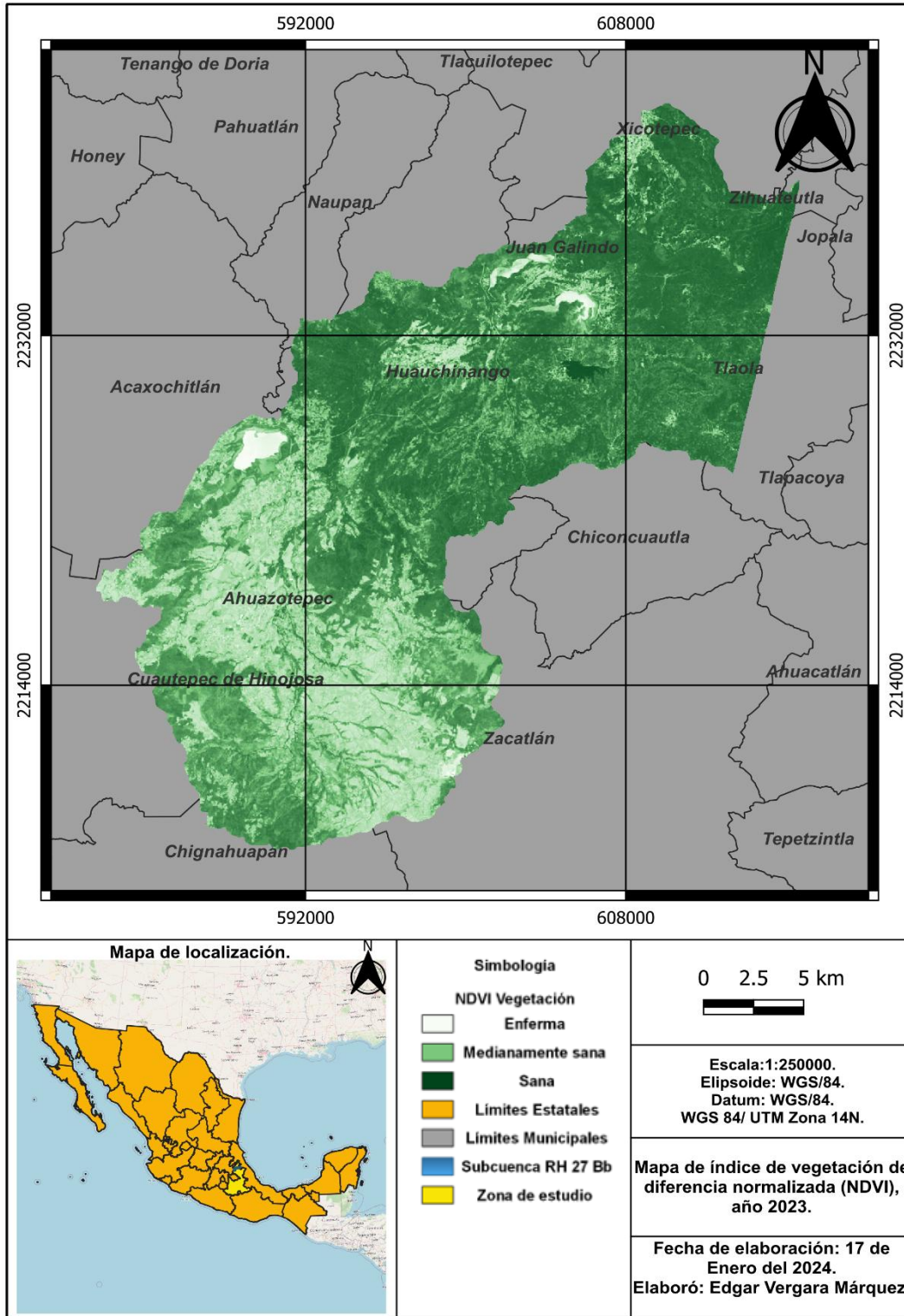


Ilustración 42, Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.1.4 NDWI años 2000 y 2023

El índice NDWI fue planteado por McFeeters en 1996. Hoy en día, su uso principal es detectar y controlar los cambios leves en la cantidad de los cuerpos de agua. Aprovechando las bandas espectrales NIR (infrarrojo cercano) y GREEN (verde visible), el NDWI es capaz de realzar las masas de agua en una imagen de satélite. El inconveniente de este índice es que es sensible a las estructuras construidas, lo que puede llevar a una sobreestimación del tamaño de las masas de agua. (Analytics, 2024).

Con la siguiente formula, se puede determinar el cálculo del NDWI:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

NIR= Banda infrarroja cercana.

SWIR= Banda SWIR.

El análisis del NDWI en nuestra zona de estudio nos arrojó los siguientes datos para sin el año 2000 un 79.11% en la categoría de severo, un 17% en moderado y un 3.89% sin estrés. Para el año 2023, obtuvimos 87.6% en la categoría severo y el 9% moderado, y un 3.4% sin estrés.

Realizando el análisis para estos años comprendemos que se desarrolló un importante suceso en el estrés hídrico de nuestra zona de estudio con mayor impacto para el año 2023, ya que las zonas sin estrés tienen un porcentaje muy mínimo y denotando la poca existencia del líquido vital, en los tres cuerpos de agua que transitan dentro de esta zona.

Mapa de índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), año 2000.

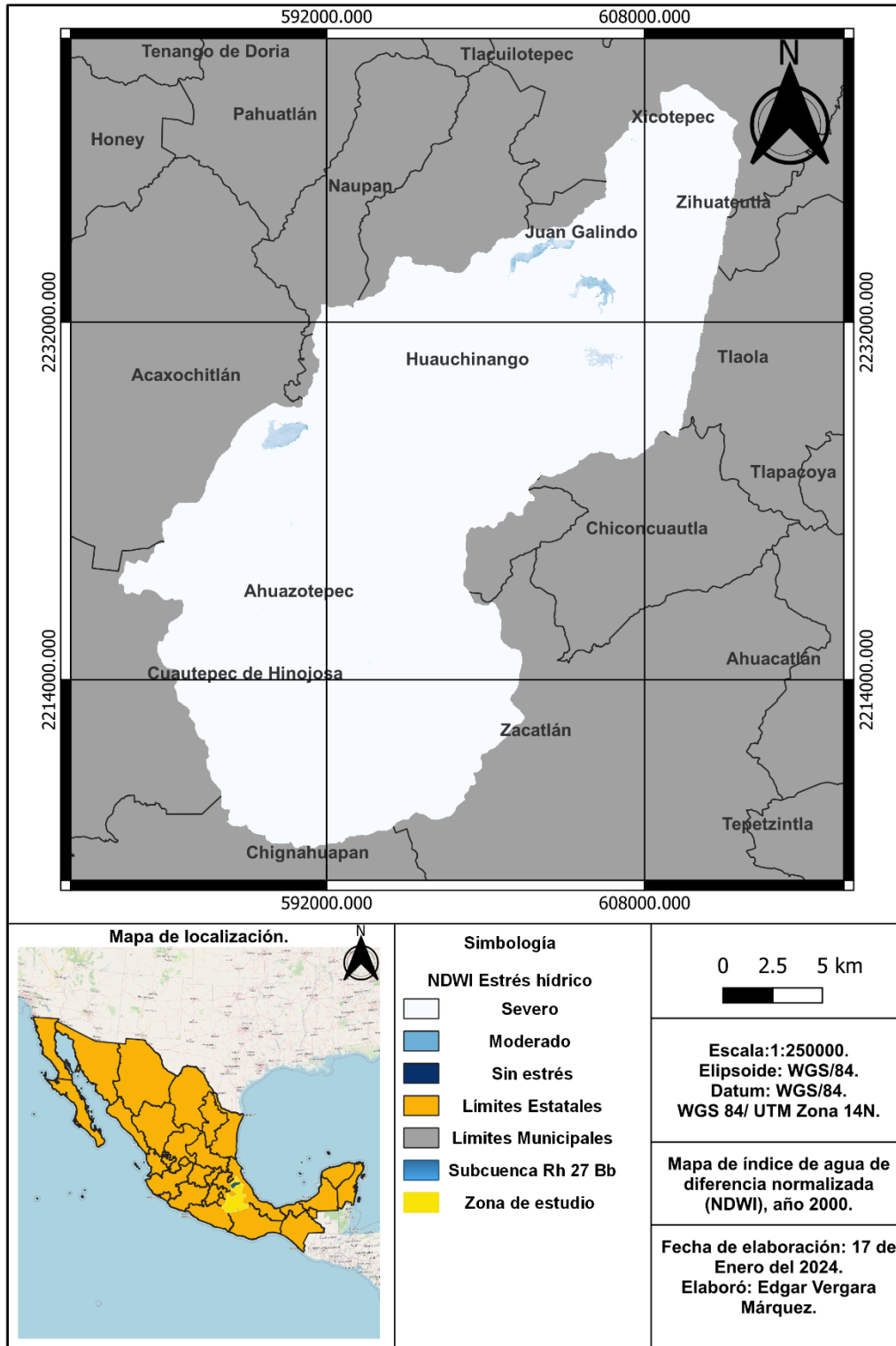


Ilustración 43, Mapa de índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Mapa de índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), año 2023.

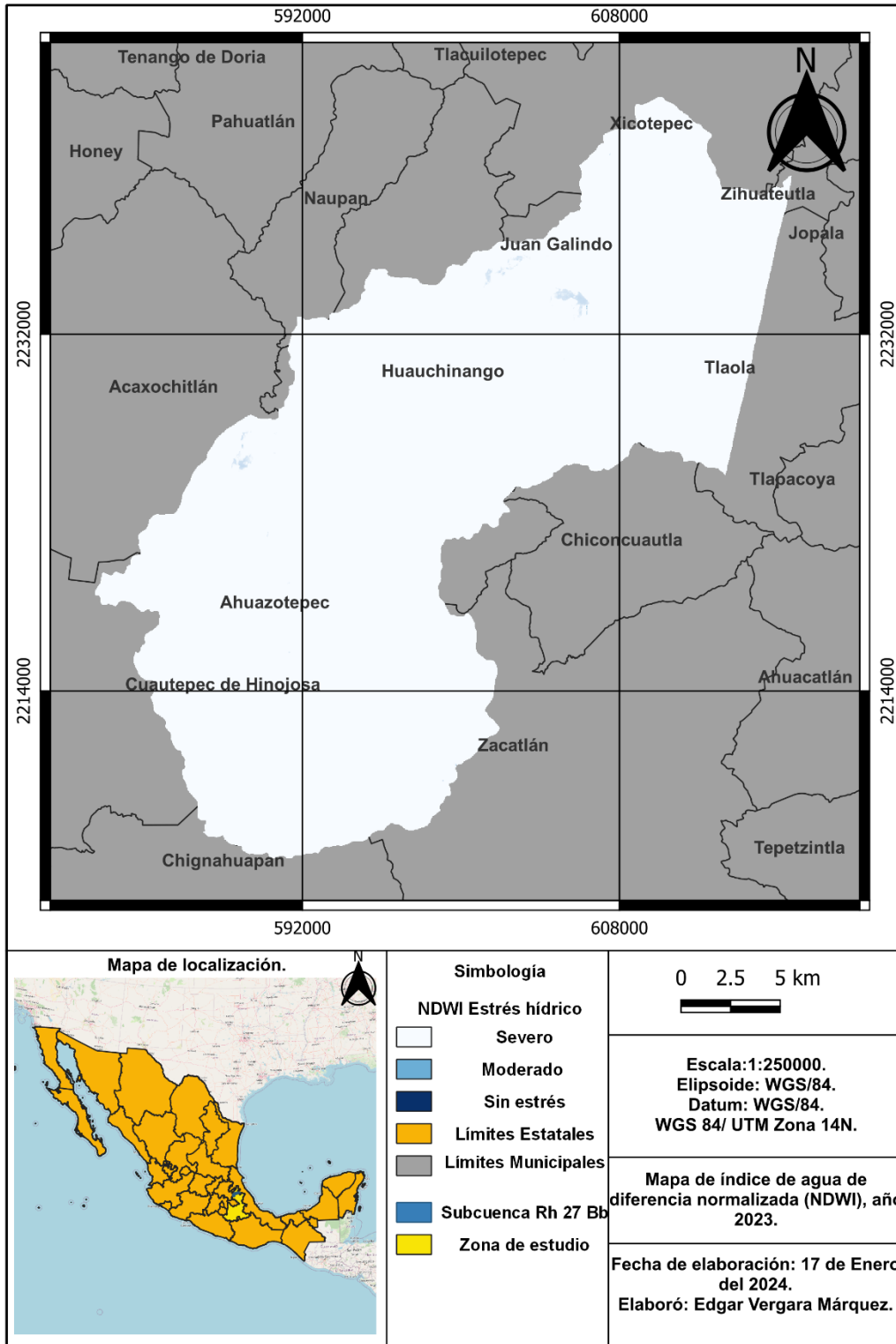


Ilustración 44, Mapa de índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.2 Delimitación Poblacional – Asentamientos Humanos

Como se muestra en la ilustración 45, nuestra zona de estudio localizada en el noreste del estado de Puebla, México, dentro de la subcuenca RH 27 BB. esta está formada por varios municipios como Huauchinango, Xicotepec, Naupan y Chiconcuautla, entre otros, este mapa tiene una escala 1:250,000.

