

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y
Naturales

Departamento de
Geología

Evaluación hidrogeológica de la
Subcuenca Río Mátape-Presa Punta
de Agua, Sonora

TESIS

Que para obtener el Grado de:
Geólogo

Departamento de Geología



UNISON

PRESENTA:
CARLOS IBAÑEZ DEL RIVERO

Hermosillo, Sonora, Junio de 2015

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Impresión de tesis apoyada con recursos PROFOCIE-2014.

Agradecimientos

Doy gracias a mis padres María del Rosario y Jesús Herbey por todo el apoyo incondicional que me han dado, por los valores que me inculcaron y por brindarme la oportunidad de tener una educación digna.

A mis hermanas Diana y Julia por ser parte importante de mi vida, por darme alegrías y a veces enojos.

Le agradezco a Lilián, a sus padres y hermanos por hacerme sentir que tengo otra familia.

Le doy gracias a mi tía Teutila del Rivero por todo el apoyo que me ha dado y a mi primo Alejandro por ser también un gran amigo.

A la Universidad de Sonora por ser mi segunda casa y por la formación académica que me proporcionó.

Al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por el apoyo económico brindado a través de la Lic. Norah Armenta.

A la M.I. Eva Lourdes Vega Granillo por permitirme ser su alumno de tesis y enviarme sugerencias y correcciones.

A los profesores M.C. Mariano Morales y Dr. José Castillo por darme la oportunidad de participar en el proyecto de investigación que generó esta tesis.

Le agradezco a mis compañeros Guadalupe Ramírez y Uzziel Rivera por haberme acompañado a campo para la realización de una parte importante del trabajo.

Al personal del Ayuntamiento de Villa Pesqueira, en especial a Miriam Bracamonte, que me brindó de manera muy amable su ayuda en la ubicación de pozos en el área del Acuífero Río Mátape.

Al Geol. Ismael Soto de CONAGUA que me proporcionó información esencial para el trabajo.

Y a cada persona que me ayudó a realizar y concluir esta tesis.

ÍNDICE DE TESIS

Capítulo I, Generalidades

1.1. Localización del área de estudio.....	1
1.1.1. Poblaciones.....	2
1.1.2. Caminos.....	2-3
1.2. Actividades económicas.....	4
1.2.1. Agricultura.....	5
1.2.2. Ganadería.....	5
1.2.3. Minería.....	6
1.3. Geología.....	6
1.3.1. Precámbrico.....	6
1.3.2. Paleozoico.....	7
1.3.3. Mesozoico.....	8
1.3.4. Cenozoico.....	8-10
1.4. Geofísica.....	11

Capítulo II, Características Fisiográficas

2.1. Regiones Hidrológicas de México.....	12
2.2. Regiones Hidrológicas de Sonora.....	13
2.3. Obras hidráulicas del área de estudio.....	14-16
2.3.1. Drenaje de la cuenca.....	16-17
2.3.2. Tipo de drenaje.....	17
2.4. Características fisiográficas.....	18
2.4.1. Área de la cuenca.....	18-19
2.4.2. Orden de la cuenca y relación de bifurcación.....	19-23
2.4.3. Densidad de corriente.....	23-24
2.4.4. Densidad de drenaje.....	24-26

Capítulo III, Hidrología Superficial

3.1. Estaciones climatológicas.....	27-39
3.2. Climogramas del área de estudio.....	40-46
3.3. Cálculo de precipitación media anual por el método de Polígonos de Thiessen.....	47-50
3.4. Cálculo de evapotranspiración media anual por el Método de Turc.....	50-52
3.5. Cálculo de escurrimiento medio anual con el método de Coeficiente de escurrimiento especificado en la NOM-011-CNA-2000.....	52-59
Cálculo de infiltración media anual (ecuación del ciclo hidrológico).....	60-61

Capítulo IV, Hidrogeología

4.1. Provincia hidrogeológica.....	62-63
4.2. Acuíferos de la Cuenca del Río Mátape.....	63
4.3. Descripción del acuífero.....	64
4.3.1. Unidades geohidrológicas del Acuífero Río Mátape.....	64-65
4.3.2. Paros de bombeo.....	65-66
4.4. Parámetros geohidrológicos.....	66-67
4.5. Censo de pozos.....	67-77
4.6. Elevación del nivel estático.....	77-79
4.7. Red de flujo y movimiento del agua subterránea.....	79-81
4.8. Balance hidrológico de aguas subterráneas.....	81-83
4.9. Entradas.....	83
4.9.1. Gasto horizontal de entrada de agua subterránea (zona de recarga).....	83-86
4.9.2. Recarga vertical.....	86
4.10. Salidas.....	87
4.10.1. Gasto horizontal de salida de agua subterránea (zona de descarga).....	87
4.10.2. Bombeo de pozos para el uso de aguas subterráneas.....	87
4.11. Solución a la ecuación de balance y disponibilidad.....	88-89
Tablas Anexadas.....	90-94

Capítulo V: Hidrogeoquímica

5.1. Estudios previos de calidad del agua.....	95-99
5.2. Calidad del agua para el presente estudio.....	99
5.2.1. Metodología empleada.....	99-100
5.2.2. Análisis de pH y conductividad eléctrica.....	100-102

Capítulo VI, Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones.....	101-104
6.2. Recomendaciones.....	105-106

Capítulo VII, Bibliografía.....	107-109
--	----------------

Capítulo I, Generalidades

1.1. Localización del área de estudio

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 Regiones Hidrológicas de las cuales el Estado de Sonora comprende 5 aunque no todas en su totalidad (Figura 1). Las Regiones Hidrológicas (RH) que quedan totalmente comprendidas en el Estado de Sonora son la Región Hidrológica 9 Sonora Sur (RH9) y la 8 Sonora Norte (RH8); la Región Hidrológica 7 Río Colorado (RH7), la 10 Sinaloa (RH10) y la 34 (RH34) son comprendidas parcialmente por el Estado de Sonora.

La Cuenca del Río Mátape, se encuentra en la porción centro-occidental del Estado de Sonora y dentro de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur, ocupa una superficie de 5.03% del Estado, su precipitación media anual es de 342 mm con un coeficiente de escurrimiento de 3.9% (INEGI, 2000), esta cuenca tiene forma alargada con tendencia ligeramente al noreste.

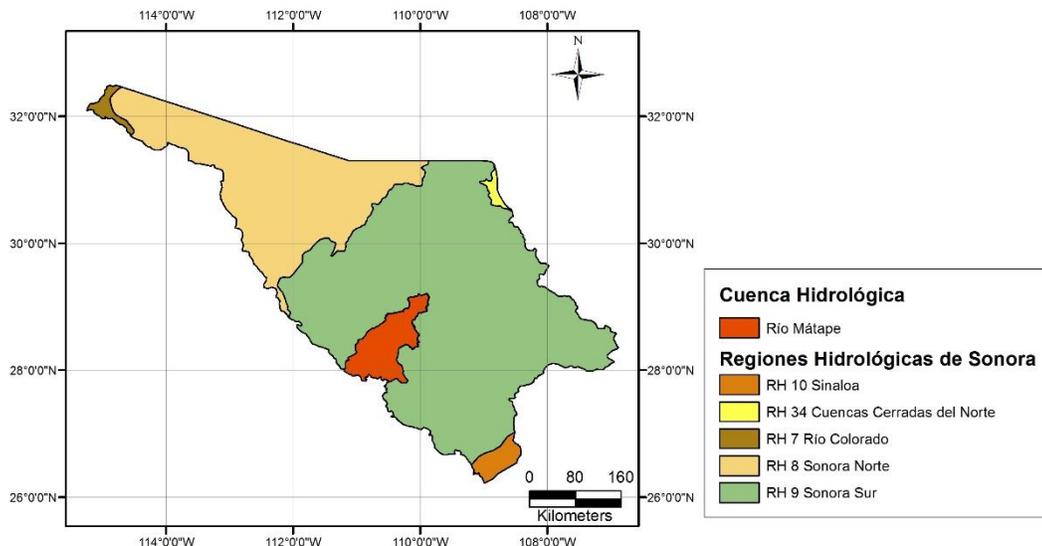
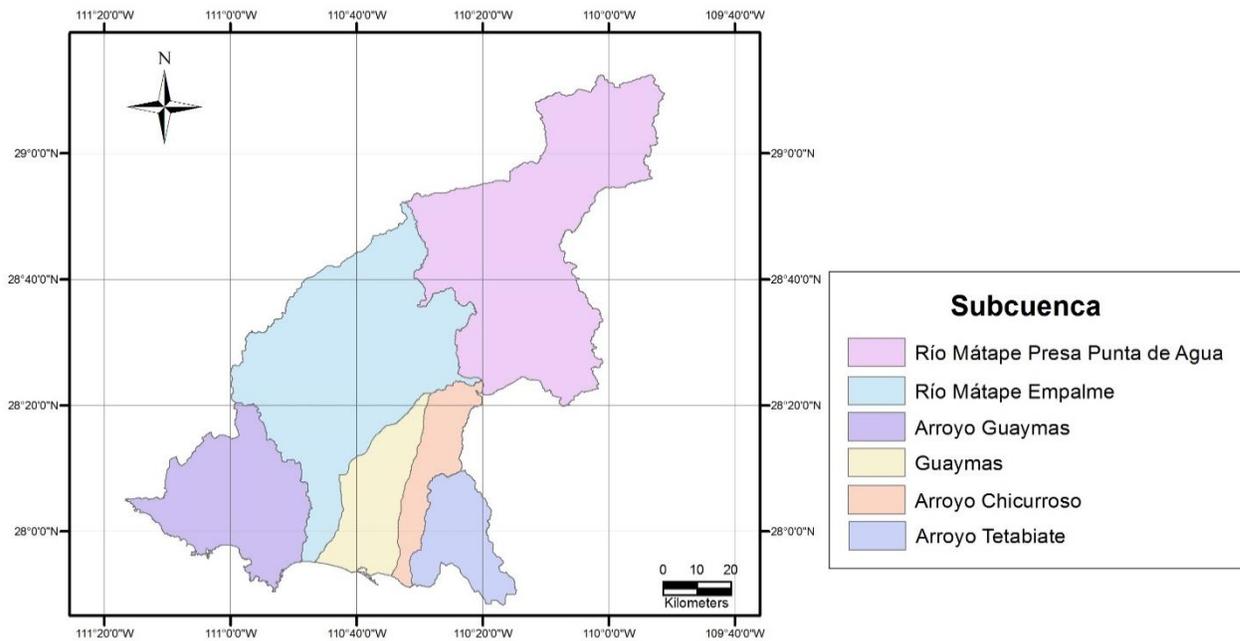


Figura 1. Regiones hidrológicas de Sonora y localización de la Cuenca del Río Mátape.

El área de estudio toma el nombre de Subcuenca Río Mátape - Presa Punta de Agua. Es una subcuenca de la Cuenca del Río Mátape y se encuentra en la parte septentrional de dicha cuenca (Figura 2). El área de la subcuenca de estudio es de

3,114 km², su límite norte está en la Sierra de Mazatán al norte de Mátape (Villa Pesqueira) en altitudes de los 1,200 msnm; su corriente principal tiene una longitud



de 160 km hasta llegar a su desembocadura en la presa Punta de Agua en el municipio de Guaymas (SEMARNAT, 2011).

Figura 2. Subcuencas de la Cuenca del Río Mátape y área de estudio Río Mátape Presa Punta de Agua.

1.1.1. Poblaciones

Las poblaciones que se encuentran dentro de la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua son, los municipios de Villa Pesqueira (Mátape), Nácori Grande, Mazatán, y parcialmente el municipio de La Colorada (San José de Pimas) y el municipio de Guaymas (Punta de Agua y San Marcial).

El nacimiento de la cuenca ocurre aguas arriba del poblado de Mátape (Villa Pesqueira) pasando por Mazatán, Cobachi, San José de Pimas y San Marcial hasta la Presa Punta de Agua (Figura 3). De aquí en adelante toma el nombre de San Marcial ramificándose varias veces hacia el Valle de Guaymas (Vega, 1992).

1.1.2. Caminos

A la parte norte del área se accede por la carretera Hermosillo-Mazatán, a su parte central se accede por la carretera número 16 Hermosillo-La Colorada-Tecoripa; y se llega a su porción sur por la carretera federal número 15 México-Nogales.

La carretera número 15 México-Nogales recorre a partir del Distrito Federal zonas de los estados de México, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora. En este último comunica las porciones suroccidental y centro norte, de relieve predominantemente llano, donde pasa por Navojoa, Ciudad Obregón, Empalme, Guaymas, Hermosillo, Benjamín Hill, Santa Ana, Magdalena de Kino, Imuris y Nogales.

La carretera número 16, atraviesa perpendicularmente a la carretera número 15, la cual recorre desde Chihuahua en la Sierra Madre Occidental a Bahía de Kino, por Yécora, San Nicolás, San Javier, La Colorada (San José de Pimas) y Hermosillo (INEGI, 2000).

La carretera estatal número 20, recorre el municipio de Mazatán hasta llegar a Arivechi y Sahuaripa (Figura 3).

Diversos caminos estatales complementan el acceso a las poblaciones como Mátape (Villa Pesqueira) a la cual se llega por un camino que se toma de Mazatán hacia el norte pasando antes por Nácori Grande (Carretera 71). Un camino de terracería se toma a la salida sur de Mazatán y atraviesa por Cobachi y el ejido La Galera hasta entroncar con la carretera número 16.