Para el año 2000, su distribución está establecida de la siguiente manera:

1. Asentamientos Humanos:

- Representados en color magenta, se distribuyen densamente en el sur y suroeste del área de estudio, especialmente en los municipios de Huauchinango, Xicotepec y Cuautempan, lo cual nos da un total de cobertura de 17.25 hectáreas.
- Se observan múltiples pequeños y medianos lugares en expansión territorial lo que indica una estructura dispersa de urbanización con algunos polos más concentrados.

2. Distribución de Cuerpos de Agua:

- Representado en color azul oscuro, se ubican de forma más esporádica, pero son claramente visibles en zonas como al norte de Huauchinango y cerca de Naupan, debido que en estas zonas antes mencionadas transitan las presas de Necaxa y Tenango de la Flores, dando un total de cobertura de 5.51 hectáreas.
- Algunos cuerpos de agua están cercanos a los asentamientos humanos, lo que podría sugerir una dependencia o vulnerabilidad ante contaminación o alteración del recurso hídrico, debido a la sobrepoblación.

Para el año 2023 nuestra zona de estudio representado en la ilustración 46, nos dice lo siguientes:

1. Asentamientos Humanos:

- Incremento en los asentamientos humano en el sur para los municipios de Zacatlán, Chignahuapan y Huauchinango, obteniendo una cobertura de 64.92 hectáreas.
- Mayor crecimiento de pequeñas y medianas comunidades en el norte Naupan, Pahuatlán y Cuautempan.

2. Cuerpos de Agua:

- La mayor concentración en zonas intermedia entre Juan Galindo y Chignahuapan, la cual en su totalidad de cobertura obtuvo 96.87 hectáreas.
- Posible amenaza si urbanización sigue creciendo sin límites ecológicos.
- Es importante mencionar que la fecha de obtención de esta imagen fue realizada en el mes de agosto en el cual es época de lluvia para esta zona y de esta manera el porcentaje de agua capturada en ese momento creció debido a los humedales.

Mapa de Asentamientos Humanos año 2000.

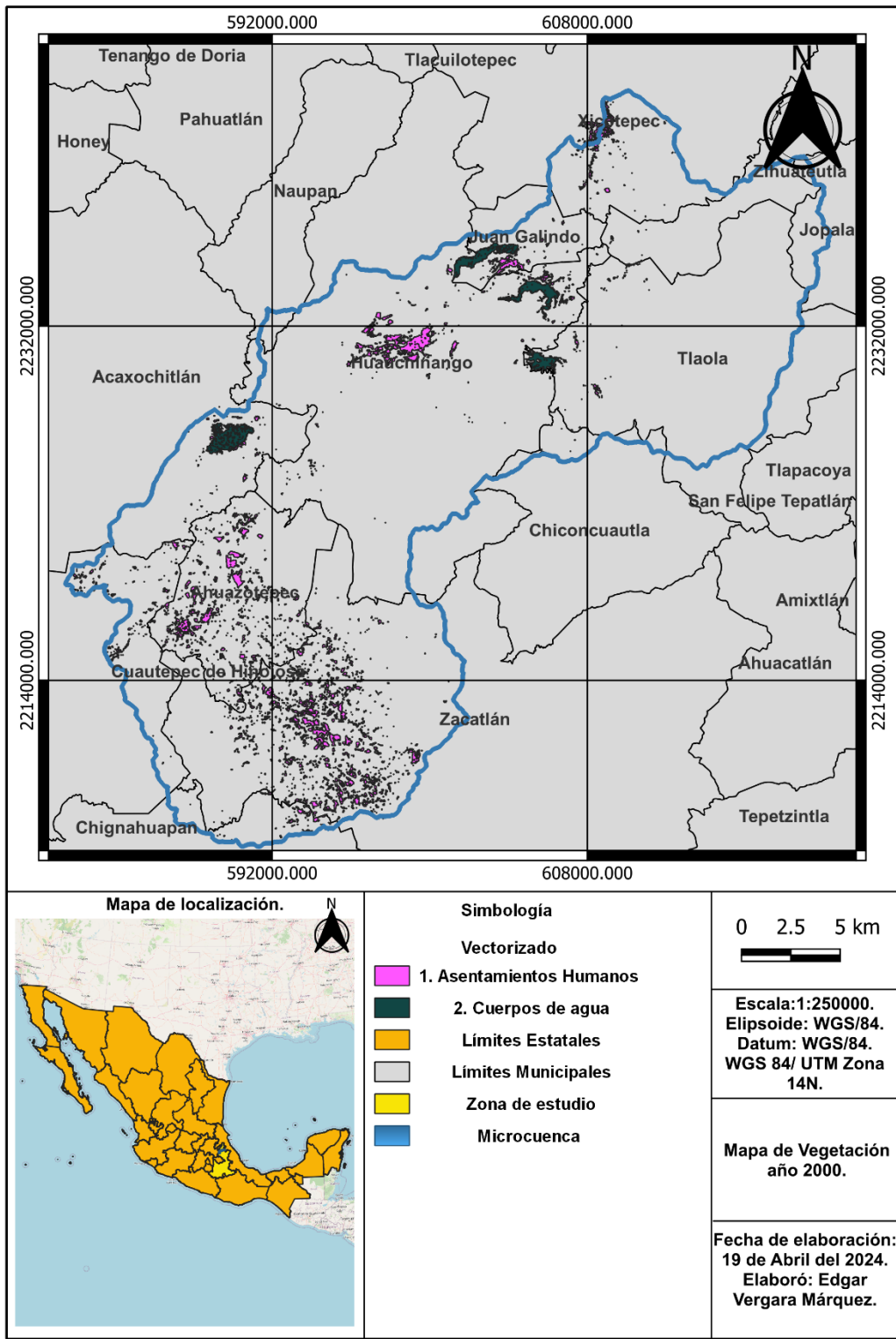


Ilustración 45, Mapa de Asentamientos Humanos año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Mapa de Asentamientos Humanos año 2023.

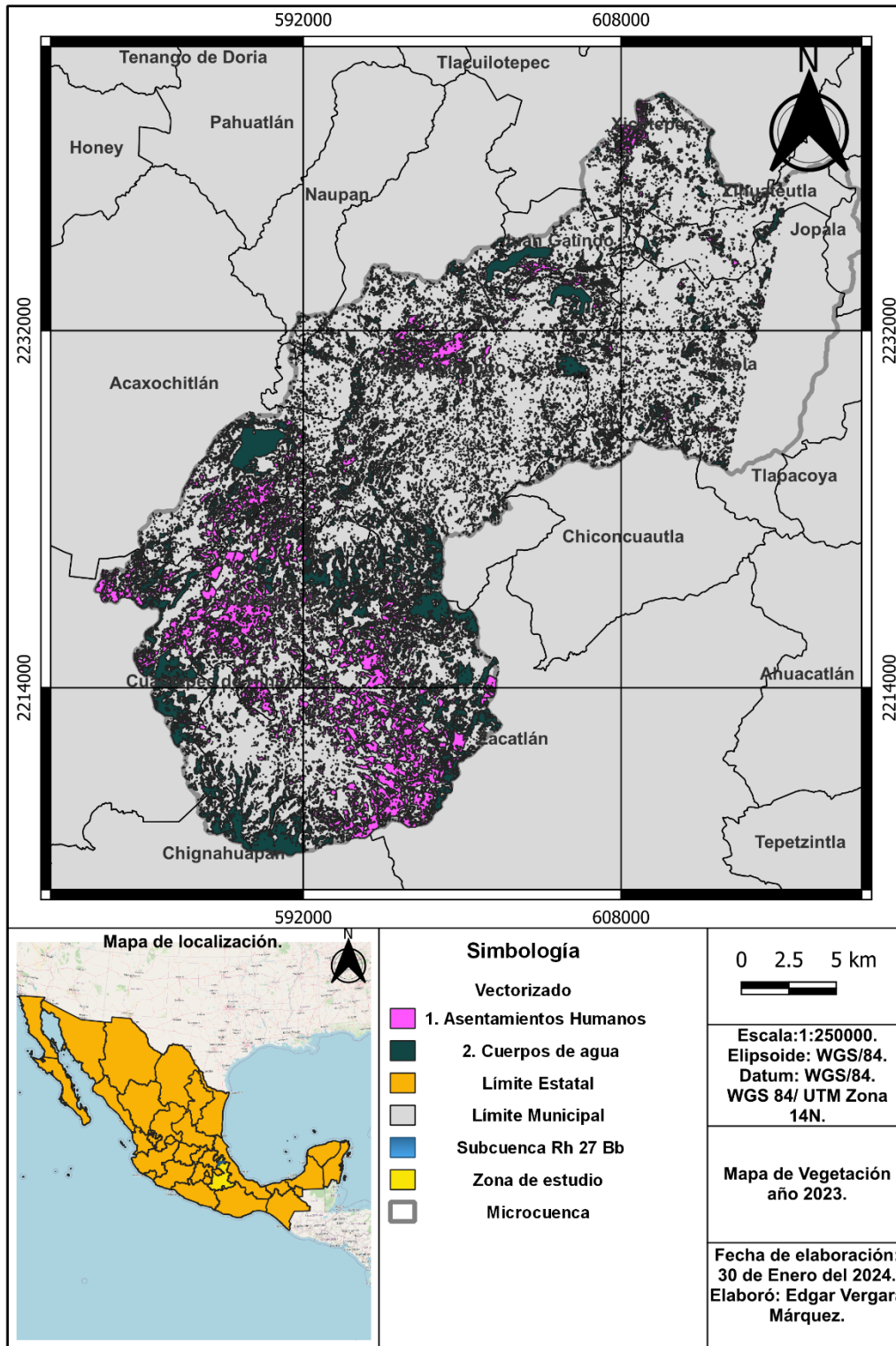


Ilustración 46, Mapa de Asentamientos Humanos año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.3 Análisis de coberturas de uso de suelo

A continuación, se muestra en la ilustración 47, nuestra zona de estudio se localiza en el noreste del estado de Puebla, México, dentro de la subcuenca RH 27 BB, esta está formada por varios municipios como Huauchinango, Xicotepec, Naupan, y Chiconcuautla, entre otros, este mapa tiene una escala 1:250,000.