El acceso al poblado de Punta de Agua (municipio de Guaymas) se accede por un camino de terracería que se toma desde un entronque hacia el sur con la carretera 20.

Las rutas que constituyen la infraestructura ferroviaria de la Cuenca del Río Mátape es la del Pacífico, que pasa por la parte occidental de la cuenca y que recorre de Guadalajara, Jalisco a Nogales, Sonora. Ésta se extiende en el tramo de Hermosillo-Guaymas paralelamente a la carretera federal número 15, pasando por las poblaciones de Empalme, Maytorena y Ortiz. Además recorre otras poblaciones

del estado de Sonora, como Navojoa, Ciudad Obregón, al sur del Estado y Benjamín Hill, Magdalena de Kino y Nogales, al norte del Estado.

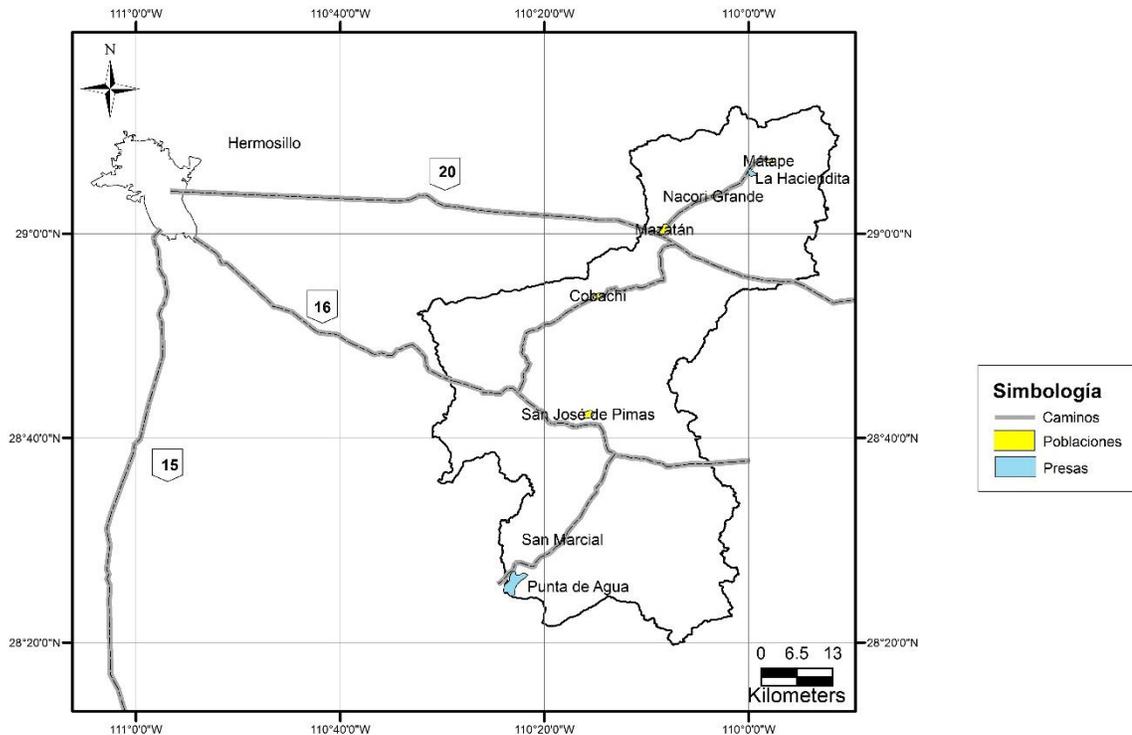


Figura 3. Poblaciones y localización del área de estudio.

1.2. *Actividades económicas*

Dentro de la Cuenca del Río Mátape, pueden distinguirse zonas rurales donde actualmente existe una nula o incipiente actividad agrícola, éstas, más que nada, están orientadas a la producción de forrajes, cultivos con baja rentabilidad, y en menor medida a granos básicos para el consumo local y regional. Un ejemplo de lo anterior es el municipio de Mazatán, donde 80 por ciento de los cultivos están constituidos por forrajes y el resto por granos básicos, esto manifiesta la importancia de la actividad pecuaria de la región, particularmente de ganado bovino (Flores, 2008).

Las actividades económicas en las cuales se basa el potencial uso del agua se mencionan a continuación.

1.2.1. Agricultura

En el municipio de Mazatán esta actividad se realiza en una superficie de 1,912 hectáreas, el 12 por ciento son de riego y el 88 por ciento son de temporal. Se utilizan en la siembra de sorgo, maíz, trigo y forrajes que sirven de apoyo a la ganadería. La superficie cultivable está supeditada a los regímenes de lluvia, debido a la poca disponibilidad de agua para riego y la escasa infraestructura hidráulica.

En Villa Pesqueira (Mátape) la superficie agrícola es de 6,394 hectáreas, de las cuales 3,116 son de temporal, 2,462 de riego y 816 mixtas. De los cultivos agrícolas destacan el frijol, trigo, maíz, forrajes, algodón, cártamo, garbanzo, hortalizas, ajonjolí, linaza, alfalfa, soya y papa. La presa La Haciendita cuenta con una capacidad de almacenamiento de 4 Mm³ (millones de metros cúbicos). El sistema de riego utilizado es de gravedad auxiliado por pozos a cielo abierto.

1.2.2. Ganadería

En Mazatán la ganadería cuenta con 17,132 cabezas de ganado bovino, 22 porcinos, 546 caprinos y 1,419 colmenas. Se considera la actividad principal del municipio, se realizan cruzamientos de razas puras con ganado criollo criándose ganado bovino de leche y carne, así como ganado caprino. La práctica de la ganadería se realiza en una superficie de 60,000 hectáreas de agostadero, con una población animal de 14,388 cabezas de ganado bovino beneficiando a 221 productores.

En Mátape o Villa Pesqueira es una actividad muy importante debido al número de familias que dependen de ella, se cría ganado bovino para carne y leche, porcinos, caprinos, aves y colmenas. Como fuente de abastecimiento de agua para la explotación de esta actividad se cuenta con 116 repesos, 286 pozos de abrevadero y 42 aguajes. La actividad que ha cobrado mayor importancia en los últimos años es la producción de queso regional, la producción diaria es de 1,750 kg y beneficia a 270 productores. Se requiere promover acciones para mejorar y ampliar la infraestructura existente. Impulsar programas de capacitación de

productores que permita la elaboración de derivados de la leche (SEMARNAT, 2008). En la actualidad se contemplan 18,477 cabezas de ganado bovino, 65 porcinos, 12 ovinos, 278 caprinos y 1,533 equinos.

1.2.3. Minería

La región minera de La Colorada se localiza en la porción central del Estado de Sonora, dentro del municipio de La Colorada. Fisiográficamente se ubica en la parte más oriental de la subprovincia fisiográfica del Desierto de Sonora.

El distrito minero de Mazatán abarca los poblados de Mátape y La Colorada. Personal del Consejo de Recursos Minerales (1992) descubre los depósitos estratiformes de barita de Villa Pesqueira los cuales son evaluados durante 1978, consolidando su importancia económica. La explotación de los depósitos de barita de Villa Pesqueira los viene realizando desde 1980 hasta la fecha, la empresa Barita de Sonora, S.A. de C.V. además en este distrito se explotan yacimientos no metálicos como wollastonita, talco, vermiculita y barita (Consejo de Recursos Minerales, 1992). En Villa Pesqueira esta actividad es realizada gracias a la instalación de la empresa Barita de Sonora, la cual produce 500 toneladas diarias de sulfato de bario.

1.3. Geología

La geología del área está compuesta por rocas que varían en edad del Paleozoico al Cenozoico (Figura 4). En la siguiente descripción se omiten afloramientos que por la escala de trabajo no serían apreciables debido al detalle que éstos requieren.

1.3.1. Precámbrico

Granito-Gneiss

Esta unidad está constituida por rocas ígneo-metamórficas, las cuales consisten de gneises cuarzo feldespático de biotita y un granito porfídico con facies de augen gneis milonítico, que aflora en la Sierra de Mazatán, encima del granito batolítico. Comúnmente este granito está metamorfoseado formando gneis milonítico y augen gneis milonítico, presenta bandas milimétricas claras de cuarzo

y bandas rosadas a oscuras de feldespatos y biotita. Radelli et al. (1987) consideran este granito como el basamento hidrogeológico.

1.3.2. Paleozoico

Lutita, Caliza, Cámbrico

Radelli et al. (1987) describen una secuencia predominantemente carbonatada del Precámbrico–Paleozoico en calizas fuertemente plegadas y areniscas calcáreas alrededor de Mátape y limolitas cámbricas plegadas en la Sierra Agua Verde al este de Mátape.

Al norte-noreste de la cuenca afloran rocas de edad cámbrica a ordovícica, éstas se localizan en la región de Cobachi-Mazatán y la Sierra de Martínez, consisten en calizas de edad cámbrica, en capas gruesas, plegadas en el represo La Haciendita.

Caliza, Arenisca, Ordovícico – Pérmico

En el cerro de Cobachi fueron descritos afloramientos de calizas negras y calizas coralinas del Ordovícico; calizas grises, con lentes de pedernal negro del Misisípico - Pensilvánico en los cerros Martínez y Cobachi; y, en estos mismos lugares, afloran rocas del Pérmico, consistentes de calizas grises, arrecifes y biohermas con numerosos restos de organismos silicificados (braquiópodos, crinoides, gasterópodos, fusulínidos y corales), areniscas y margas de lutitas negras y calizas (Menicucci 1975 citado en Vega, 1992).

Peiffer-Rangin et al. (1980, citado en Almazán et al., 2006) en el área La Casita-Los Chinos, reportaron una litología que consiste en pedernal negro y rojo oscuro, con arglita con radiolarios y caliza arrecifal con corales mal conservados. En el cerro Cobachi señalan una secuencia con fósiles braquiópodos y graptolíticos.

Noll (1981, citado en Almazán et al., 2006) en la misma área del cerro Cobachi, nombró como Grupo Guayacán a una secuencia ordovícica de 250 m de

espesor constituida de arenisca-lutita carbonosa con graptolitos y bandas de pedernal.

Montes y Campillo (1983), establecen que la secuencia antes mencionada tiene un espesor de 290 m y contiene graptolitos; *Dicranograptus*, *Orthograptus* y *Climanograptus sp* del Ordovícico Tardío.

1.3.3. Mesozoico

Arenisca, Lutita, Triásico Superior

En el área se tienen rocas sedimentarias mesozoicas que afloran en la parte central de la cuenca, al este de San Marcial y en el Cerro Picacho Colorado, y que corresponden con el Grupo Barranca de edad Triásico Superior-Jurásico Inferior. Consiste de conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas intercaladas con capas de carbón o grafito.

Andesita-Toba Andesítica, Traquiandesita, Cretácico Superior -Paleoceno

Las rocas volcánicas aflorantes en la cuenca se relacionan con la Formación Tarahumara, la cual en algunas localidades está cubierta discordantemente por las formaciones Báucarit y Lista Blanca.

Granito – Granodiorita, Cretácico Temprano al Eoceno

En la Sierra de Mazatán se tiene un grupo de rocas intrusivas de dimensiones batolíticas granito-granodiorita que corta toda la secuencia sedimentaria del Paleozoico. Estas rocas forman parte del batolito Laramide de Sonora, cuyo periodo de edad varía del Cretácico Superior – Eoceno Superior (90-40 Ma). Consiste de un granito porfídico de biotita con cristales de cuarzo y feldespatos, que gradúa a granodiorita y cuarzomonzonita de textura muy variada, que va desde pegmatítica a porfídica.

1.3.4. Cenozoico

Toba Riolítica – Riolita, Terciario

Rocas volcánicas terciarias conforman las sierras Libre, Santa Úrsula y El Bacatete. Son principalmente rocas ácidas, pero ocurren también afloramientos de rocas volcánicas intermedias y básicas en menor proporción.

Las rocas ácidas riolíticas a veces constituyen domos. Gruesos paquetes de ignimbritas, se encuentran atravesados por un granito subvolcánico (Cochemé, 1981); siguen tobas piroclásticas, en las cuales se encuentran a menudo cavidades y cuevas. Al final se halla un conglomerado con clastos volcánicos cementado por arena de origen volcánico.

Conglomerado Polimíctico-Arenisca, Terciario

Al oeste de la Sierra Agua Verde y en las inmediaciones de la carretera, al Pueblo de Álamos pero abundantemente al oeste de la Sierra de Mazatán aflora la Formación Báucarit.

Conglomerado Polimíctico, Cuaternario

Esta unidad la constituye un conglomerado terciario que cubre toda la parte central y norte de la cuenca. Algunos basaltos de olivino, en forma de flujos horizontales, afloran profusamente en la porción oriental de la Sierra Santa Úrsula, en Cruz de Piedra y en la Sierra del Bacatete.

Aluvión Cuaternario

Estos depósitos se encuentran principalmente a lo largo de los afluentes principales. Lo constituyen gravas, arenas y arcillas sin consolidar, producto de la erosión e intemperismo de las rocas preexistentes. Esta unidad incluye a los coaluviones, suelos arenosos y suelos arcillo-arenosos que se encuentran en forma de terrazas y abanicos. Estos depósitos constituyen el último evento sedimentario del Cuaternario. Desde el punto de vista geohidrológico esta unidad es buena para la infiltración de agua pluvial debido a su granulometría y a su poco espesor (CONAGUA, 2010).

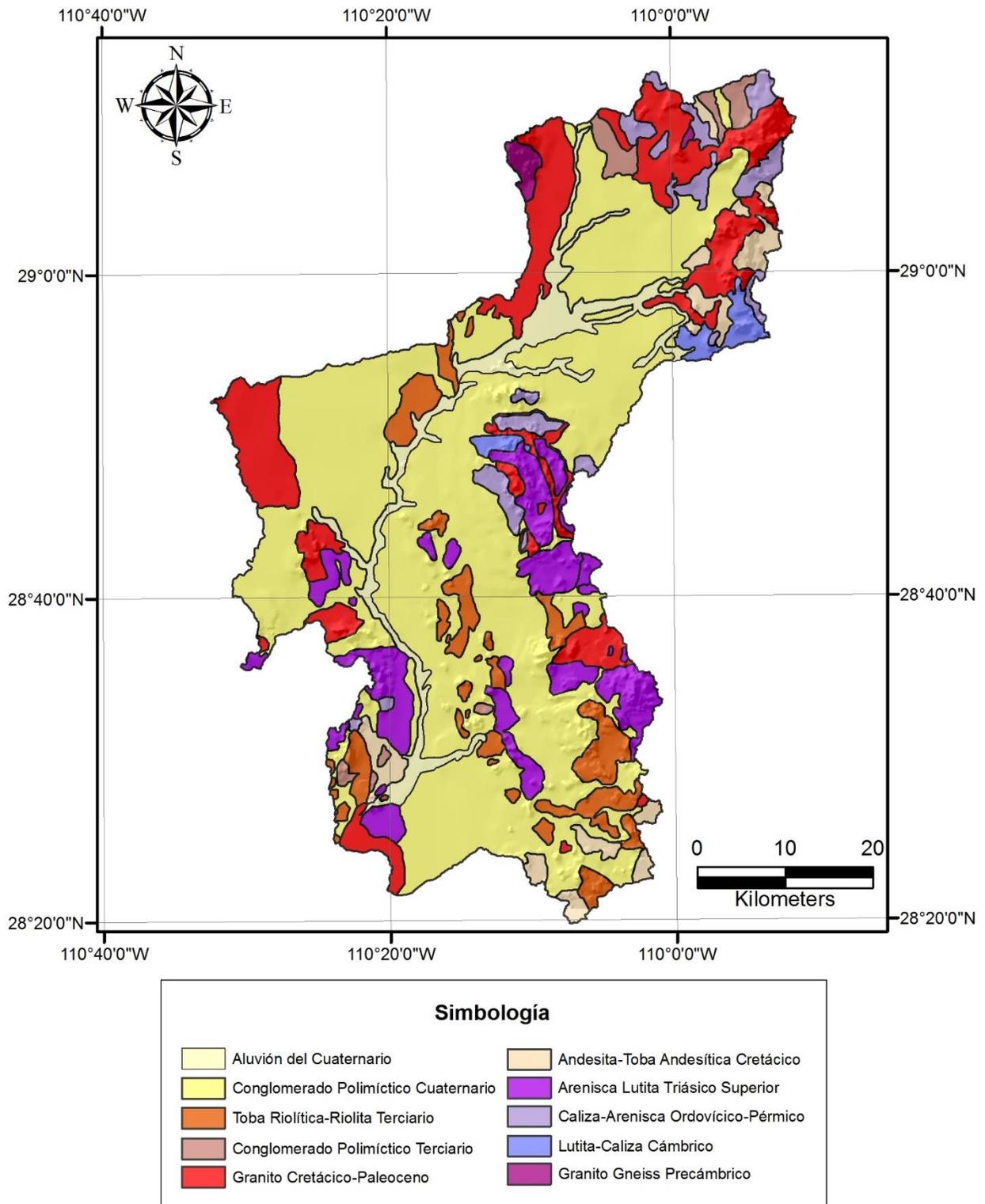


Figura 4. Litología del área de estudio (Elaboración propia con datos del SGM).

1.4. Geofísica

No se cuenta con información de estudios geofísicos que se hayan efectuado en el área, puesto que los que se han llevado a cabo corresponden a la parte baja de la Cuenca del Río Mátape, más específicamente en el Valle de Guaymas la cual queda comprendida en la Subcuenca Río Mátape - Empalme. La siguiente descripción corresponde a estudios efectuados solamente en el área mencionada.

En el año de 1975 la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería realizó un estudio dentro de la Cuenca del Río Mátape, de 85 sondeos eléctricos verticales de resistividad con el título “Interpretación de datos y determinación del potencial actual del Acuífero en la Costa de Guaymas”.

Martínez y Flores (2004), con el objetivo de determinar el avance de la intrusión salina y la determinación de la profundidad de la Formación Arcilla Azul (capa de arcilla de origen marino en el Valle de Guaymas), realizaron tres perfiles perpendiculares a la costa con longitud de 28 km. El espaciamiento entre ellos fue de aproximadamente 4 km. Se utilizaron espiras de 300 x 300 m en la mayoría de los sondeos, con un espaciamiento promedio entre ellas de 2 km.

Se observó una capa conductora con profundidades a su base en un rango de 130 a 300 m. El espesor varía entre 100 y 290 m, la resistividad de este conductor aumenta en forma gradual y sistemática tierra adentro, lo que concuerda con el comportamiento de la intrusión salina.

La base del conductor correlaciona bien con una capa de arcillas marinas denominada Arcilla Azul.

Capítulo II, Características Fisiográficas

2.1. Regiones Hidrológicas de México

La República Mexicana está dividida en 37 Regiones Hidrológicas (RH), agrupadas en tres vertientes que son, la del Océano Pacífico al occidente, Golfo de México y Mar del Caribe al oriente (conformadas por cuencas exorreicas) y la interior que está formada por cuencas sin salida al mar o endorreicas (Figura 5).

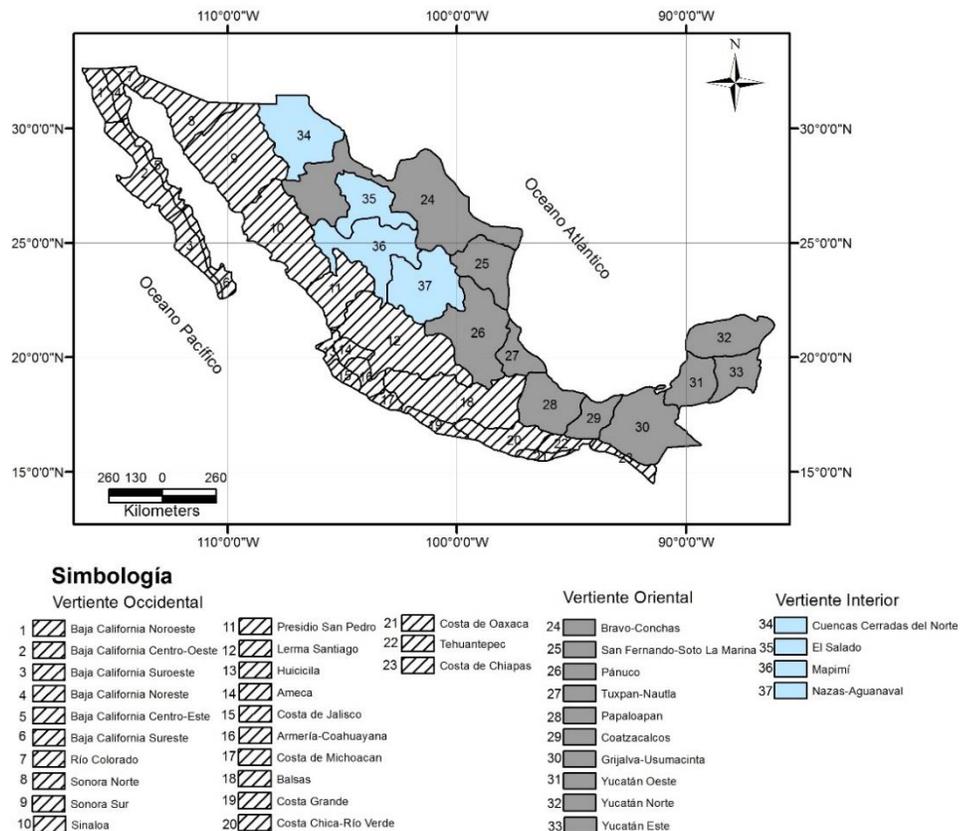


Figura 5. Regiones Hidrológicas de México.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) agrupó las 37 Regiones Hidrológicas mencionadas anteriormente, en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), para facilitar el manejo del agua en cada región de México (Figura 6).

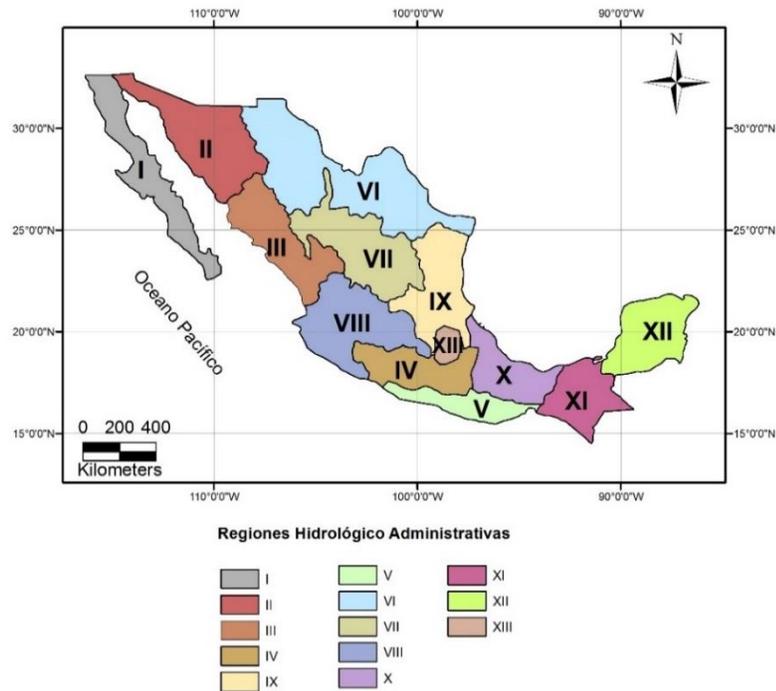


Figura 6. Regiones Hidrológicas Administrativas de México.

2.2. Regiones Hidrológicas de Sonora

Como se mencionó en el capítulo anterior el área de estudio que lleva por nombre Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua es una subcuenca de la Cuenca del Río Mátape y se encuentra dentro de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur (RH9) que junto a la Región Hidrológica 8 Sonora Norte (RH8), además de la Región Hidrológica 7 Río Colorado (RH7), Región Hidrológica 10 Sinaloa (RH10), Región Hidrológica 34 (RH34) Cuencas Cerradas del Norte, comprenden la extensión territorial del Estado de Sonora (Figura 1).

La Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste (RHAII), comprende la totalidad de la RH9, RH8 y la RH7 mientras que la RH10 queda dentro de la RHA III y la RH 34 en la RHA VI (Figuras 5 y 6).

La extensión territorial de la región mencionada ocupa un área de 206,596 km², de los cuales 180,936 km² (87.58%) pertenecen al Estado de Sonora y 25,659 km² (12.42%) pertenecen al estado de Chihuahua (SEMARNAT, 2011). La RH9 Sonora Sur incluye dentro de ella, las cuencas de los ríos Sonora, Mátape, Yaqui y Mayo

2.3. Obras hidráulicas del área de estudio

Al suroeste de la comunidad Mátape se localiza la presa La Haciendita (Figura 7 y 8), la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 6.9 Mm^3 , para regar 306 ha. El agua de la presa es utilizada principalmente para la agricultura por medio de canales regando 225 ha la mayoría revestidos (CONAGUA, 2010). Se usa principalmente como abrevadero de ganado vacuno y como recreación para los habitantes de las poblaciones aledañas. Se localiza en el cuadrángulo delimitado entre las coordenadas $109^{\circ}59'45''\text{W} - 29^{\circ}5'36''\text{N}$ y $110^{\circ}0'12''\text{W} - 29^{\circ}6'30''\text{N}$.

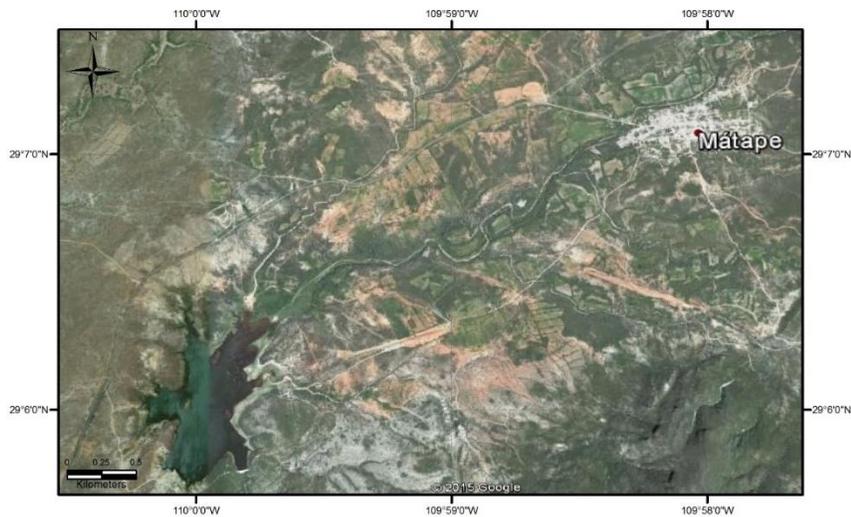


Figura 7. Localización de la Presa La Haciendita al suroeste de Mátape.