1. Vegetación desarrollada año 2000.

- Ocupa 520.60 hectáreas de cobertura, siendo la mayor parte en este mapa, siendo una zona muy densa.
- La vegetación abarca gran parte de las regiones montañosas y rurales, para el año 2000 se mantiene un estado de conservación muy alto en el desarrollo, debido que para este análisis en este año no se reporta un crecimiento demográfico considerado, las comunidades se encuentran lejanas una de otra.

2. Deforestación año 2000.

- Principalmente alrededor de los municipios de Huauchinango, Juan Galindo y Xicotepec de Juárez, muestra deforestación producto de la explotación en esta zona, la cual indica que va en ascenso.
- Con una superficie de solo 0.836 hectáreas, la deforestación representa menos del 0.2% del total del área cubierta por vegetación.
- Este nivel de deforestación es extremadamente bajo, lo que sugiere que para el año 2000 los índices de deforestación estaban controlados. Estas áreas coinciden probablemente con zonas urbanas, agrícolas o de caminos.

1. Vegetación desarrollada año 2023.

- La vegetación se ha fragmentado considerablemente ocupando un valor de 377.235 hectáreas.
- En el suroeste (Chignahuapan, Cuautempan, Zapotitlán).
- En las zonas centrales del mapa, antes cubiertas por masas continuas de vegetación.

2. Deforestación año 2023.

- A diferencia del año 2000, ahora hay amplias zonas negras y amarillas que indican pérdida de vegetación e incremento en la deforestación.
- La deforestación se ha extendido por el sur y suroeste del área de estudio.
- La expansión de deforestación sugiere influencia de:
- Expansión urbana y agrícola, caminos y aprovechamiento forestal no controlado con un valor de 63.103 hectáreas, tal como se muestra en la ilustración 48.
- Posibles incendios forestales o tala intensiva apuntan a ser una de las causas más fuertes por el cual el porcentaje de deforestación haya aumentado.

Mapa de Vegetación año 2000.

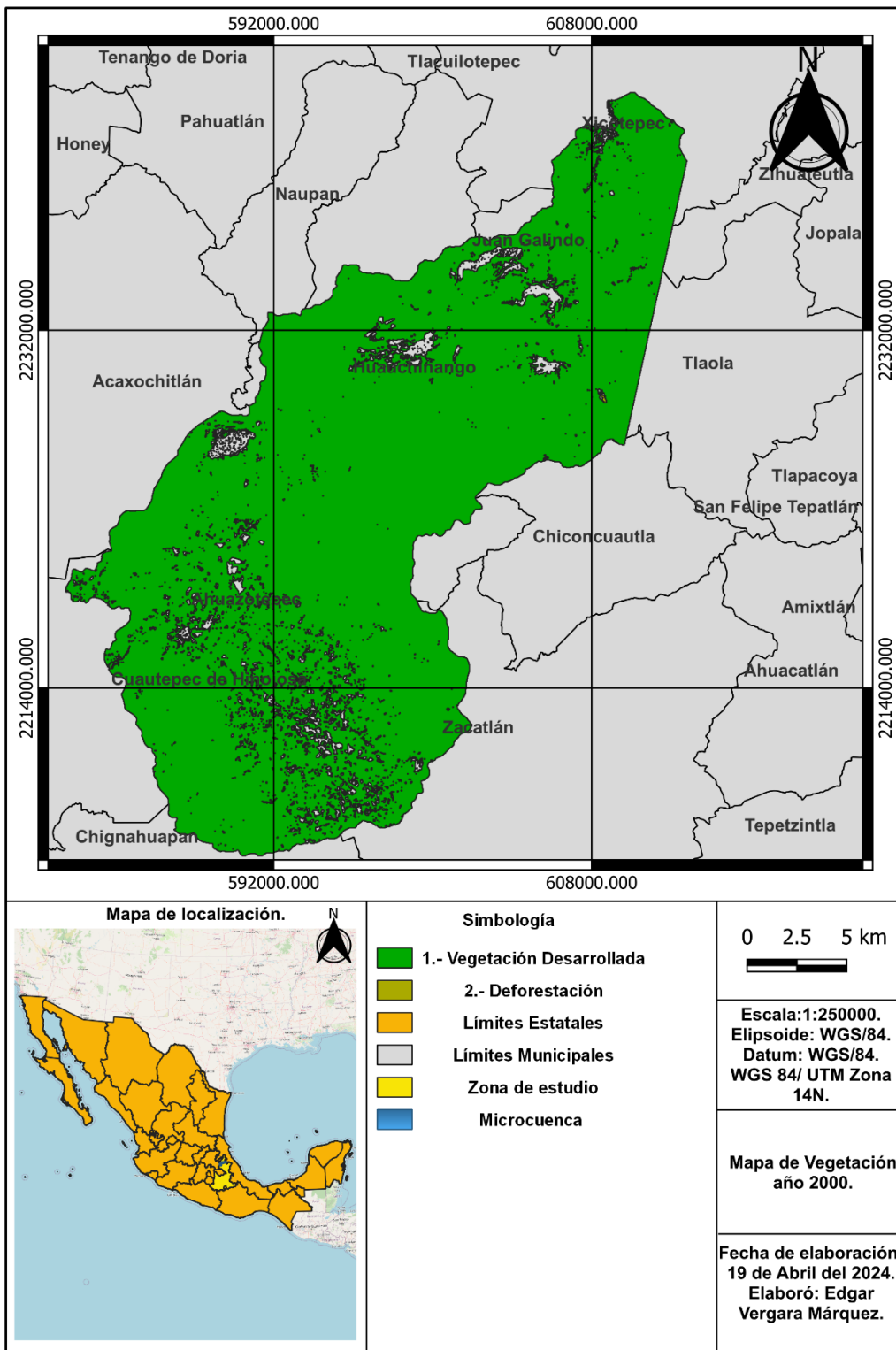


Ilustración 47, Mapa de Clasificación de Vegetación año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Mapa de Vegetación año 2023.

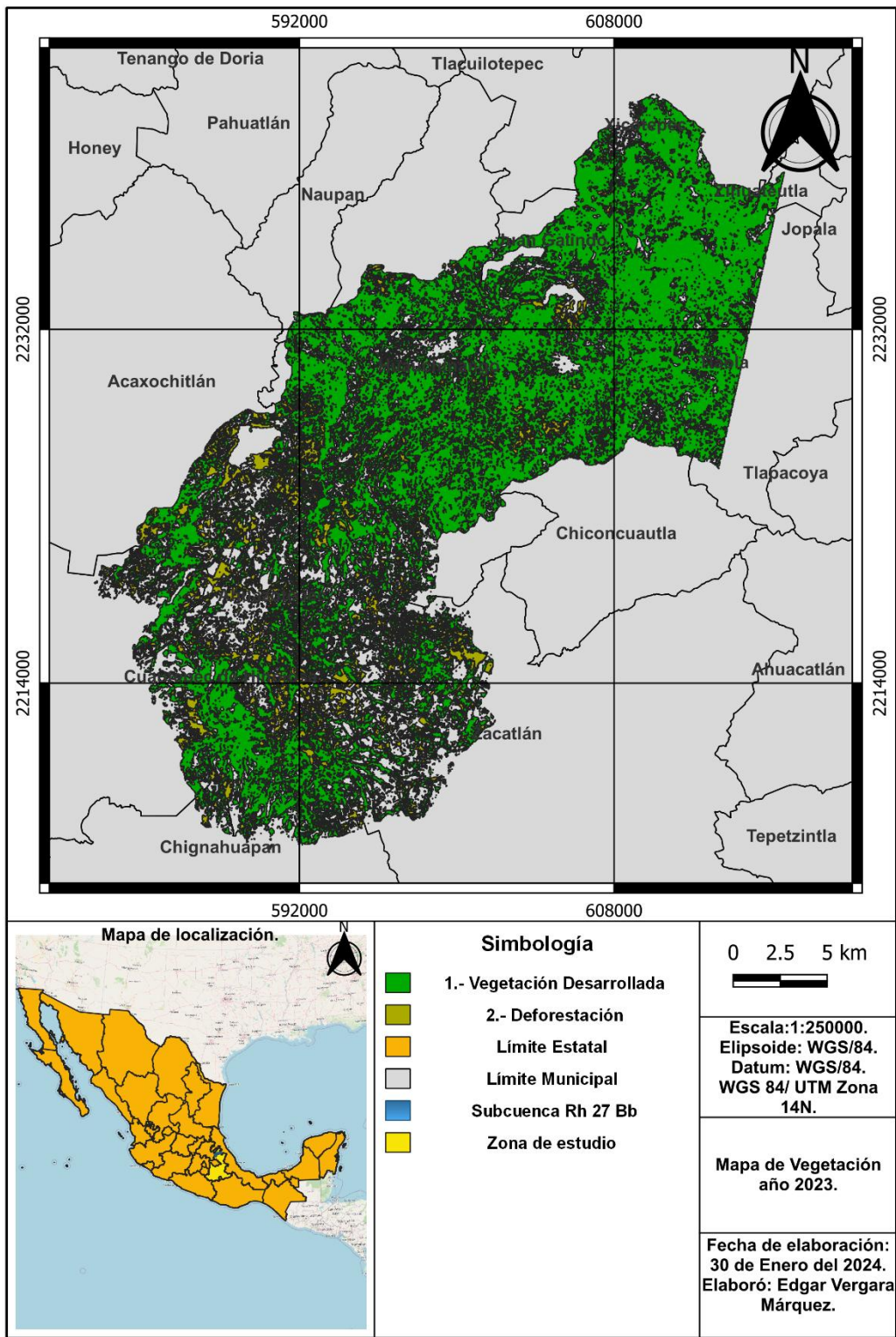


Ilustración 48, Mapa de Vegetación año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Al igual que los demás mapas temáticos nuestra zona de estudio parte de la red hidrográfica RH 27 Bb, en la Sierra Norte de Puebla, con una escala de 1: 250,00, dentro de esta clasificación de cobertura de vegetación para el año 2000 encontramos el bosque de pino con 124.31 hectáreas, bosque mesófilo 154.18 hectáreas, bosque de pino – encino 230.67 hectáreas y el bosque de encino 32.51 hectáreas.

Los municipios con mayor cobertura son Zapotitlán de Méndez, Zongozotla y Xochitlán. Esta región se caracteriza por formar parte de un sistema montañoso con grandes pendientes que favorecen el desarrollo de esta vegetación, desarrollando climas templados – húmedos y fríos – húmedos, con una producción de niebla en los bosques mesófilos.

1. Bosque Mesófilo de montaña

- Su mayor cobertura es en la región norte, en los municipios de Xochitlán Huitzilán y Cuatempan.
- Se logra percibir que esta vegetación puede ser vulnerable ante el cambio de uso de suelo.
- Este bosque es importante en esta zona ya que es fundamental para la captación de agua.

2. Bosque de pino

- Este tipo de vegetación tiene un alto valor para la industria forestal.
- Su presencia más alta es en los municipios de Zacatlán, Chignahuapan y Tetela.

3. Bosque de pino – encino

- Asociado a zonas de transición altitudinal, alta influencia del impacto que las actividades humanas ejercen en esta zona.

4. Bosque de encino

- Su presencia es muy poca dentro del desarrollo de vegetación en nuestra zona de estudio, con 32.51 hectáreas.