Figura 8. Panorámica de la Presa La Haciendita, (Google Earth, 2015).

La presa Ignacio L. Alatorre (presa Punta de Agua) es el aprovechamiento de aguas superficiales más importante de esta cuenca. Fue construida entre los años 1970 y 1971 por la en ese entonces denominada Secretaría de Recursos Hidráulicos. Sus usos son varios: con su almacenamiento se riega por gravedad cultivos del Valle de Guaymas; se usa como abrevadero; asimismo, para retener los escurrimientos superficiales para proteger de inundaciones a terrenos circunvecinos topográficamente más bajos. Tiene una capacidad de almacenamiento de 31.8 Mm³. Se encuentra en el cuadrángulo delimitado por las coordenadas 110°24'17"W - 28°27'3.52"N y 110°21'40.43"W - 28°24'41.48"N (Figuras 9 y 10).

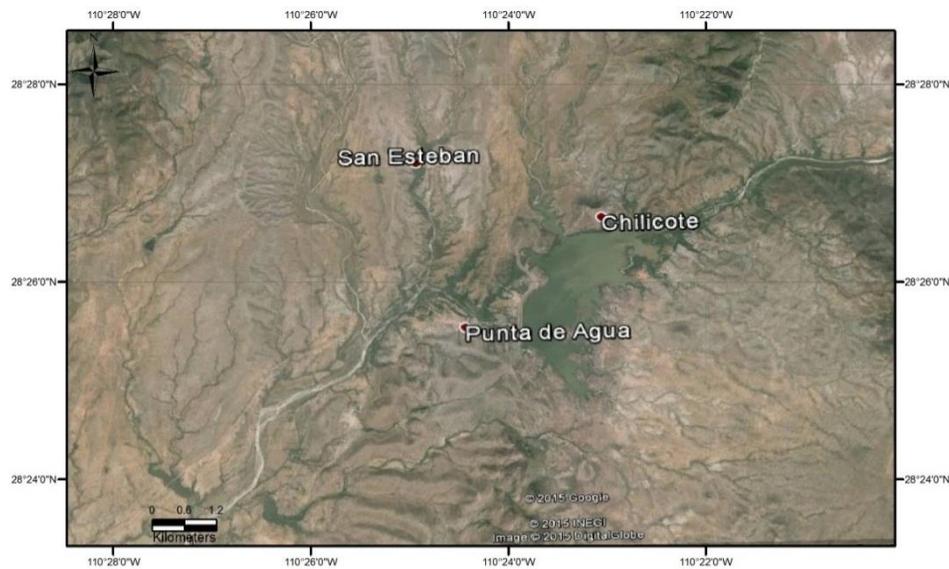


Figura 9. Localización de la Presa Punta de Agua al lado del poblado del mismo nombre.



Figura 10. Vista al noreste de la Presa Punta de Agua (Google Earth, 2015).

Volumen al NAME (Mm ³)	Volumen al NAMO (Mm ³)	Volumen Útil (Mm ³)	Altura del NAME (m)	Altura del NAMO (m)	Altura del NAMINO (m)
34.80	17.78	17.80	102.65	86.64	87.20

NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias, NAMINO: Nivel de Aguas Mínimas de Operación y NAME al Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias.

Tabla 1. Niveles y capacidades presa Ignacio L. Alatorre (CONAGUA, 2015).

La operación de la presa se lleva a cabo entre el NAMINO y el NAMO, que es el máximo nivel con que se puede operar la presa para satisfacer las demandas;

El volumen que se almacena entre el NAMO y el NAMINO se le llama volumen o capacidad útil y es con el que se satisface la demanda de agua (CONAGUA, 2015).

2.3.1. Drenaje de la cuenca

El Río Mátape es un río intermitente que sólo lleva agua durante periodos de lluvia, aunque es posible encontrar siempre agua en su subálveo. Este río nace aguas arriba del poblado de Mátape (Villa Pesqueira) y pasa por Mazatán, Cobachi, San José de Pimas y San Marcial y llega hasta la Presa Ignacio L. Alatorre (Vega, 1992).

El Río Mátape sigue su trayectoria por 160 km hasta llegar al vaso de la Presa Punta de Agua (Ignacio L. Alatorre), después de este punto el cauce cambia su nombre a Río San Marcial cuyas aguas se utilizan en la zona agrícola del Valle de Guaymas (SEMARNAT, 2011).

Las principales afluentes del Río Mátape, desde su nacimiento hasta la Presa Punta de Agua se observan en la figura 11; algunos de ellos son:

- Por la margen izquierda Arroyo Los Mezcales, El Toboso, Arroyo Las Avispas, Las Chinchas, Agua Fría y Todo Santo.
- Por la margen derecha Arroyo El Ojito, San Martin y La Sina.

Los afluentes anteriores constituyen los escurrimientos de entrada al vaso de la presa Punta de Agua. La estación hidrométrica Punta de Agua no contabiliza las aguas del arroyo Agua Fría.

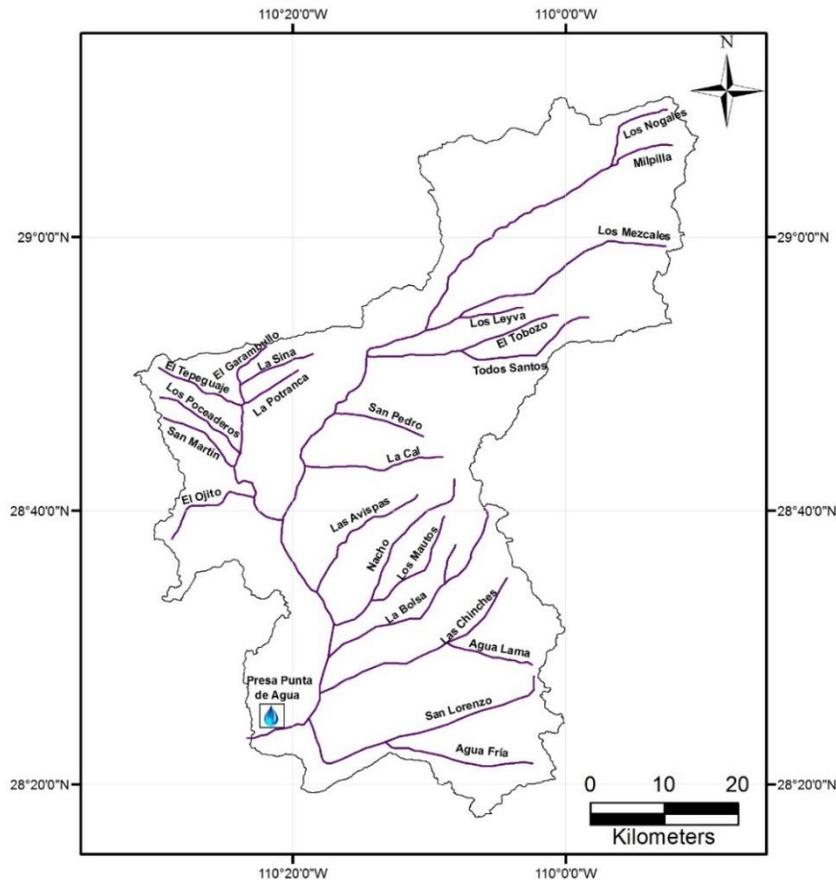


Figura 11. Principales afluentes del Río Mátape hasta la presa Punta de Agua.

2.3.2. Tipo de drenaje

El drenaje del área de estudio está gobernado por el tipo de rocas expuesto ocasionando un sin número de drenajes jóvenes intermitentes que sólo llevan agua en época de lluvia. Se observa drenaje del tipo enrejado en rocas sedimentarias (Sierra de Cobachi), dendrítico en rocas sedimentarias e ígneas (dominante en la cuenca) y anular en rocas ígneas intrusivas (Sierra de Mazatán).

El drenaje más abundante es el dendrítico, cuyos tributarios confluyen al cauce principal con ángulos parecidos o iguales y bastante ramificación (Vega 1992).

2.4. Características fisiográficas

El ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características fisiográficas de la cuenca (Aparicio, 1992).

2.4.1. Área de la cuenca

El volumen de escurrimiento de la precipitación en una cuenca se ve afectado según el área de dicha cuenca (Aparicio, 1992).

El área de la cuenca se define como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escurrimiento dirigido a un mismo cauce natural (Vega, 2011).

El área de la Subcuenca Río Mátape - Presa Punta de Agua, es la sumatoria del total de áreas de sus microcuencas (Tabla 2 y Figura 12). La subcuenca fue dividida en microcuencas para facilitar el análisis de sus características fisiográficas.

Subcuenca Mátape-Presa Punta de Agua	
Microcuenca	Área (km ²)
1	90.60
2	36.20
3	239.30
4	20.50
5	33.80
6	339.00
7	296.50
8	72.10
9	84.50
10	134.70
11	378.00
12	46.70
13	259.50
14	337.70
19	86.60
20	658.70
Total	3,114.40

Tabla 2. Área de las microcuencas y área total de la subcuenca de estudio.

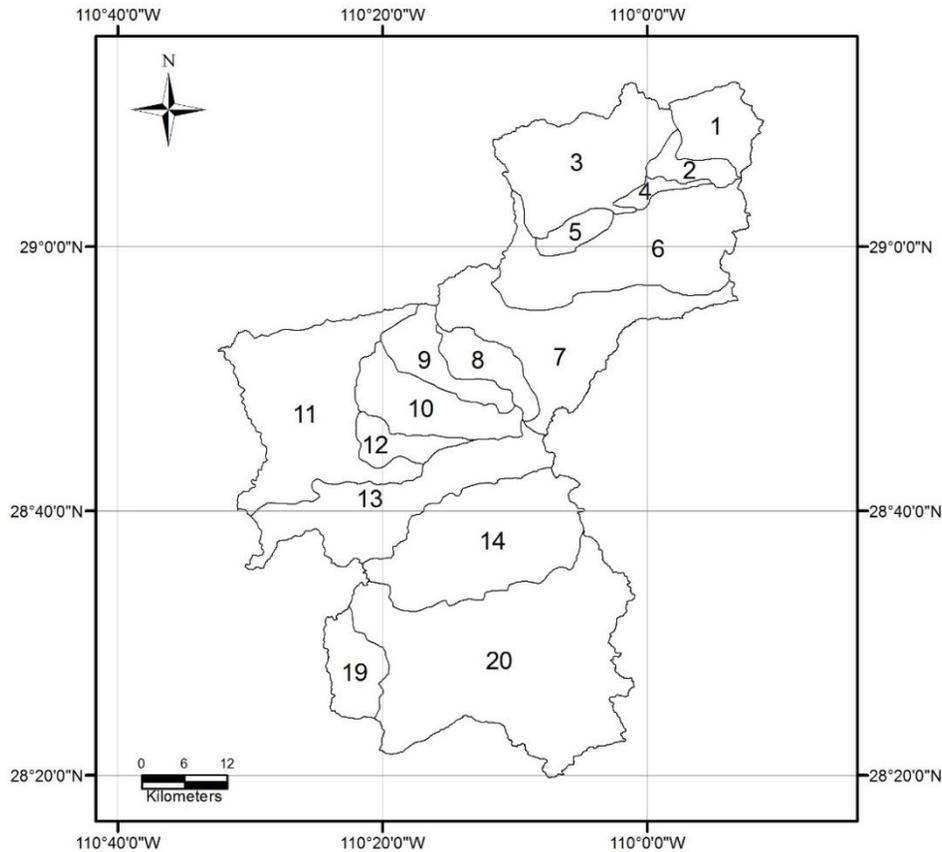


Figura 12. División de la subcuenca en microcuencas.

2.4.2. Orden de la cuenca y relación de bifurcación

La clasificación del orden de una cuenca se efectúa utilizando el método de Horton, que fue quien desarrolló el primer método cuantitativo de análisis de una red de drenaje; en 1952, su esquema fue perfeccionado por su estudiante Strahler. El método clasifica las corrientes jerárquicamente de la siguiente forma: a cada nacimiento de un río, le asigna el primer orden, y a la unión de 2 corrientes de igual orden, le da el orden inmediato superior. Por ejemplo: al nacimiento de los arroyos tributarios les asigna el orden 1, a la unión de dos corrientes de orden 1, les da un orden 2 y así sucesivamente.

El orden de una cuenca es una característica geomorfológica que condiciona la velocidad de respuesta de la precipitación en su salida (Aparicio, 1992).

El orden de corriente principal será un indicador de la magnitud de la ramificación y de la extensión de la red de drenaje en una cuenca (Campos, 1987).

El orden de corriente y número de corrientes fue determinado mediante el uso del software *AutoCAD* y *ArcGIS* con la red hidrográfica escala 1:50,000 en formato *shape* disponible en la página oficial de INEGI como se muestra en la figura 13. El orden de corriente fue separado por colores y contabilizado. El orden de corriente medido en la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua por la cantidad de ramificaciones de drenaje llega a 8 siendo la corriente principal la cual recibe el aporte de todas las otras corrientes tributarias (Tabla 3).

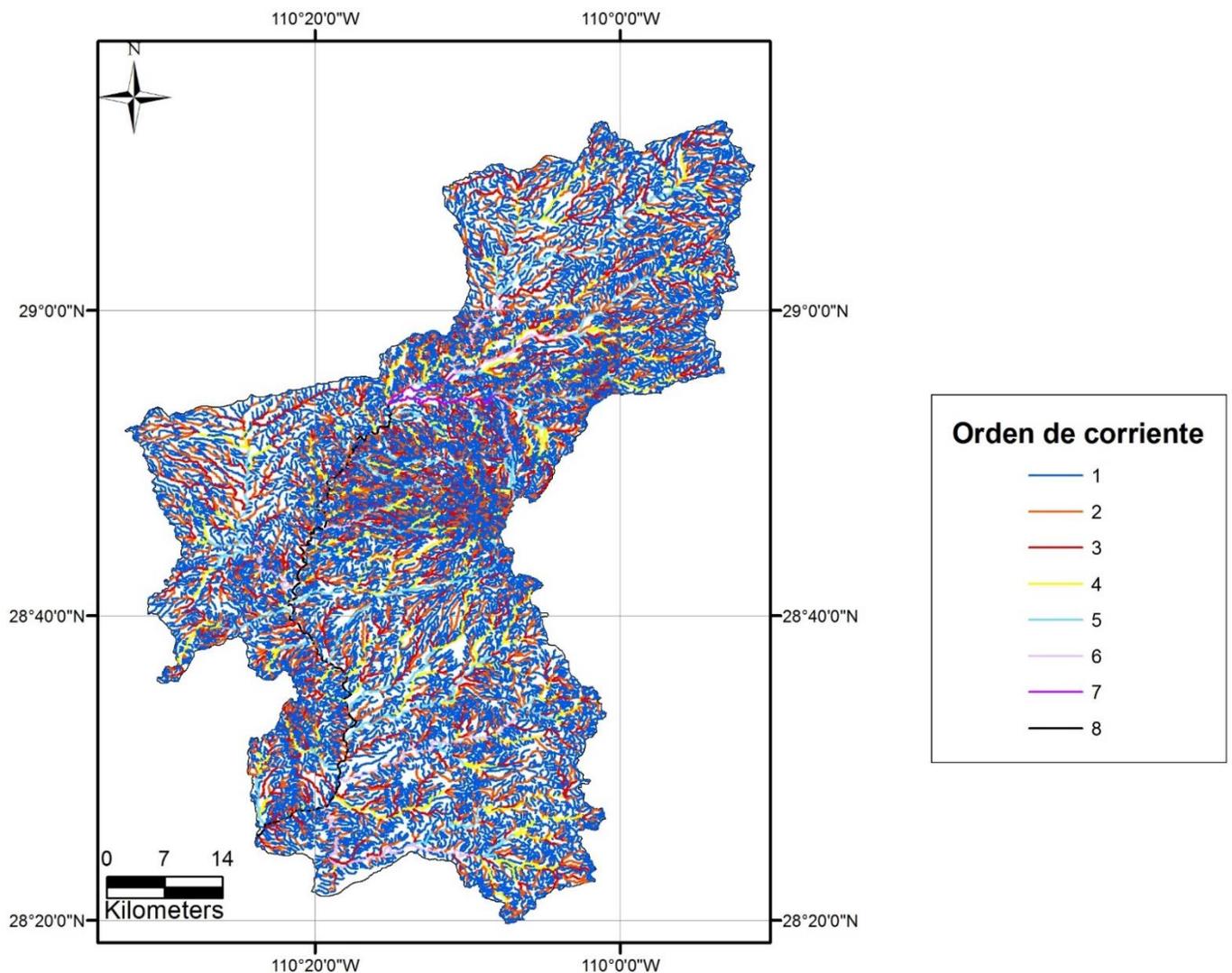


Figura 13. Orden por microcuenca y orden total de subcuenca.

Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua								
Microcuenca	Orden							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	186	40	10	4	1			
2	86	19	5	1				
3	358	83	21	4	1	1		
4	40	8	2					
5	59	16	3					
6	1,301	327	69	15	4	1		
7	2,098	440	107	25	9	3	2	1
8	710	152	31	10	2			
9	652	151	32	8	3	1		
10	1,412	298	59	11	2	1		
11	926	203	41	14	3	1		
12	218	46	11	3	1			
13	1,353	236	68	14	4			
14	870	209	55	13	2			
19	324	66	20	3	1			
20	2,229	464	116	22	7	2		
Total	12,822	2,758	650	147	40	10	2	1

Tabla 3. Orden por microcuenca y orden total de subcuenca.

Es de suponerse que el mayor orden de corriente será la corriente principal, que es la que recibe el aporte de todos los tributarios. Esta corriente principal recorre la cuenca hasta que llega a la salida de la misma.

Horton, también introdujo el concepto de relación de bifurcación (Rb) para definir el cociente entre el número de corrientes de cualquier orden (Nu) y el número de corrientes del siguiente orden superior ($Nu+1$), expresado en la siguiente ecuación.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Donde:

Rb = Relación de bifurcación

Nu = Número de corrientes de cualquier orden

$Nu + 1$ = Número de corrientes del siguiente orden superior

Siguiendo la fórmula anterior la relación de bifurcación del orden 1 sería:

$$Rb \text{ del orden } 1 = \frac{\text{Número de corrientes de orden } 1}{\text{Número de corrientes de orden } 2} = \frac{12,822}{2,758} = 4.65$$

Así sucesivamente al número de corriente de cada orden, se va dividiendo entre el número de corriente de orden superior siguiente, con lo cual se llega a los resultados que muestra la Tabla 4.

Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua								
Orden de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de corrientes	12,822	2,758	650	147	40	10	2	1
Relación de bifurcación	4.65	4.24	4.42	3.68	4.00	5.00	2.00	-

Tabla 4. Relación de bifurcación por orden de corriente.

La relación de bifurcación total para la cuenca sería el cociente de la siguiente fórmula.

$$\overline{Rb} = \frac{\sum_{i=1}^n Rb_i (N_i * N_{i+1})}{\sum_{i=1}^n (N_i * N_{i+1})}$$

Donde:

Rb = Relación de bifurcación

N_i = Número de corrientes

N_{i+1} = Número de corrientes del siguiente orden superior

La tabla 5 Sigue la fórmula anterior como se explica a continuación. El divisor (172, 456, 061) es la sumatoria de *Relación de bifurcación*Número de corrientes*Número de corrientes del siguiente orden superior* ($Rb*N_i*N_{i+1}$) y el dividendo (37,257,628) la sumatoria de *Número de corrientes* Número de corrientes del siguiente orden superior* (N_i*N_{i+1}). Tomando el ejemplo de la tabla 4 para el orden 1 sería, $Rb*N_i*N_{i+1} = 4.65 * 12,822 * 2,758 = 164, 403,684$. Para la columna 2 (N_i*N_{i+1}), sería $12,822 * 2,758 = 35, 363,076$.

Al final el cociente de 172, 456, 061 / 37, 257, 628 da como resultado la bifurcación media para la cuenca la cual es 4.63, como se muestra en la tabla 5.

Orden	$Rb \cdot N_i \cdot N_{i+1}$	$N_i \cdot N_i$
1	164,403,684	35,363,076
2	7,606,564	1,792,700
3	422,500	95,550
4	21,609	5,880
5	1,600	400
6	100	20
7	4	2
Total	172,456,061	37,257,628
Media		4.63

Tabla 5. Relación de bifurcación media de la cuenca.

La relación de bifurcación para la cuenca se encuentra dentro del promedio que según Campos (1987), varía entre 3 y 5 para cuencas en las cuales “las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje”.

2.4.3. Densidad de corriente

La densidad de corriente es una característica fisiográfica de la cuenca que se obtiene como cociente entre el número de corrientes y el área de la cuenca (Tabla 6).

Entre mayor sea la densidad de corriente, la cuenca estará más ramificada, lo que provocará una rápida respuesta a una entrada de lluvia (Vega, 2011).

Para calcularla se utiliza la fórmula:

$$DC = \frac{NC}{A}$$

Donde:

DC = Densidad de Corriente

NC = Número de Corrientes dentro de la cuenca

A = Área de la cuenca km^2

Microcuenca	Número de corrientes	Área (km ²)	Densidad de corriente (1/km ²)
1	241	90.60	2.66
2	111	36.20	3.07
3	467	239.30	1.95
4	50	20.50	2.44
5	78	33.80	2.31
6	1,716	339.00	5.06
7	2,679	296.50	9.04
8	905	72.10	12.55
9	846	84.50	10.01
10	1,782	134.70	13.23
11	1,187	378.00	3.14
12	279	46.70	5.97
13	1,675	259.50	6.45
14	1,149	337.70	3.40
19	414	86.60	4.78
20	2,838	658.70	4.31
Total	16,417	3,114.4	
Media			5.65

Tabla 6. Número de corrientes y densidad de corrientes.

Como se puede observar en la tabla anterior las mayores densidades de corriente se encuentran en las microcuencas 8, 9 y 10 mientras que en la 3, 4 y 5 se tienen las menores densidades de corriente. Lo anterior se debe a que en las microcuencas 8, 9 y 10 se tiene una gran cantidad de drenaje respecto a un área muy reducida, lo contrario pasa en las microcuencas 3, 4 y 5 en donde se tiene un área equiparable a la cantidad de corrientes dentro de ella.

2.4.4. Densidad de drenaje

Es la relación entre la longitud total de todos los cauces de agua y la superficie total de la cuenca.

La densidad de drenaje es un parámetro físico que refleja la dinámica de la cuenca, la estabilidad de la red hidrográfica y el tipo de escorrentía de la superficie.

Se expresa con la fórmula:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²)

L = Longitud total de las corrientes dentro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Subcuenca	Longitud de corriente (km)	Área (km ²)	Densidad de drenaje (km/km ²)
1	295.80	90.60	3.26
2	114.60	36.20	3.17
3	690.73	239.30	2.89
4	65.75	20.50	3.21
5	93.95	33.80	2.78
6	1,316.40	339.00	3.88
7	1,349.14	296.50	4.55
8	383.34	72.10	5.32
9	397.40	84.50	4.70
10	838.48	134.70	6.22
11	1,094.22	378.00	2.90
12	204.88	46.70	4.39
13	1,030.47	259.50	3.97
14	1,175.10	337.70	3.48
19	283.94	86.60	3.28
20	2,273.38	658.70	3.45
Total	11,607.60	3,114.40	
Media			4.22

Tabla 7. Densidad de drenaje por microcuenca.

Teóricamente, las cuencas con mayor densidad de drenaje poseen una mayor capacidad para coleccionar superficialmente el agua de lluvia y viceversa.

Según Campos (1987), las bajas densidades de drenaje corresponden a regiones con rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil. En cambio, las altas densidades de drenaje se obtienen en áreas con rocas débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso.

La microcuenca con mayor densidad de drenaje es la 10 y la de menor densidad de drenaje es la 5. Esto se puede interpretar según el criterio descrito por

Campos (1987), que la alta densidad de drenaje dentro del área de la microcuenca 10 se debe a que afloran rocas sedimentarias poco resistentes muy susceptibles a erosionarse, mientras que en el área de la microcuenca 5 se encuentra aflorando el *Conglomerado Polimíctico Cuaternario y Aluvión*, lo que imprime una densidad de drenaje baja que corresponde a suelos muy permeables y de relieve débil (Figura 14).