Para el año 2023 nuestra zona de estudio parte de la red hidrográfica RH 27 Bb, localizada en la Sierra Norte de Puebla, con una escala de 1: 250,00, dentro de esta clasificación de cobertura de vegetación para el año 2023 encontramos el bosque de pino con 94.40 hectáreas, bosque mesófilo 602.24 hectáreas, bosque de pino – encino 84.44 hectáreas y el bosque de encino 279.10 hectáreas.

1. Bosque Mesófilo de montaña

- Se muestra como la vegetación dominante desde el año 2000 al año 2023.
- Se extiende por hacia el norte y el noroeste de Zapotitlán de Méndez y Naupan con un valor de 602.244 hectáreas.
- El incremento con respecto al año 2000, podría deberse a proceso de recuperación natural y un manejo mayor de este tipo de bosque.

2. Bosque de pino

- La cobertura disminuyo a 94.40 hectáreas una perdida considerable.
- Su reducción podría indicar un cambio de uso de suelo importante en las zonas que se desarrolla.

3. Bosque de pino – encino

- Aparece en zonas con transición altitudinal.

4. Bosque de encino

- Su presencia es mayor a la del año 2000, esto se debe a procesos de expansión natural o a regeneración secundaria.

Mapa Clasificación de Vegetación año 2000.

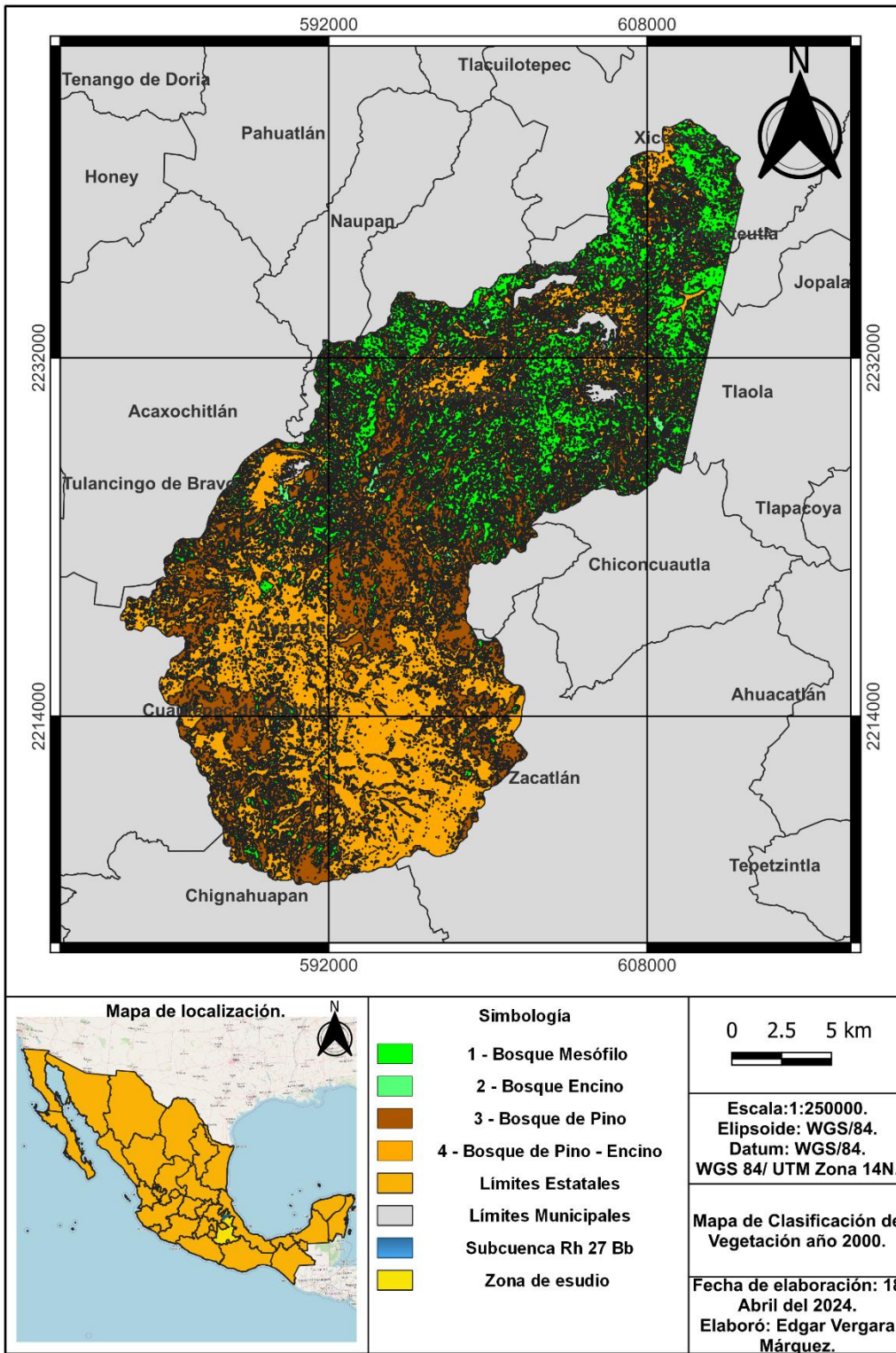


Ilustración 49, Mapa de Clasificación de Vegetación año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Mapa de Clasificación de Vegetación 2023.

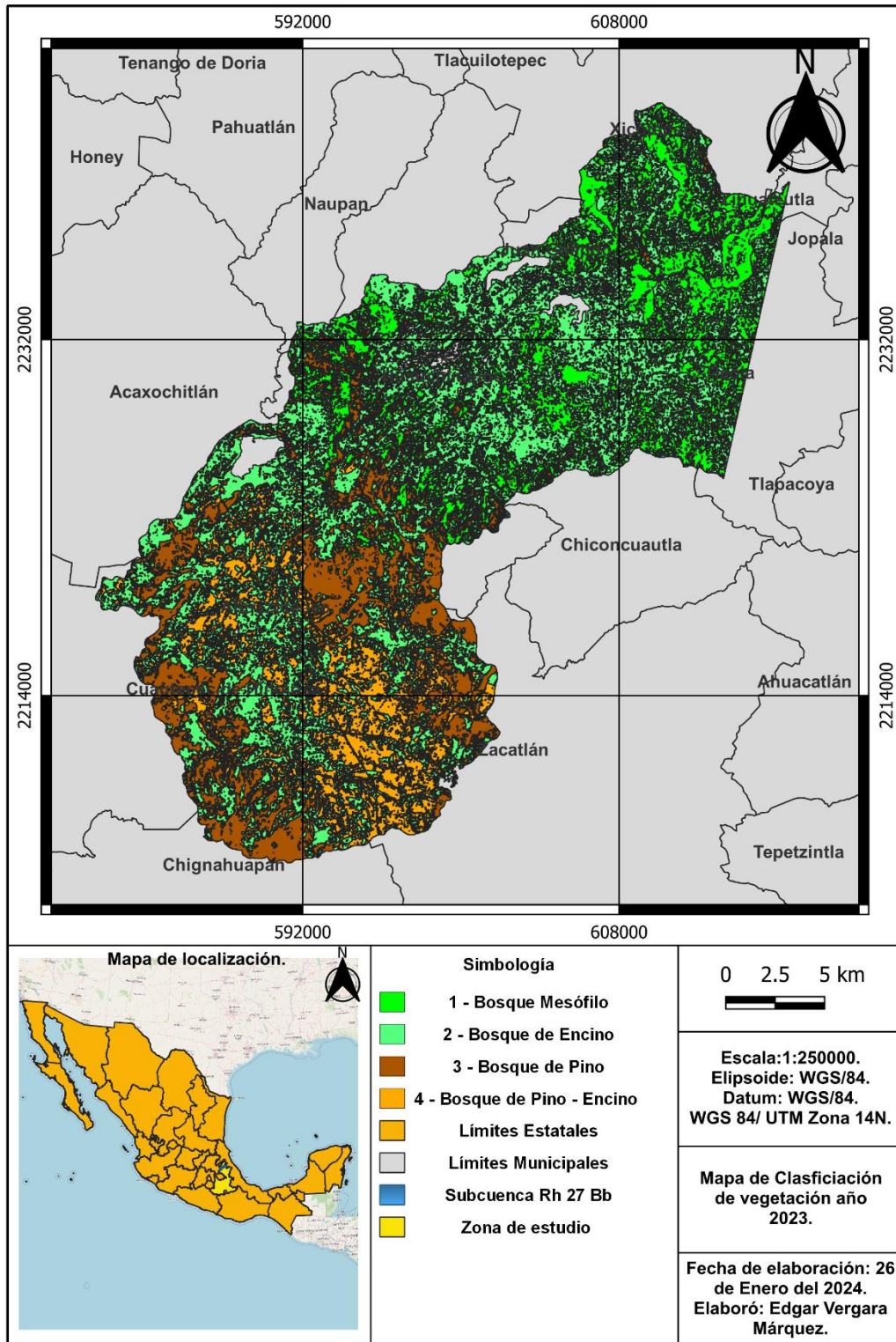


Ilustración 50, Mapa de Clasificación de Vegetación año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.4 Análisis Hidrológico de Puente de Rieles, Venta Grande, Puebla.

4.4.1 Región Hidrológica Rh – 27 Bb

La región hidrológica Rh 27 Tuxpan – Nautla es una de las más destacadas de dentro de la sierra norte de Puebla, diferentes cuerpos de agua transitan dentro de ella, tal es el ejemplo de la presea Necaxa.

Esta es cuenta con una importancia de servicios ambientales: las cuencas hidrológicas de los ríos Tuxpan Nautla y Necaxa, generan 3% de la energía eléctrica en México con las represas Los Reyes, El Tejocotal, Necaxa y Tenango. (Arriaga, y otros, 2000, pág. 414).

La Subcuenca Rh 27 Bb – Necaxa destaca su participación en 3 estados de la república mexicana, como lo es Puebla, Hidalgo y una parte de Veracruz. La tabla 7 nos muestra los parámetros físicos de esta Subcuenca.

Tabla 7, Tabla de Parámetros fisiográficos de la Subcuenca Rh 27 Bb - Necaxa, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Región hidrológica	Tuxpan – Nautla
Cuenca	R. Tecolutla
Clave cuenca	B
Subcuenca	R. Necaxa
Clave subcuenca	B
Área km ²	900.78 km ²
Perímetro	226.61 km
Longitud del cauce principal	102.647 km ²
Pendiente de la Subcuenca	2.8%

La ilustración 51 nos representa la Red hidrográfica de la Subcuenca RH 27 Bb, y los municipios por los que transita destacando entre ellos, Huauchinango, Juan Galindo, Xicotepec de Juárez y Tlaola, por mencionar algunos.

Mapa de la Red Hidrográfica - Subcuenca RH 27Bb.