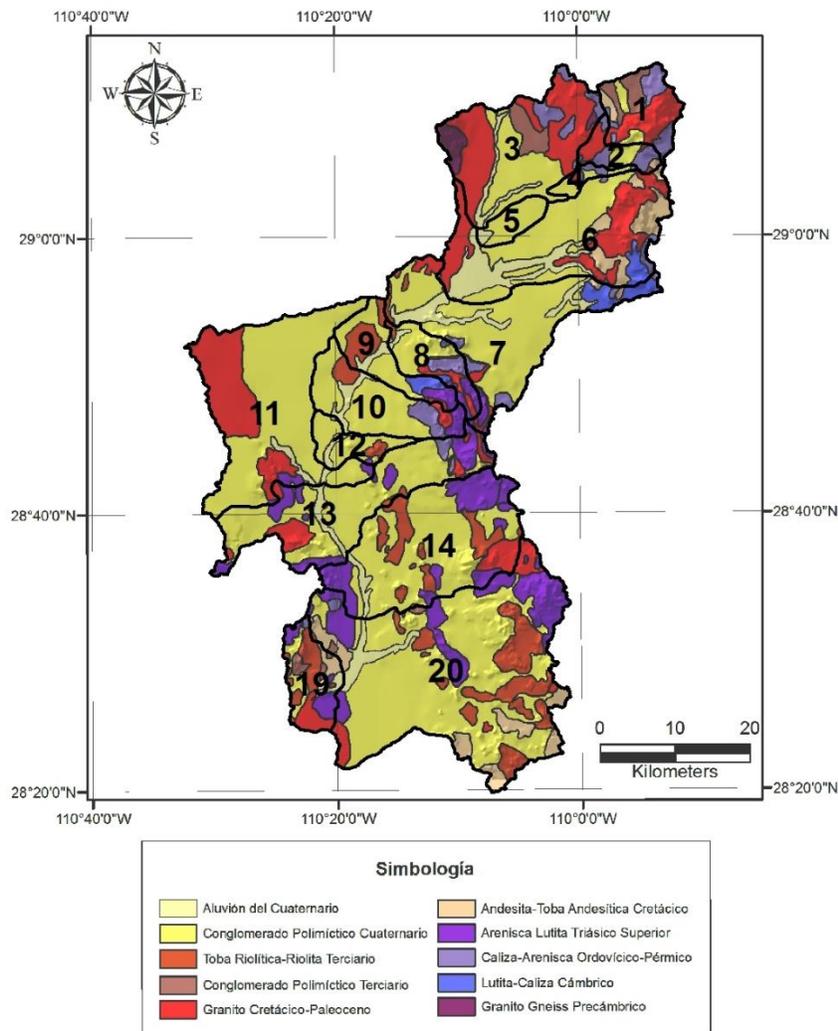


Figura 14. Correspondencia de la litología dentro del área de microcuencas.

Capítulo III, Hidrología Superficial

3.1. Estaciones climatológicas

La observación, vigilancia y medición de los parámetros de la lluvia y temperatura se llevan a cabo mediante las estaciones climatológicas que están a cargo de la Comisión Nacional del Agua.

Actualmente en Sonora se encuentran 144 estaciones climatológicas en operación. Estas se encuentran equipadas ya sea con pluviómetros o pluviógrafos para medir la lluvia puntual (CONAGUA, 2013).

La precipitación se determina a través de mediciones directas y se mide por la altura que alcanzaría sobre una ideal superficie plana y horizontal antes de sufrir pérdidas (evaporación, infiltración, etc.).

Para el análisis hidrológico de la Subcuenca Río Mátape Presa-Punta de Agua se utilizaron 6 estaciones climatológicas (Figura 15).

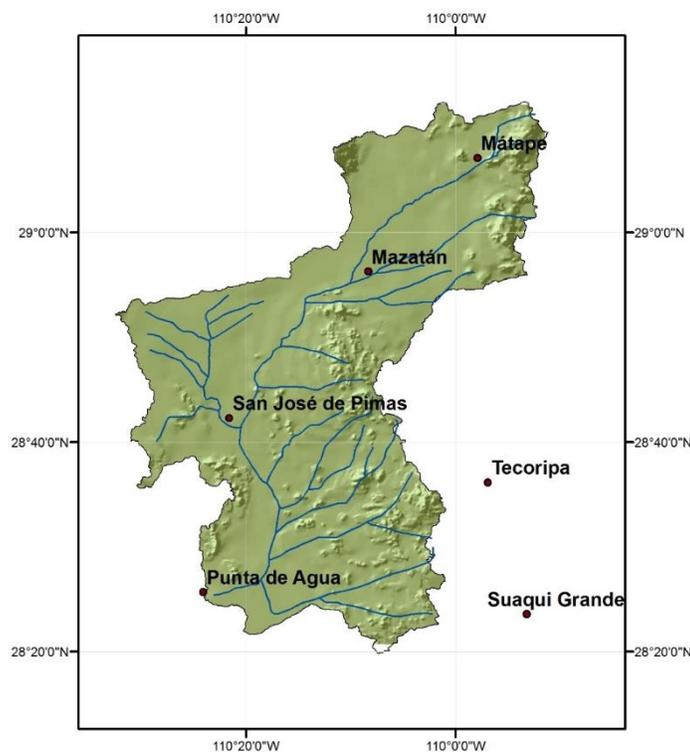


Figura 15. Estaciones climatológicas utilizadas para el análisis hidrológico de la subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua.

Estación Mátape

Esta estación está ubicada en el Municipio de Villa Pesqueira, sobre el área de influencia de la Cuenca del Río Mátape, y a 22 km al noreste de Mazatán a una altitud de 745 msnm.

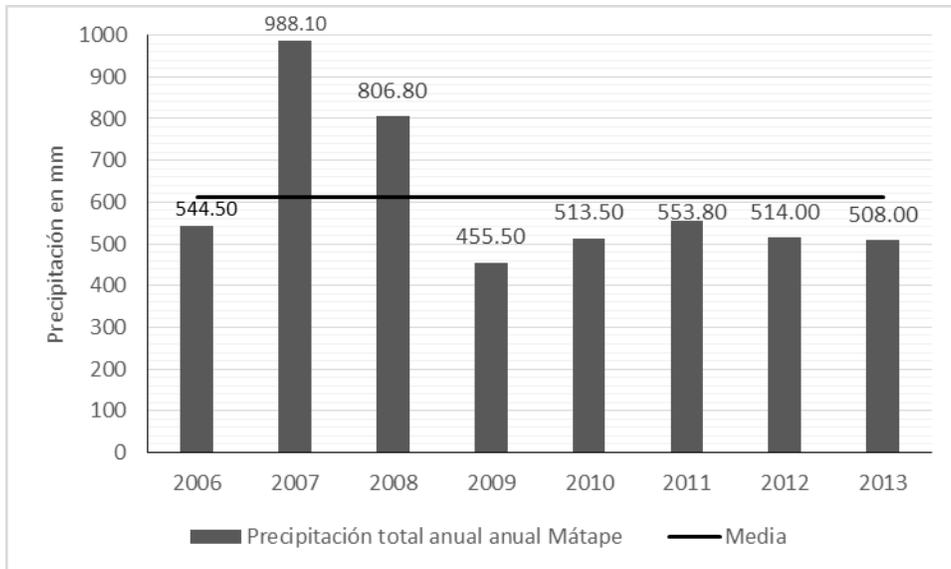
Se consideró un registro de 7 años en todas las estaciones, para la estimación de los parámetros del ciclo hidrológico, correspondiente al período de 2006 al 2013.

Año de registro	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación total anual (mm)
2006	22.25	544.50
2007	21.60	988.10
2008	21.47	806.80
2009	22.06	455.50
2010	21.44	513.50
2011	21.58	533.80
2012	21.53	514.00
2013	21.49	508.00
Media	21.67	610.52

Tabla 8. Temperatura promedio anual y precipitación total anual de los datos estudiados en la estación Mátape.

La mayor precipitación total anual ocurrió en el año 2007 con *988.10 mm* siendo ésta la mayor precipitación de todas las demás estaciones muy por encima del promedio, mientras que la menor precipitación que se presentó fue de *455.50 mm* en el año 2009 precipitación (Tabla 8; Figura 16).

La mayor temperatura registrada en los años estudiados es la del 2006 con *22.25°C* mientras que la menor ocurrió en el 2010 con *21.44°C* (Figura 17).



Figuras 16. Precipitación total anual (mm) en la estación Mátape.

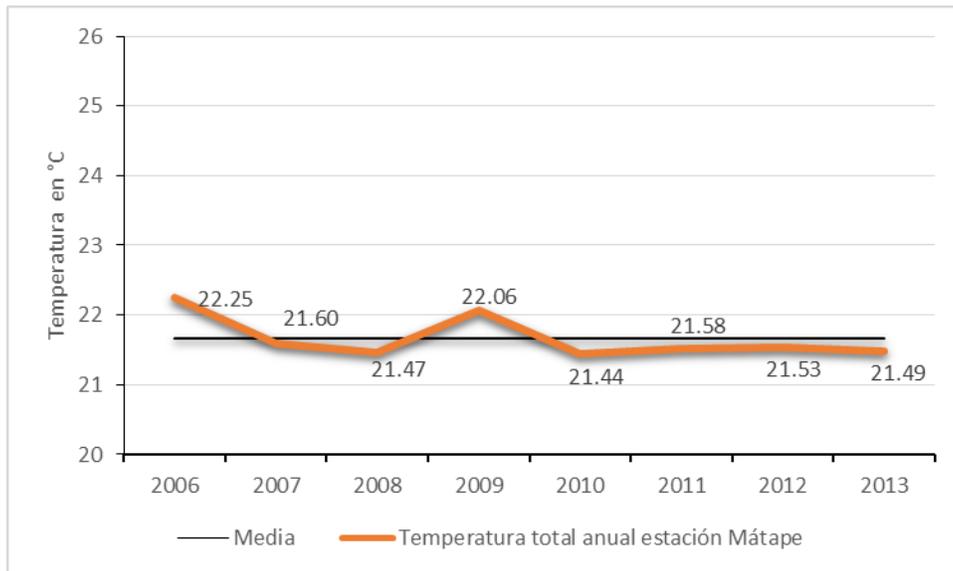


Figura 17. Temperatura promedio anual (°C) en la estación Mátape.

Estación Mazatán

Esta estación se encuentra al norte de la Cuenca del Río Mátape, a 37 km al noreste de San José de Pimas. Está ubicada en el Municipio de Mazatán, a una altitud de 540 msnm.

Para los años de estudio los cuales corresponden al periodo del año 2006 al 2013 se tienen las temperaturas y precipitaciones de la tabla 9.

Año de registro	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación total anual (mm)
2006	22.90	290.50
2007	23.37	578.50
2008	23.28	581.50
2009	23.27	347.00
2010	22.70	532.10
2011	23.23	437.40
2012	23.22	375.20
2013	23.58	337.00
Media	23.20	434.90

Tabla 9. Temperatura promedio anual y precipitación total anual de los datos estudiados en la estación Mazatán.

En cuanto a las precipitaciones del periodo estudiado la menor precipitación se presentó el 2006 con *290.50 mm* y la mayor precipitación ocurrió en el año 2008 con *581.50 mm* (Figura 18).

La mayor temperatura registrada en estos años fue en el 2013 con *23.58°C* y la menor temperatura registrada se dio en el 2010 con *22.70°C* (Figura 19).

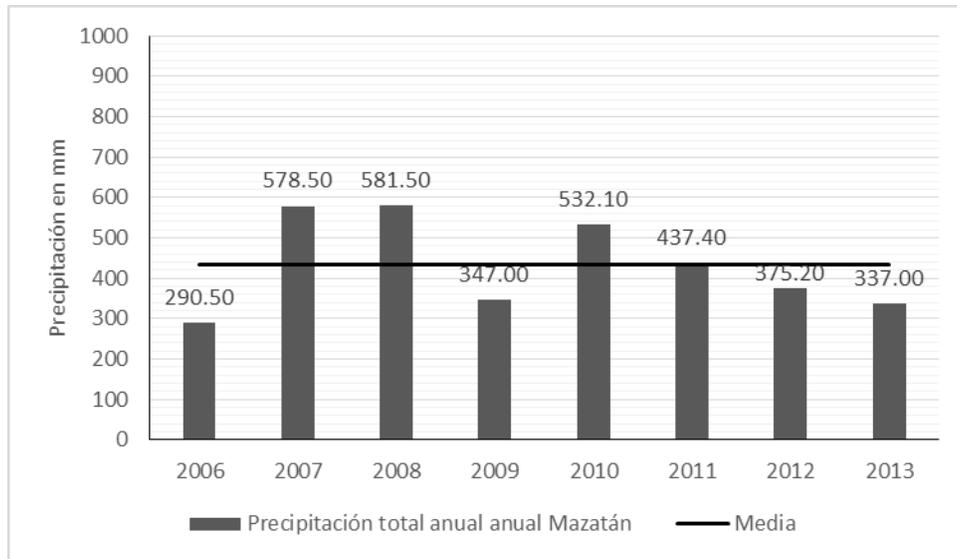


Figura 18. Precipitación total anual en la estación Mazatán.

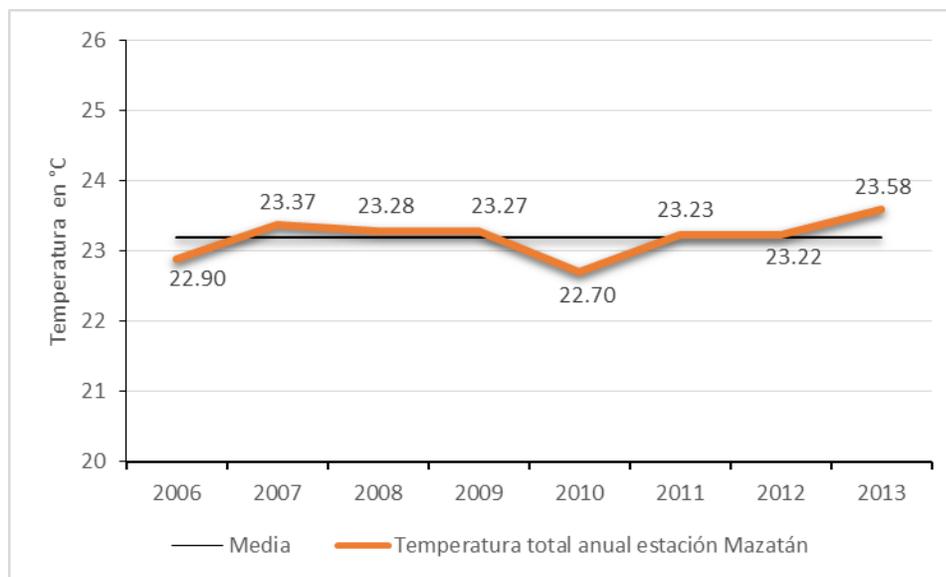


Figura 19. Temperatura promedio anual en la estación Mazatán.