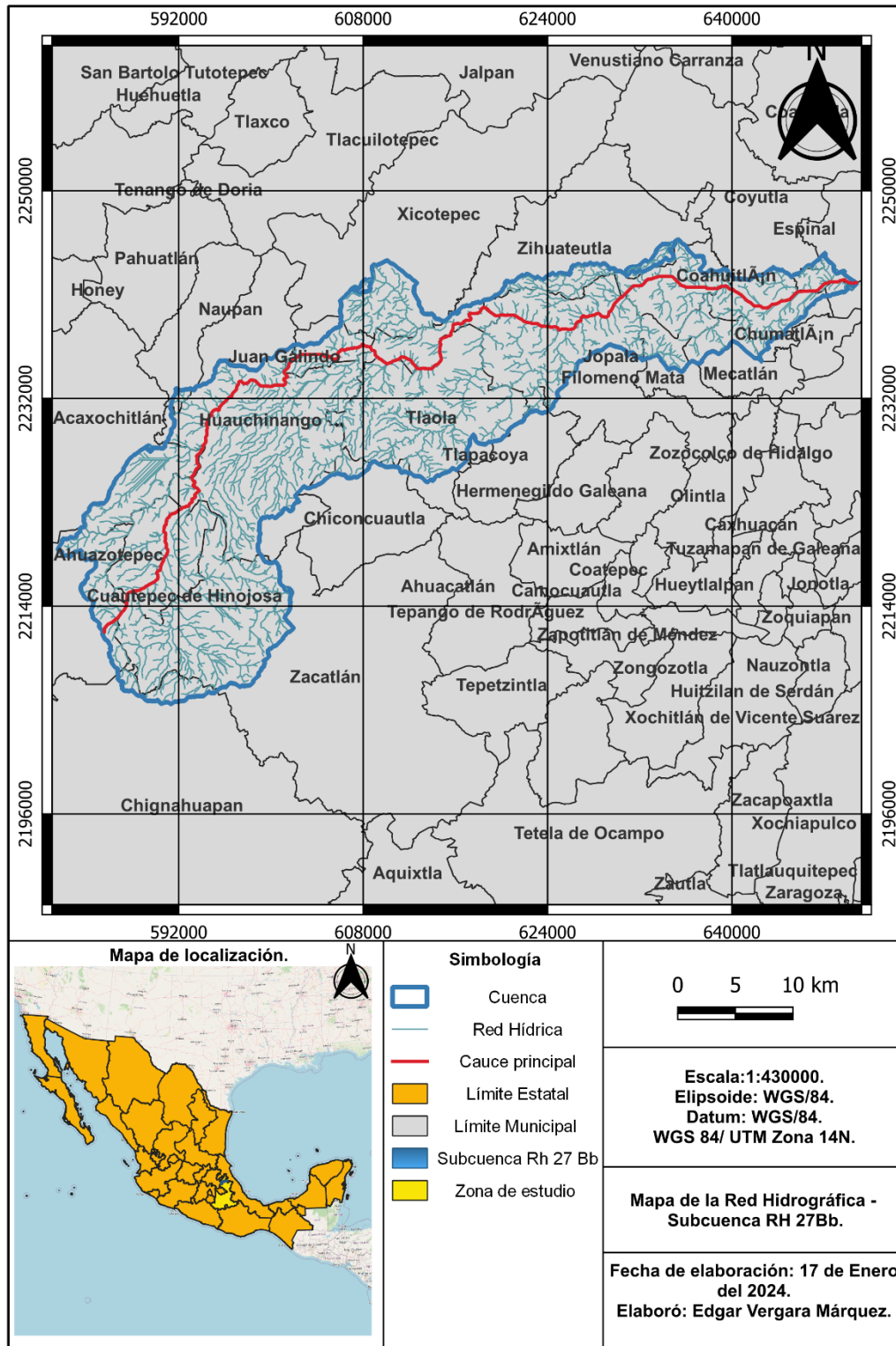


Ilustración 51, Mapa de la Red Hidrográfica – Subcuenca RH 27 Bb, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

4.4.2 Delimitación de la microcuenca puente de rieles en Venta Grande, Puebla

La microcuenca, Puente de Rieles se encuentra en la cabera municipal de Venta Grande, perteneciente al municipio de Huachinango, colindando con Acaxochitlán, tal como se muestra en la ilustración 52, en la tabla 8 se muestran algunos parámetros fisiográficos.

Tabla 8, Parámetros fisiográficos de la Microcuenca Puente de Rieles, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Región hidrológica	Tuxpan – Nautla
Microcuenca	Puente de Rieles
Área km ²	647.299 km ²
Perímetro	195.123 km
Cota máxima del cauce principal	2558 msnm
Cota mínima del cauce principal	291msnm
Longitud del cauce principal	65.593 km
Pendiente de la microcuenca	2.7%
Pendiente de la longitud del cauce principal	3.45%

Para el cálculo de la pendiente del cauce principal utilizaremos la siguiente formula;

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde;

S = Es la pendiente media del cauce principal.

H = Es el desnivel entre los extremos del tramo de cauce, expresada en metros.

L = Es la longitud horizontal del tramo del cauce, expresada en metros.

Sustituyendo; $S = \frac{2558-291}{65593 m} = 0.0345$ esto; $S = 3.45\%$

Mapa de la Microcuenca Puente de Rieles, Venta Grande, Puebla.

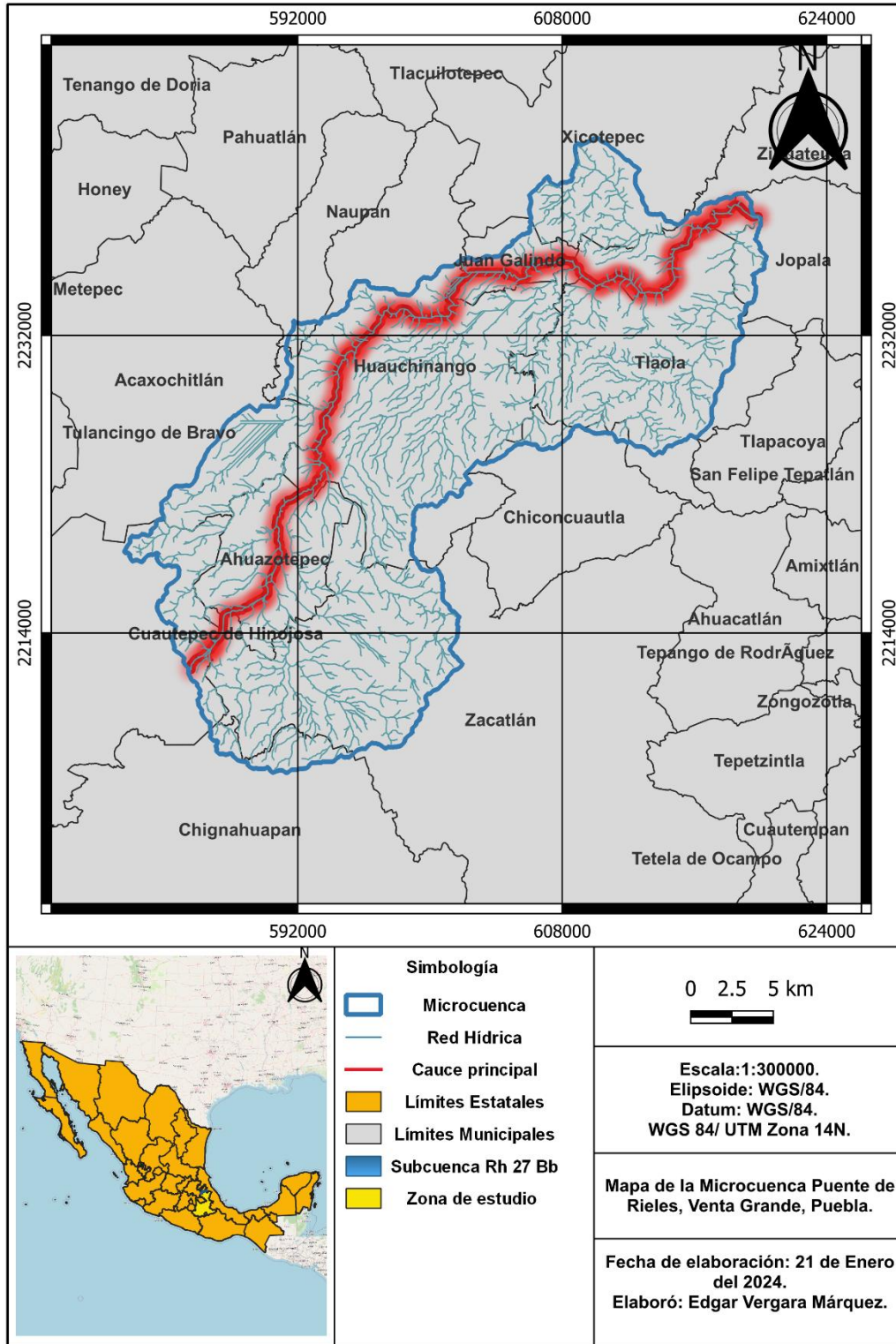


Ilustración 52, Mapa de la Microcuenca, Puente de Rieles, Venta Grande, Puebla, Fuente; Elaboración propia de la investigación.

4.4.3 Análisis de la precipitación pluvial de la zona de estudio

Para conocer y evaluar la lluvia en un área determinada, nos apoyamos de los instrumentos de medición denominados pluviómetros, dentro de una cuenca existen las estaciones hidrométricas, de ellas se extraen datos climatológicos, como temperatura, precipitación y otros más, para realizar un análisis de este tipo se necesitan identificar las principales estaciones hidrométricas. Para generar los polígonos de Thiessen, ocuparemos la función del software QGIS denominado diagrama de Voronoi y así trazar los polígonos dentro de nuestra microcuenca de estudio.

Una vez seleccionadas las estaciones hidrométricas a utilizar, aplicaremos el método de Polígonos de Thiessen. El cual consiste en unir las estaciones en formando triángulos en el cuerpo de la cuenca, posteriormente trazar las mediatrices de los triángulos formados, cada polígono será el área de una estación.

Los cálculos se realizan con la siguiente formula;

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{A_i}{A}$$

Dónde;

\bar{P} = Precipitación media

P_i = Precipitación observada en la estación i en mm

A_i = Área del polígono correspondiente a la estación i

A = Área total de la zona de estudio en km² o m²

n = Número de estaciones

Partiendo de este método realizaremos el cálculo de precipitación media anual en nuestra zona de estudio con diferentes años, partiendo por el año 2000, en la tabla 9 se muestran las estaciones climatológicas y datos adicionales, como lo son las coordenadas de cada estación, el área de cada triangulo generado en el software QGIS.

Tabla 9, Datos de precipitación media, año 2000, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Estación	Precipitación anual año 2000	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Área en Km ²
Jopala (21051)	3795.240	624362.89	2233729.64	40.220
Coamanala (21041)	931.700	602811.12	2221005.95	79.080
Laguna (21125)	759.100	588448.14	2218254.46	222.920
Xicotepec de Juárez (21127)	3604.000	608573.44	2242471.85	43.220
Nuevo Necaxa (21058)	1651.800	603995.12	2235185.73	22.960
Tenango de los Flores (21085)	2001.000	605752.85	2234381.24	67.860
Huachinango (21118)	2182.300	597582.18	2231521.87	95.480
San Lorenzo Tlaxipehuala (21076)	792.300	607377.59	2226205.69	74.850
Chignahuapan (21140)	514.300	601282.28	2194004.55	0.660

Aplicando la fórmula de precipitación media anual para el año 2000, obtenemos;

$$\bar{P} = \frac{993029.126mm}{647.305 k^2} = \mathbf{1534.230 \text{ mm}}$$

Tabla 10, Datos de precipitación media, año 2010, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Estación	Precipitación anual año 2010	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Área en Km ²
Xicotepec de Juárez (21127)	3182.980	2242471.85	507462.50	159.430
Huachinango (21118)	2429.050	597582.18	2231521.87	68.670
Usac – Huachinango (21220)	2267.430	598106.21	2231371.49	162.260
Ahuzotepec (21210)	1087.610	586385.76	2216194.73	255.860
Chignahuapan (21140)	1079.610	601282.28	2194004.55	1.190

Aplicando la fórmula de precipitación media anual del 2010, obtenemos;

$$\bar{P} = \frac{1321739.187mm}{647.305 k^2} = \mathbf{2041.911 mm}$$

Mapa de Polígonos de Thiessen año 2010.

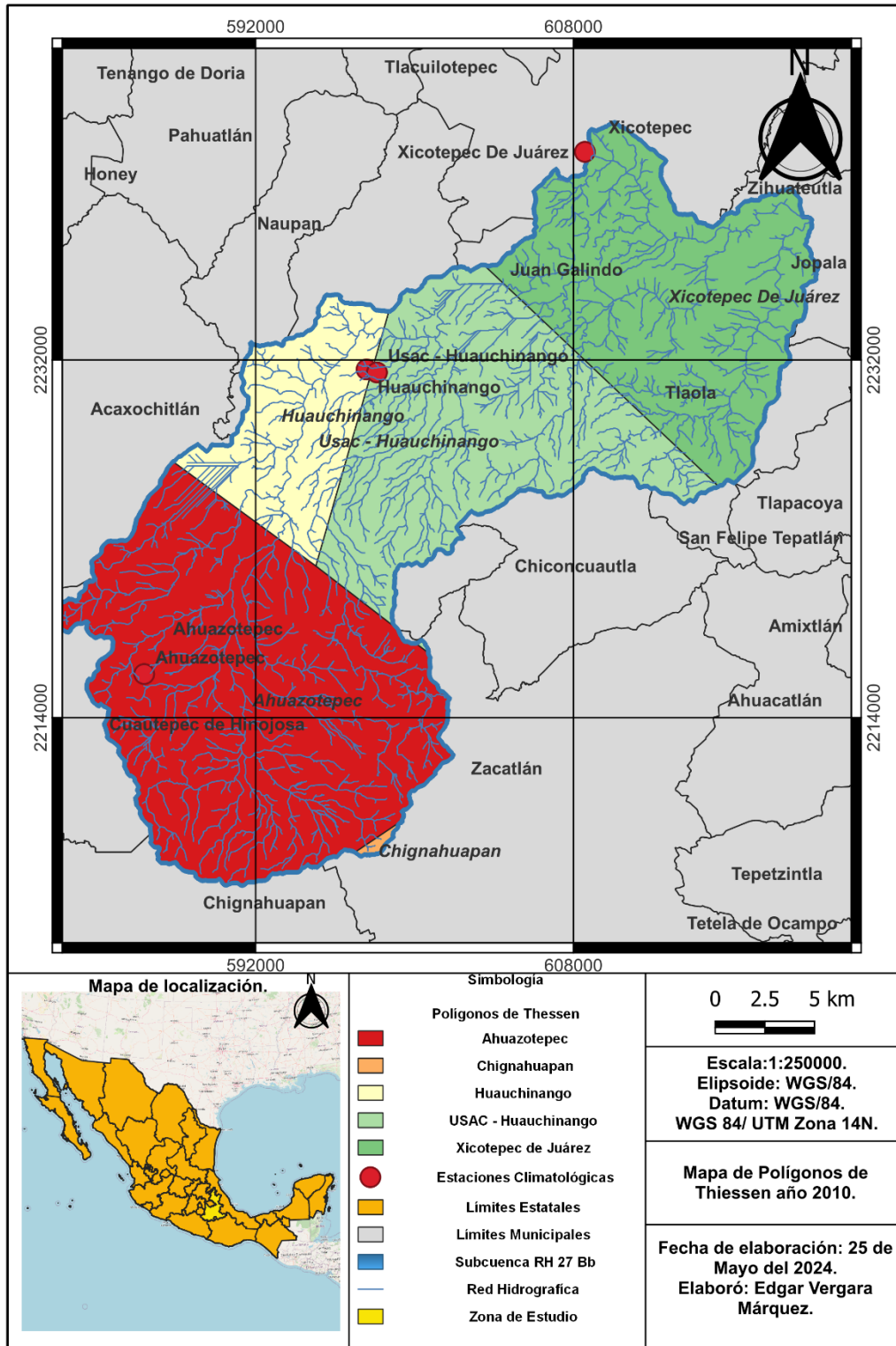


Ilustración 54, Mapa de Polígonos de Thiessen, año 2010, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 11, Datos de precipitación media, año 2020, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Estación	Precipitación media anual año 2020	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Área en Km ²
Xicotepec de Juárez (21127)	2996.360	608573.44	2242471.85	159.430
Huauchinango (21118)	1646.810	597582.18	2231521.87	30.918
Usac – Huauchinango (21220)	1642.800	598106.21	2231371.49	128.310
Venta Grande (21190)	1374.590	593989.65	2224952.37	144.780
Ahuazotepec (21210)	701.900	586385.76	2216194.73	182.720
Chignahuapan (21140)	797.690	601282.28	2194004.55	1.190

Aplicando la fórmula de precipitación media para diciembre del 2020, obtenemos;

$$\bar{P} = \frac{1067626.974 \text{ mm}}{647.305 \text{ k}^2} = \mathbf{1694.341 \text{ mm}}$$

Mapa de Polígonos de Thiessen año 2020.

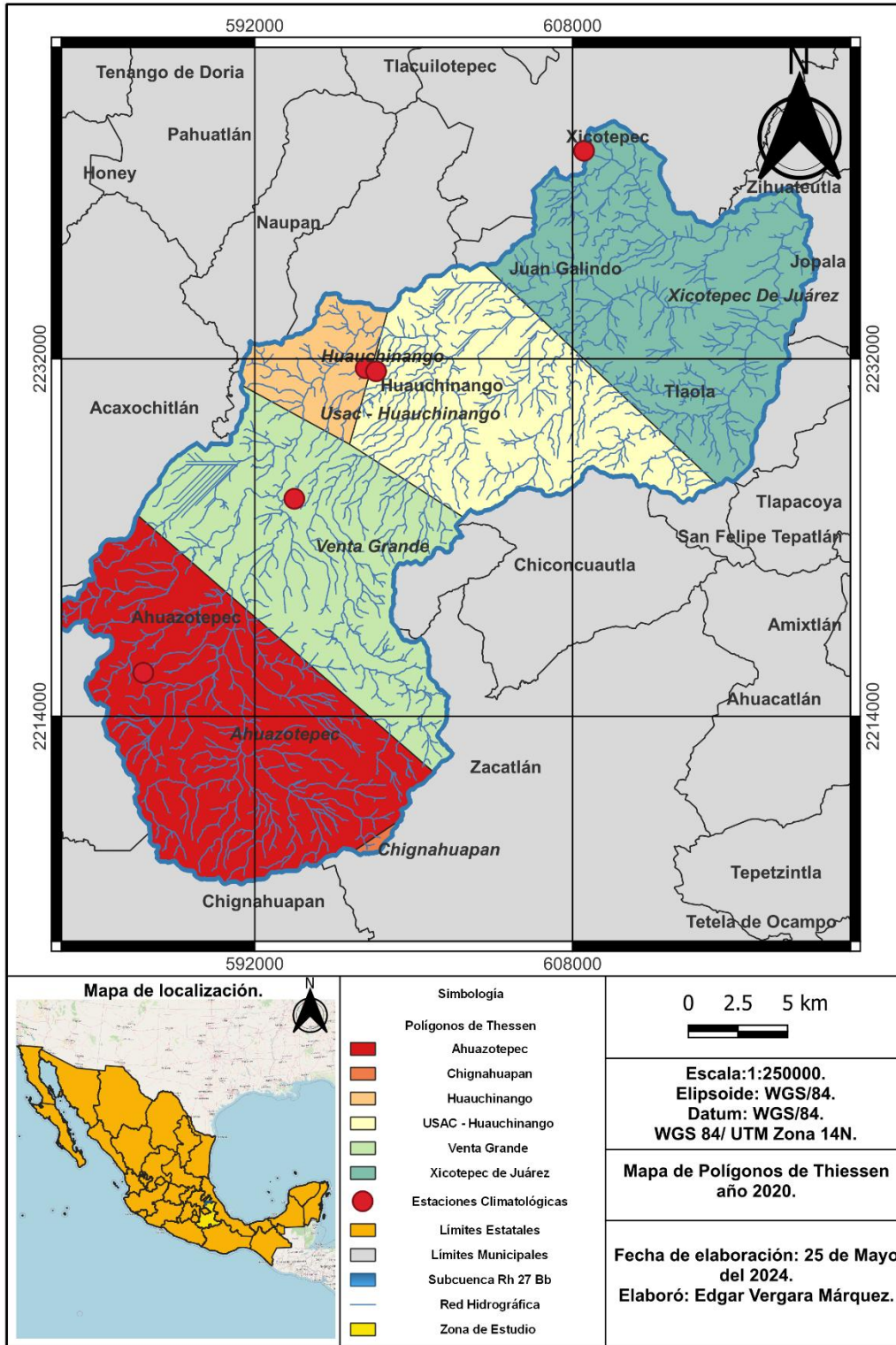


Ilustración 55, Mapa de Polígonos de Thiessen, año 2020, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Tabla 12, Datos de precipitación media, año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

Estación	Precipitación media anual año 2023	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Área en Km ²
Xicotepec de Juárez (21127)	1064.520	608573.44	2242471.85	255.860
Huauchinango (21118)	587.600	597582.18	2231521.87	68.670
Usac – Huauchinango (21220)	549.890	598106.21	2231371.49	162.260
Ahuazotepec (21210)	167.000	586385.76	2216194.73	255.860
Chignahuapan (21140)	225.690	601282.28	2194004.55	1.190

Aplicando la fórmula de precipitación media anual para el año 2023, obtenemos;

$$\bar{P} = \frac{444940.922mm}{647.305 k^2} = \mathbf{687.374mm}$$

Mapa de Polígonos de Thiessen año 2023.