Estación Punta de Agua II

Esta estación se encuentra en el límite sur de la subcuenca Mátape Presa Punta de Agua. Dicha estación está ubicada en el Municipio de Guaymas, a una altitud de 250 msnm (Tabla 10).

Año de registro	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación total anual (mm)
2006	23.13	375.70
2007	22.54	556.30
2008	22.77	525.20
2009	23.08	391.20
2010	22.53	449.20
2011	22.55	466.50
2012	23.04	377.30
2013	22.74	336.90
Media	22.80	399.20

Tabla 10. Temperatura promedio anual y precipitación total anual de los datos estudiados en la estación Punta de Agua II.

Es la segunda estación con menores precipitaciones después de la estación San José de Pimas con un promedio anual de *399.20 mm*. La mayor precipitación en los años estudiados se dio en el año 2007 con 566.30 mm y la menor fue en el año 2013 con *336.90 mm*.

Su mayor temperatura se registró en el año de 2006 con 23.13 °C y la menor ocurrió en el año 2010 con 22.53°C.

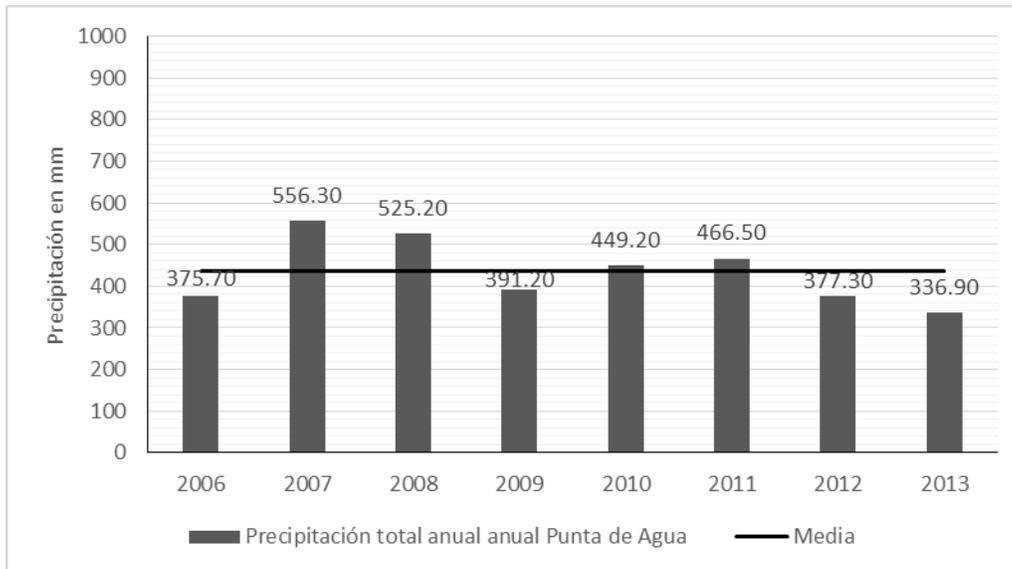
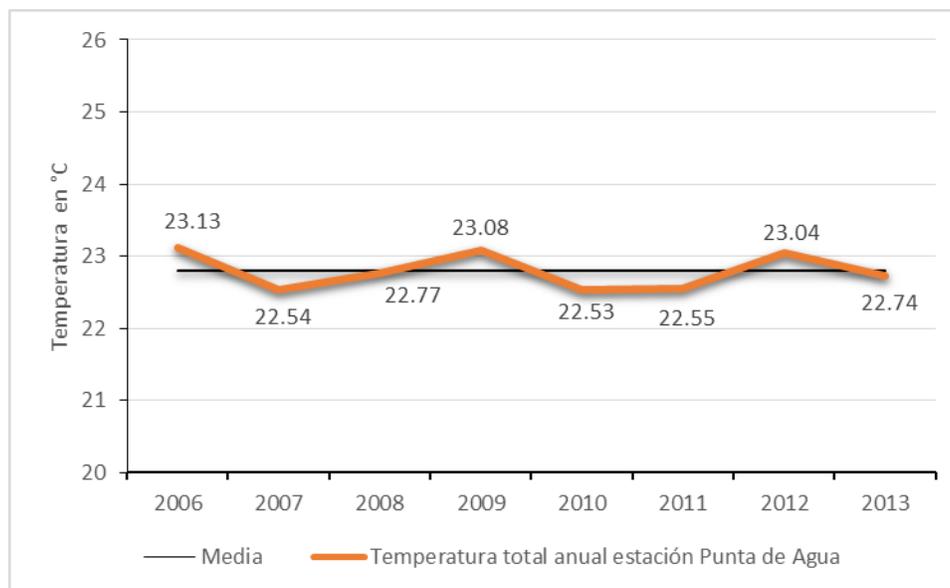


Figura 20. Precipitación total anual en la estación Punta de Agua II.



Figuras 21. Temperatura promedio anual en la estación Punta De Agua II.

Estación Suaqui Grande

La estación se ubica en el Municipio de Suaqui Grande, a una altitud de 235 msnm y a 15 km al este del límite oriental de la Cuenca del Río Mátape.

Los años en los cuales se tomaron en cuenta el periodo de estudio de las temperaturas y precipitaciones para esta estación (Tabla 11).

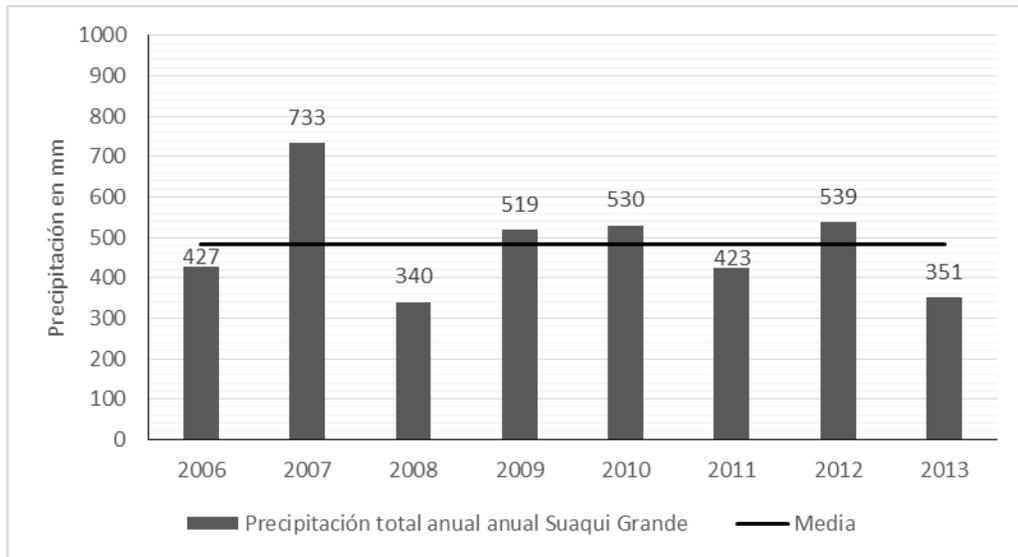
Año de registro	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación total anual (mm)
2006	22.35	427.00
2007	25.72	733.00
2008	24.25	340.00
2009	25.55	519.00
2010	24.68	530.00
2011	24.01	423.00
2012	25.12	539.00
2013	24.61	351.00
Media	21.88	482.75

Tabla 11. Temperatura promedio anual y precipitación total anual de los datos estudiados en la estación Suaqui Grande.

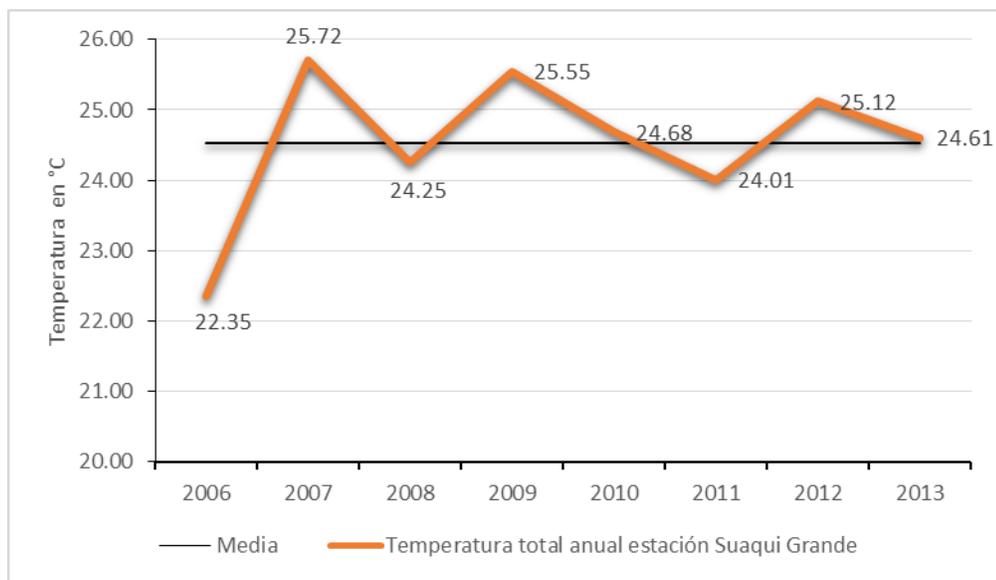
La mayor precipitación para esta estación ocurrió en el año 2007 con 733 mm resaltando de la menor precipitación registrada en el 2008 con 340 mm (Figura 22).

Esta es la estación que registra las mayores temperaturas anuales registradas comparándolas con las temperaturas de las otras cinco estaciones contempladas para el área de estudio con una media de 24.54 °C (Figura 23).

Esta estación se encuentra fuera de la cuenca aunque cumple con el criterio que dice que estaciones cercanas a la cuenca en estudio influyen en ella (NOM-011-CNA-2000).



Figuras 22. Precipitación total anual en la estación Suaqui Grande.



Figuras 23. Temperatura promedio anual en la estación Suaqui Grande.

Estación San José de Pimas

Se ubica al centro-norte de la Cuenca del Río Mátape y a 32 km al norte de la estación Punta de Agua. La estación pertenece al Municipio de La Colorada, sobre el área de influencia del acuífero del Valle de Guaymas, y tiene una altitud de 340 msnm.

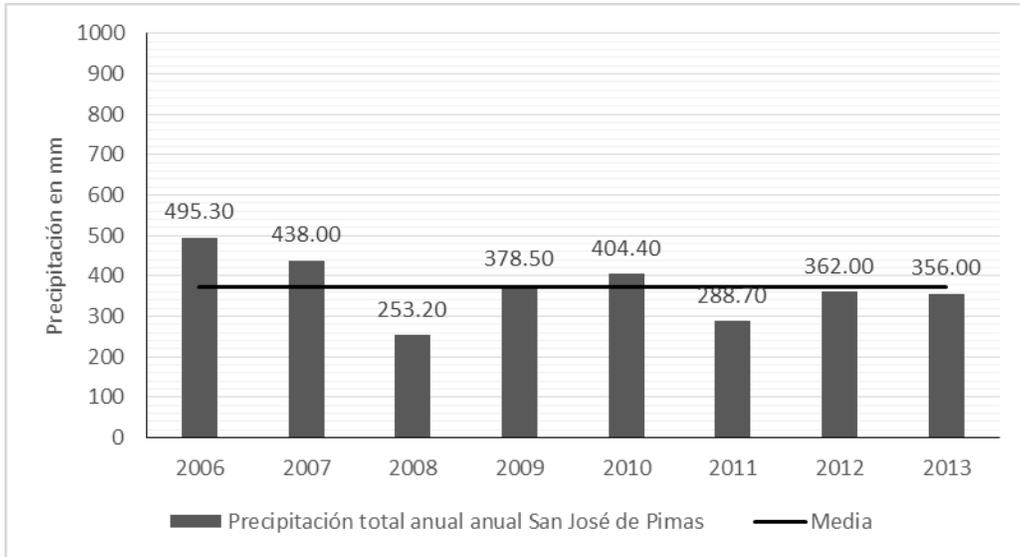
En la tabla 12 se observan las temperaturas y precipitaciones registradas para la estación San José de Pimas.