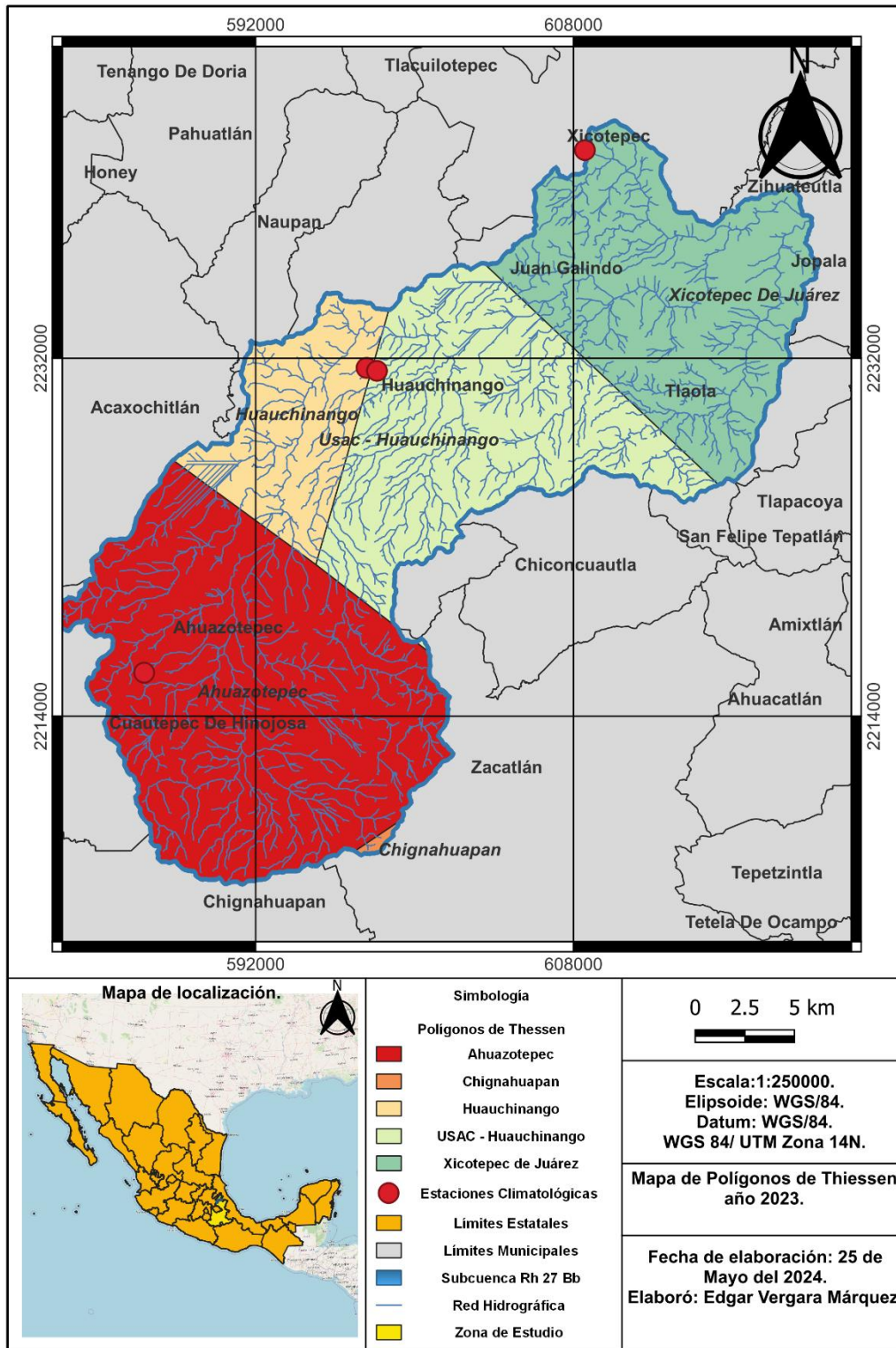


Ilustración 56, Mapa Polígonos de Thiessen, año 2023, Fuente; Elaboración propia de la investigación, 2024.

CONCLUSIONES

Gracias a esta investigación concluimos que un estudio hidrológico con Tecnologías de la Información Geográfica representa en el siglo XXI una herramienta fundamental para el desarrollo de la ingeniería Topográfica Geodésica moderna. Con ayuda de los SIG, la fotogrametría digital, Teledetección y con sensores remotos, se logró el análisis espacial de nuestra zona de estudio ya que mediante los mapas temáticos visualizamos y analizamos numerosos datos espaciales que dieron como producto final cartografía nueva.

La importancia de las TIG en este estudio demostró estrechamente la relación e intersección que tiene con la Ingeniería Topográfica y Geodésica, por la integración de los datos que se generan de otras ramas como lo es de los levantamientos topográficos, el uso de los satélites para obtener información geodésica y espacial, el uso y procesamiento de imágenes satelitales, entre estas y muchas aplicaciones más.

El integrar estos datos nos ha permitido crear mapas Temáticos de diferente orden, los cuales nos facilitaron identificar las principales problemáticas como lo son las zonas de riesgo ambiental, como deforestación, el crecimiento poblacional que fue en aumento considerable esta zona y en municipios circunvecinos como los es en Huauchinango, Necaxa y Xicotepec de Juárez.

El crecimiento poblacional, está estrechamente relacionado con la urbanización, ha generado una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales, particularmente ha reducido considerablemente la calidad del agua disponible, aumentando la demanda de este recurso esencial, definido y analizando en NDWI y los resultados obtenidos en la precipitación media anual.

El análisis espacial realizado ha permitido identificar y comprender los principales factores que afectan al medio ambiente en la zona de estudio. La deforestación ha

sido uno de los problemas más críticos, con áreas significativas de pérdidas debido a la expansión agrícola y el crecimiento urbano. Este fenómeno no solo contribuye a la pérdida de biodiversidad, sino que también altera los ciclos hidrológicos ya que dentro de nuestra zona detectamos 3 cuerpos de agua importantes la presa de Necaxa que es una de las principales productoras de energía hidroeléctrica, la presa de Tenango, Necaxa y Tecojotal distribuyen agua a municipios aledaños.

Los resultados muestran que hay zonas afectadas, presentan una fuerte relación entre la pérdida de cobertura vegetal y la reducción de las principales fuentes de agua, lo que implica que la falta de gestión adecuada de los recursos naturales podría agravar aún más estos problemas, en diversos reportes indican que en municipios como Xicotepec de Juárez y Huachinango los temas de escasez hidrológica han estado en constante aumento.

En conclusión, este estudio nos enmarca la relevancia, importancia y sobre todo el impacto que genera realizar estudios hidrológicos con ayuda de las Tecnologías de la información, así nos permite una comprensión más profunda en los fenómenos geoespaciales y su impacto en su desarrollo social – económico e hidrológico.

Es importante mencionar que la hipótesis de este estudio y los objetivos de cada capítulo lograron ejecutarse en base a las metodologías mencionadas en nuestro marco conceptual y teórico. Consolidando productos finales y resultados de este estudio hidrológico en Puente de Rieles, Venta Grande Puebla.

Incluyendo en esta investigación demostramos la aplicación desde el punto Hidrológico, como lo es la ubicación de nuestra región hidrológica hasta la delimitación de nuestra microcuenca, por mencionar un ejemplo.

Los polígonos de Thessen fueron útiles para poder identificar y determinar las áreas de influencias en términos de precipitación media anual, aplicándola para nuestros años 2000, 2010, 2020 y 2023, el cual determinamos que el año 2010 obtuvimos un

aumento en precipitación con un volumen de 2041.911 mientras que para el año 2023 presento una drástica disminución alcanzado valores de 687.374 mm, la tendencia general no es lineal, lo que indica una alta variable durante este periodo de análisis, estos datos son de suma importancia para la gestión del recurso hídrico, planeación agrícola y prevención de riesgos hidrometeorológicos.

Parte de realizar este análisis de suma importancia destacar esta aplicación Hidrológica, mediante las TIG, en el cual se muestra la delimitación de la microcuenca y actualización de información hidrológica de esta zona.

Recomendaciones:

1. Gracias a este estudio y a los resultados, se argumenta que, si es recomendable realizar análisis espaciales con el objetivo de prevenir y resolver diversas problemáticas de nuestro entorno, todo esto aplicado con Tecnologías de la Información Geográfica.
2. La ingeniería Topográfica y Geodésica está en constante evolución, derivado de ello es importante capacitar a los estudiantes y a los egresados, en relación a tecnología y software con TIG, con aplicación piloto de drones y todo lo relacionado a estos análisis geoespaciales para estar la vanguardia y sobre todo comprender de la importancia sobre la Geografía y Cartografía para poder generar nuevos datos y estudios.
3. En consecuencia, de este estudio recomendamos generar estrategias que combatan temas ambientales, porque es urgente implementar políticas integradas de manejo ambiental que aborden de manera simultánea la reforestación, el control del crecimiento urbano desmedido y la conservación de los recursos hídricos.
4. Integración de datos espaciales para el desarrollo de proyectos urbanos y rurales, garantizando una mejor planificación ante el crecimiento poblacional.
5. Generar nuevos enfoques coordinados con dependencias gubernamentales e internacionales para así mitigar y erradicar los impactos ambientales

garantizando un futuro más equilibrado para el medio ambiente en Venta Grande, Puebla y en diversas zonas del espacio geográfico.

6. Promover el cuidado del agua en todo el mundo, creando reglamentos y sanciones para aquellos individuos que tenga uso desmedido de nuestro líquido vital.
7. Promover la capacitación en temas hidrológicos y sustentables, dentro del Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica para así tener mayor versatilidad para desarrollar, ejecutar temas de investigación a nivel licenciatura.

Bibliografía

- Álvarez , B. M. (2 de Abril de 2024). *Club iagua* . Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/crisis-agua-mexico-desafio-central-elecciones-presidenciales-2024>
- Alvaro , M. L., & Carrera , M. J. (2019). *La Percepción Remota y su aporte programas de abandono de obra*. CIUDAD DE MÉXICO: Instituto Politecnico Nacional.
- Analytics, E. D. (15 de Mayo de 2024). *EOS DATA ANALYTICS*. Obtenido de EOS DATA ANALYTICS: <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>
- Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de Hidrología de superficie* . Ciudad de México: Mexicana .
- ArcGIS Desktop. (1 de Enero de 2021). *ArcMap*. Obtenido de ¿Qué es una geodatabase?: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm#:~:text=Es%20el%20almacenamiento%20f%C3%ADsico%20de,o%20un%20sistema%20de%20archivos.>
- ArcGIS Desktop. (1 de Enero de 2021). *ArcMap*. Obtenido de ¿Qué es un shapefile?: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>
- ArcGis Pro. (5 de Julio de 2023). *Sistemas de coordenadas, proyecciones de mapas y transformaciones esri*. Obtenido de Sistemas de coordenadas,

proyecciones de mapas y transformaciones esri:
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/properties/coordinate-systems-and-projections.htm>

- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Berné, J., Garrido, N., & Capilla, R. (2023). *GNSS Geodesia espacial y Geomática*. Valencia: La C G.
- Botia, C., Pardo, S., Rivas, M., Vargas, W., Rincón, M., & González, C. (2014). *Topografía aplicada para ingenieros*. Bogotá: UD.
- Breña, A. F., & Breña, J. A. (2007). Disponibilidad de agua en el futuro de México. En A. F. Breña, & J. A. Breña, *Disponibilidad de agua en el futuro de México* (pág. 64). DISTRITO FEDERAL: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA.
- Breña, A. F., & Jacobo, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. CIUDAD DE MÉXICO: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.
- Buzai, G. D. (2019). *Análisis espacial con sistemas de información geográfica*. Universidad Nacional de Quilmes.
- Canalejo, S. (2018). *Procesamiento de imágenes multiespectrales para el análisis del estado de vegetación*. España: Universidad Oberta de Catalunya.
- Chuvienco, E. (1990). *FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN ESPACIAL*. MADRID: RIALP, S.A.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA . (2011). *AGUA EN EL MUNDO*. MEXICO : CONAGUA .
- Comisión Nacional del Agua . (06 de Julio de 2017). *Gobierno de México* . Obtenido de Gobierno de México : <https://www.gob.mx/conagua/articulos/sabes-que-es-una-estacionhidrometrica?idiom=es#:~:text=Las%20estaciones%20hidrom%C3%A9tricas%20son%20reglas,las%20lluvias%20y%20los%20escurrimientos>.
- Comisión Nacional del Agua. (2018). *Estadísticas del Agua en México, edición 2018*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales .

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (15 de Marzo de 2013). *Curso de capacitación del sistema de información Biótica v 5.0*. Obtenido de Curso de capacitación del sistema de información Biótica v 5.0: http://www.conabio.gob.mx/biotica5/documents/cursoMarzo2013/Modulo_geografico_mar13.pdf

CONAGUA. (2018). Anexo H. Glosario. En C. N. Agua, *Estadísticas del agua en México 2018* (págs. 297-297). México: Secretaría de medio ambiente y recursos.

CONAGUA. (2018). Anexo H. Glosario. En C. N. Agua, *Estadísticas del Agua en México 2018* (págs. 294-294). México: Secretaría de medio ambiente y recursos.

CONAGUA. (22 de Diciembre de 2018). *ATLAS DEL AGUA EN MÉXICO*. MÉXICO: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de Comisión Nacional del Agua: <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

CONAGUA. (16 de JUNIO de 2021). *COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA*. Obtenido de COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA: CONAGUA.COM

CONAGUA. (01 de 03 de 2021). *CONAGUA*. Obtenido de WEN SITE: www.CONAGUA.org

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (4 de Julio de 2023). *Percepción Remota*. Obtenido de Percepción Remota: <https://www.centrogeo.org.mx/agendas-de-investigacion/percepcion-remota>

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. (24 de Noviembre de 2014). *Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida" 2005 - 2015*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

EOS Data Analytics. (28 de JULIO de 2023). *EOS Data Analytics*. Obtenido de EOS Data Analytics: <https://eos.com/es/blog/teledeteccion/#:~:text=La%20teledetecci%C3%B3n%20y%20los%20Sistemas,y%20orograf%C3%ADa%20de%20la%20Tierra.>

- Escribano . (2007). Una visión sostenibilista sobre la escasez del agua dulce en el mundo. En E. BEATRIZ, *Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo* (págs. 85-107). ESPAÑA: UNESCO.
- Esri. (17 de Julio de 2023). *Diccionario SIG de Esri Support*. Obtenido de Diccionario SIG de Esri Support: <https://support.esri.com/es-es/gis-dictionary/layer#:~:text=Conceptualmente%2C%20una%20capa%20es%20una,en%20un%20mapa%20de%20papel>.
- ESRI. (15 de Mayo de 2024). *ESRI*. Obtenido de Diccionario SIG de Esri Support: <https://support.esri.com/es-es/gis-dictionary/voronoi-diagram>
- FLAMENCO , A. (2023). LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y LOS RECURSOS NATURALES. En A. FLAMENCO, *LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y LOS RECURSOS NATURALES* (pág. 6).
- Flamenco, A. (2006). Los sistemas de información geográfica y los recursos naturales. *Sistemas de información geográfica*, 5-12.
- Franco , R. (2017). *COMPOSICIONES LANDSAT*. Bogotá: ArcGis.
- Gandhi, Ujaval Gandhi. (18 de Mayo de 2024). *QGIS Tutorial and Tips*. Obtenido de Calcular la Precipitación Media de Área (QGIS3): https://www.qgistutorials.com/es/docs/3/areal_mean_rainfall.html
- Gazaba, F. J. (2021). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica con QGIS. En F. J. Gabaza, *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica con QGIS* (pág. 1). Argentina: Autoeditado.
- González , A. E., Domínguez , L., & Castañeda , A. (2015). *Generación de insumos para el atlas nacional de riesgos* . Ciudad de México : CENAPRED.
- Greenpeace. (05 de Junio de 2024). *GREENPEACE*. Obtenido de GREENPEACE: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>
- Hernández. (28 de Abril de 2022). Río puente de Rieles disminuye 65% su capacidad; alerta a Xicotepec. *El Sol de Puebla*, págs. 1-1.
- Iberdrola. (30 de Mayo de 2024). *Iberdrola* . Obtenido de Iberdrola : <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/problemas-medioambientales-mas-importantes>

- INEGI. (2014). *“ESTADÍSTICAS A PROPÓSITO DEL... DÍA DE LOS SISTEMAS”*. AGUASCALIENTES: INEGI.
- INEGI, & INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA . (2014). *“ESTADÍSTICAS A PROPÓSITO DEL... DÍA DE LOS SISTEMAS”*. AGUASCALIENTES: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFÍA DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA . (AGOSTO de 2010). *INEGI*. Obtenido de WEB SITE : file:///C:/Users/Edgar%20Vergara/Downloads/Documento_Tecnico_Descriptivo_de_la_Red_Hidrografica_50K_2a_Edici%C2%BEEn_2.pdf
- Instituto Mexicano de Tecnología del agua . (06 de 27 de 2021). *Gobierno de México*. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología del agua : <https://www.gob.mx/imta>
- Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (2023). *AGUAS EN MÉXICO: ¿ESCASEZ O MALA GESTIÓN? - RESUMEN EJECUTIVO*. CIUDAD DE MÉXICO: IMCO.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía . (2015). *Guía metodológica de la Red Geodésica Horizontal*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía . (21 de JUNIO de 2023). *CUÉNTAME MÉXICO* . Obtenido de CUÉNTAME MÉXICO : <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/escala/default.aspx?tema=T>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía . (02 de Mayo de 2024). *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)*. Obtenido de Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM): <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/#:~:text=Objetivo,Geogr%C3%A1fica%20y%20del%20Medio%20Ambiente>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1986). *Guías para la Interpretación de Cartografía . Hidrología* . Aguascalientes : INEGI .
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2002). *Guía de proyecciones Cartográficas* . Aguascalientes : INEGI .
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2005). *Guía para la interpretación de Cartografía y Topografía*. Aguascalientes : INEGI .

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). DOCUMENTO TÉCNICO DESCRIPTIVO DE LA RED HIDROGRÁFICA ESCALA 1:50 000. En INEGI, *DOCUMENTO TÉCNICO DESCRIPTIVO DE LA RED HIDROGRÁFICA ESCALA 1:50 000* (pág. 106). Auascalientes: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (15 de Octubre de 2020). *INEGI*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (06 de JUNIO de 2022). *CUÉNTAME MÉXICO*. Obtenido de CUÉNTAME MÉXICO: <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/distribucion.aspx?tema=T>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (07 de 13 de 2023). *Cuéntame de México*. Obtenido de Cuéntame de México : <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/mapas/Default.aspx?tema=T>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (14 de mayo de 2024). ASPECTOS TÉCNICOS DE LAS IMÁGENES LANDSAT . En I. D. Ambiente, *ASPECTOS TÉCNICOS DE LAS IMÁGENES LANDSAT* (pág. 22). México : INEGI. Obtenido de INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente: https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (15 de 02 de 2025). *Cuéntame México*. Obtenido de Cuéntame México: https://beta.cuentame.inegi.org.mx/explora/geografia/usos_del_agua/
- José Luis Berné Valero, A. B. (2014). *GNSS. GPS: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES EN GEOMÁTICA*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- León, J. (2009). *SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN E INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. Valencia: ORSI ES.
- Llaven, Y. (21 de Agosto de 2019). La Jornada del Oriente. *Puebla, de las ciudades del mundo en alerta roja por estrés hídrico: Instituto de Recursos Mundiales*, págs. <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/alerta-roja-estres-hidrico/>.

Matellanes, Roberto. (19 de Agosto de 2019). *Composiciones RGB de imágenes satélite*. Obtenido de Geoinnova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental*. Colombia: Minambiente.

Montes de Oca, M. (1989). *Topografía*. México: Alfaomega.

Multiespectral. (28 de Mayo de 2024). *Droncontrol*. Obtenido de Droncontrol : <https://droncontrol.com/index.php/en/techno/multispectral>

NASA. (Junio de 4 de 2024). *NASA Ciencia Landsat 8*. Obtenido de NASA Ciencia Landsat: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*. España: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Organización de las Naciones Unidas. (2013). *Sistemas mundiales de navegación por satélite*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.

Organización de las Naciones Unidas. (24 de Noviembre de 2014). *Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida" 2005-2015*. Obtenido de Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida" 2005-2015: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

Organización de las Naciones Unidas. (30 de Mayo de 2024). *Naciones Unidas*. Obtenido de Naciones Unidas, Paz dignidad e igualdad en un planeta sano : <https://www.un.org/es/global-issues/water>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, L. C. (04 de MARZO de 2023). *UNESCO*. Obtenido de ABORDAR LA ESCASEZ Y LA CALIDAD DEL AGUA : <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad#:~:text=La%20escasez%20de%20agua%20puede,sea%20abordado%20de%20manera%20integrada>.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). Los derechos humanos y la crisis mundial del agua: contaminación del agua, escasez de agua y desastres. En I. C. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, *Los derechos humanos y la crisis*

- mundial del agua: contaminación del agua, escasez de agua y desastres* (pág. 4). Estados Unidos de América: ONU.
- Palma, A., & Barrera, N. (2012). *Geografía*. México: Veracruz Gobierno del Estado.
- Pérez, I. (17 de Abril de 2015). *Divulgación de la Ciencia UNAM*. Obtenido de Ciencia UNAM: https://ciencia.unam.mx/leer/450/Satelite_UNAM_con_beneficios_educativo_s#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20sat%C3%A9lite%2C%20c%C3%B3mo,una%20carga%20%C3%BAtil%20al%20espacio.
- Pinilla, C. (2020). *Teledetección: teoría y aplicaciones*. España : Universidad de Jaén.
- Poblanerías.com. (24 de Mayo de 2024). *Poblanerías.com*. Obtenido de Poblanerías.com: https://www.poblanerias.com/2024/05/capacidad-presas-de-puebla/#google_vignette
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA . (02 de 04 de 2023). *REAL ACADEMIA ESPAÑOLA*. Obtenido de DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: <https://dle.rae.es/ingenier%C3%ADa>
- Real Academia Española. (03 de 01 de 2024). *Diccionario de la lengua española (2001)*. Obtenido de REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: <https://www.rae.es/drae2001/espectro>
- Real Academia Española. (21 de JUNIO de 2024). *RAE*. Obtenido de RAE: <https://www.rae.es/drae2001/%C3%A1ngulo>
- Roman , Avid. (2014). *Análisis de imágenes Hiperespectrales*. Bolivia : Hal open science.
- Sánchez, Orlando. (17 de Diciembre de 2015). *MapinGis*. Obtenido de MapinGis: <https://mappinggis.com/2015/12/los-formatos-gis-raster-mas-populares/>
- Secretaría de Marina. (3 de Mayo de 2009). *Secretaría de Marina*. Obtenido de Percepción Remota: <https://2006-2012.semarn.gob.mx/informacion-sector/ciencia/ermexs/temas-de-interes/384-percepcion-remota.html>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *Los sistemas de información geográfica y la percepción remota*. México: Gaceta Ecológica.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (12 de Mayo de 2024). *Atlas digital Geográfico* . Obtenido de Atlas digital Geográfico : <https://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/atmosfera.html#:~:text=La%20precipitaci%C3%B3n%20media%20anual%20es,los%20doce%20meses%20del%20a%C3%B1o.>

UNESCO/ONU-Agua, R. i. (08 de ABRIL de 2023). *UNESCO*. Obtenido de UNESCO: <https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua#:~:text=Entre%202.000%20y%203.000%20millones,el%20acceso%20a%20la%20electricidad.>

Universidad Autónoma de México . (21 de JUNIO de 2023). *Proyecciones cartográficas*. Obtenido de Proyecciones cartográficas: http://uapas2.bunam.unam.mx/ciencias/proyecciones_cartograficas/

Universidad Nacional Autónoma de México . (2011). Sistema de Coordenadas Cartesianas. En UNAM, *SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS* (pág. 1). Ciudad de México: UNAM.

Universidad Nacional Autónoma de México. (04 de Julio de 2023). *Las fotografías aéreas*. Obtenido de Las fotografías aéreas: http://uapas2.bunam.unam.mx/matematicas/las_fotografias_aereas/

Universidad Nacional Autónoma de México. (4 de Julio de 2023). *Puntos, líneas y círculos de la Tierra*. Obtenido de Puntos, líneas y círculos de la Tierra: http://uapas2.bunam.unam.mx/ciencias/puntos_lineas_y_circulos_de_la_tierra/

Usa gov en español. (4 de Junio de 2024). *Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)*. Obtenido de Usa gov en español: <https://www.usa.gov/es/agencias/servicio-geologico-de-estados-unidos#:~:text=El%20Servicio%20Geol%C3%B3gico%20de%20Estados,carb%C3%B3n%20el%20petr%C3%B3leo%20y%20el>

Wolf , P., & Ghilani, C. (2016). *Topografía* . México : Alfaomega .

Zambrano. (22 de Marzo de 2023). Consumo de agua en Puebla. *Milenio*, págs.
<https://www.milenio.com/politica/comunidad/escasez-agua-puebla-reto-bajar-mitad-consumo-personal>.