Año de registro	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación total anual (mm)
2006	22.69	495.30
2007	22.52	438.00
2008	22.70	253.20
2009	23.09	378.50
2010	22.70	404.40
2011	22.39	288.70
2012	23.29	362.00
2013	21.23	356.00
Media	22.57	374.30

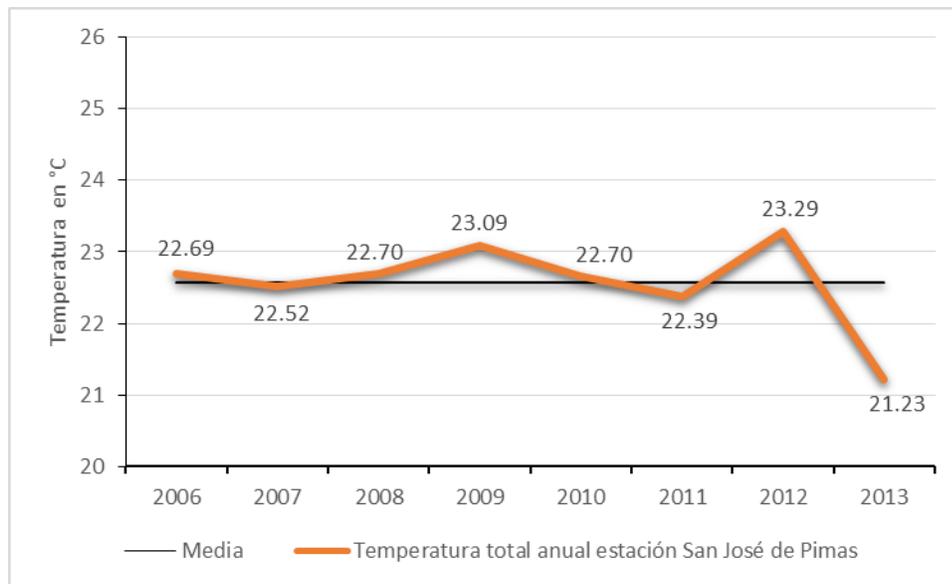
Tabla 12. Temperatura promedio anual y precipitación total anual de los datos estudiados en la estación San José de Pimas.

La mayor precipitación presente en estos años fue en 2006 con *495.30 mm* mientras la menor precipitación se presentó en el año 2008 con *253.20 mm* registrados (Figura 24). Además esta es la estación con la menor precipitación media en todos los años registrados, con un total de *374.30 mm*.

En cuanto a las temperaturas en el año 2012 se tiene la mayor registrada con 23.29°C mientras la menor se registró en el año 2013 con 21.23°C (Figura 25).



Figuras 24. Precipitación total anual en la estación San José de Pimas.



Figuras 25. Temperatura promedio anual en la estación San José de Pimas.

Estación Tecoripa

Esta estación se encuentra al oeste de la Cuenca del Río Yaqui y a 27 km al norte de Suaqui Grande. Pertenece al Municipio de La Colorada, a una altitud de 410 msnm.

Esta estación no se encuentra dentro del área de estudio pero para efectos del estudio se toma debido a cumplir con ser una de las estaciones más cercanas a la cuenca (NOM-011-CNA-2000).

Las temperaturas y precipitaciones de los años de estudio para la estación se observan en la tabla 13.

Año de registro	Temperatura promedio anual (°C)	Precipitación total anual (mm)
2006	22.26	444.50
2007	21.74	575.00
2008	21.00	614.70
2009	21.80	350.10
2010	21.57	461.20
2011	21.06	538.10
2012	22.71	555.30
2013	22.88	484.50
Media	21.88	505.56

Tabla 13. Temperatura promedio anual y precipitación total anual de los datos estudiados en la estación Tecoripa.

La estación Tecoripa registra su mayor precipitación en el año 2008 con *614.70 mm* de lluvia y su menor precipitación se dio el 2009 con *350.10 mm*.

La menor temperatura para la estación se dio en el año 2008 con *21.00°C* y la mayor temperatura registrada en estos años ocurrió el 2013 con *22.88°C*.

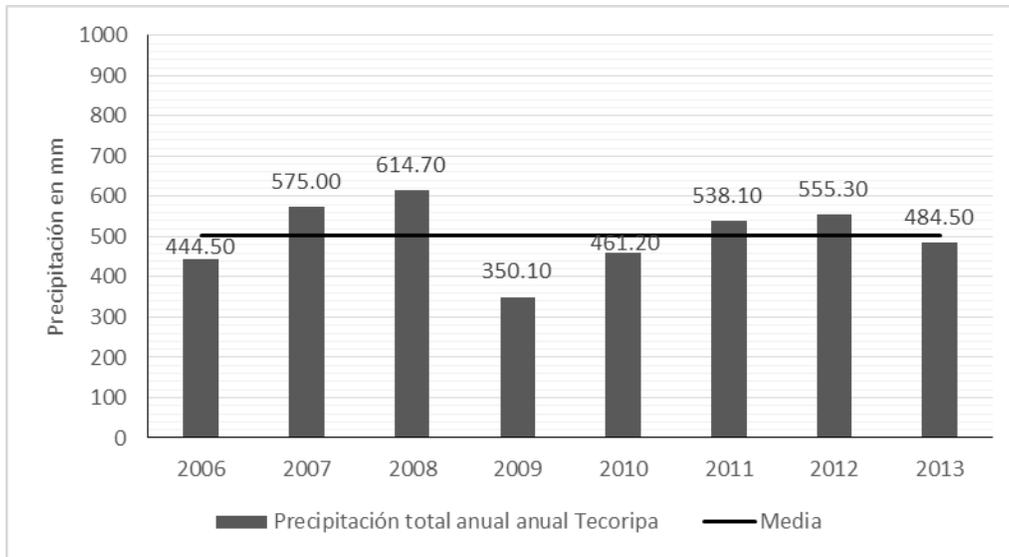
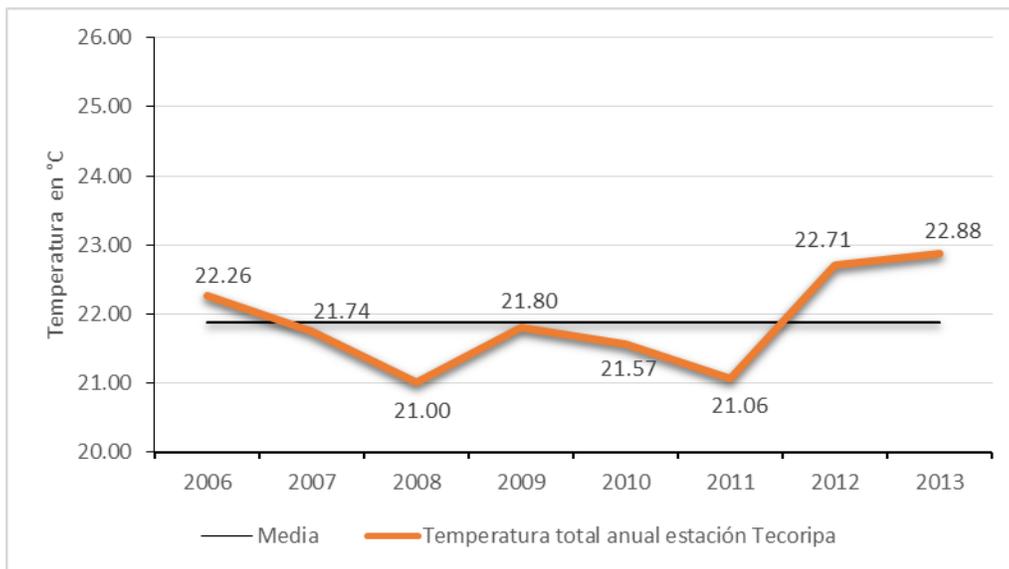


Figura 26. Precipitación total anual en la estación Tecoripa.



Figuras 27. Temperatura promedio anual en la estación Tecoripa.

3.2. Climogramas del área de estudio

Un climograma es una representación gráfica de la información climatológica anual en una zona determinada. En el eje de las abscisas se representan los meses del año, en el eje de ordenadas izquierdo los promedios mensuales de temperatura (T) y en el eje de ordenadas derecho los promedios mensuales de la precipitación (p). Es frecuente que las precipitaciones se representen en barras y la temperatura con una línea.

Las escalas de temperatura y precipitación se toman según el índice de *Gausson*, es decir de manera que $2T (^{\circ}\text{C}) = p (\text{mm})$, o sea la escala de la precipitación sea el doble de la escala de la temperatura.

Cuando la curva de precipitación queda por encima de la curva de temperatura ocurre un periodo húmedo, y cuando la curva de temperatura queda por encima de la curva de precipitación se tiene un periodo de sequía (Zúñiga, 2010).

Se elaboraron 3 climogramas, para las estaciones climatológicas Mátape, San José de Pimas y Punta de Agua, que como se observó en la figura 15 corresponden a la parte alta, media y baja del área de estudio, respectivamente.

Los datos de los climogramas están comprendidos en un periodo de 7 años de 2006 a 2013. El análisis se realiza según los 12 meses del año, para esto se promedian para cada mes del año la suma de las precipitaciones diarias mensuales y se promedian los meses de los años estudiados.

La temperatura media mensual, se determina a partir de las temperaturas máxima y mínima diarias de cada día del mes, ambas variables en forma de datos medios sobre el número de años observados.

Para el climograma de la estación Mátape se utilizaron los datos de precipitación y temperatura de la tabla 14.

Estación Mátape 2006-2013														
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
P (mm)	17.60	10.07	5.47	0.43	4.03	24.04	224.30	182.81	138.83	26.21	40.83	23.11	697.73	Total anual
T (°C)	16.42	17.43	21.19	20.82	28.10	33.01	31.79	31.29	30.22	26.20	21.45	16.06	24.50	Media

Tabla 14. Precipitación y temperatura para el climograma de la estación Mátape.

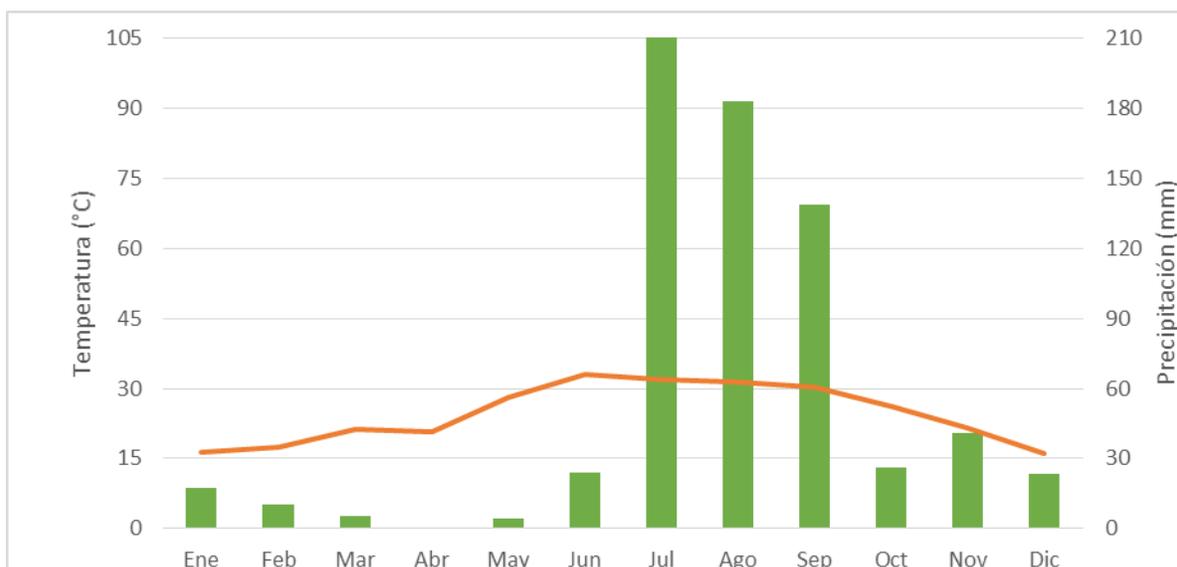


Figura 28. Climograma para la estación Mátape en el periodo comprendido entre los años 2006-2013.

En el análisis de precipitación por medio del climograma de la figura 28 que corresponde al periodo comprendido del 2006 al 2013 para Mátape, se pueden observar claramente tres divisiones muy marcadas en cuanto a la precipitación presente a lo largo del año. En los meses de enero a junio se tiene un periodo de déficit de lluvia o sequía muy pronunciado, ya que la precipitación se encuentra muy por debajo de la temperatura media, mientras que en los meses de julio a septiembre se observa un periodo húmedo o de exceso de lluvia con la mayor precipitación en el mes de julio con *224.30 mm*, los meses de octubre a diciembre corresponden a épocas con lluvias ocasionales que se encuentran en un límite entre un periodo árido y un periodo húmedo, la mayor de estas precipitaciones se tiene en el mes de noviembre con *40.83 mm*.

En cuanto al análisis de temperatura se presenta una temperatura media anual de *24.50°C*. El mes más frío es diciembre con una temperatura media de *16.06°C*, el mes más cálido es junio con una temperatura media de *33.01°C*.

El rango de variación térmica anual o amplitud térmica (AT) es de 16.95°C, lo cual resulta de la diferencia entre la temperatura del mes más cálido y la del mes más frío.

$$AT = \text{mes más cálido} - \text{mes más frío} = 33.01^{\circ}\text{C} - 16.06^{\circ}\text{C} = 16.95^{\circ}\text{C}$$

Para el climograma de la estación San José de Pimas se utilizaron los datos de precipitación y temperatura de la tabla 15.

Estación San José de Pimas 2006-2013														
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
P (mm)	14.14	4.14	4.17	0.86	1.03	17.97	165.00	100.31	70.27	17.34	28.41	8.43	432.07	Total anual
T (°C)	16.82	17.69	21.34	25.38	29.08	34.87	35.35	35.01	32.87	27.65	22.44	16.74	26.27	Media

Tabla 15. Precipitación y temperatura para el climograma de la estación San José de Pimas.

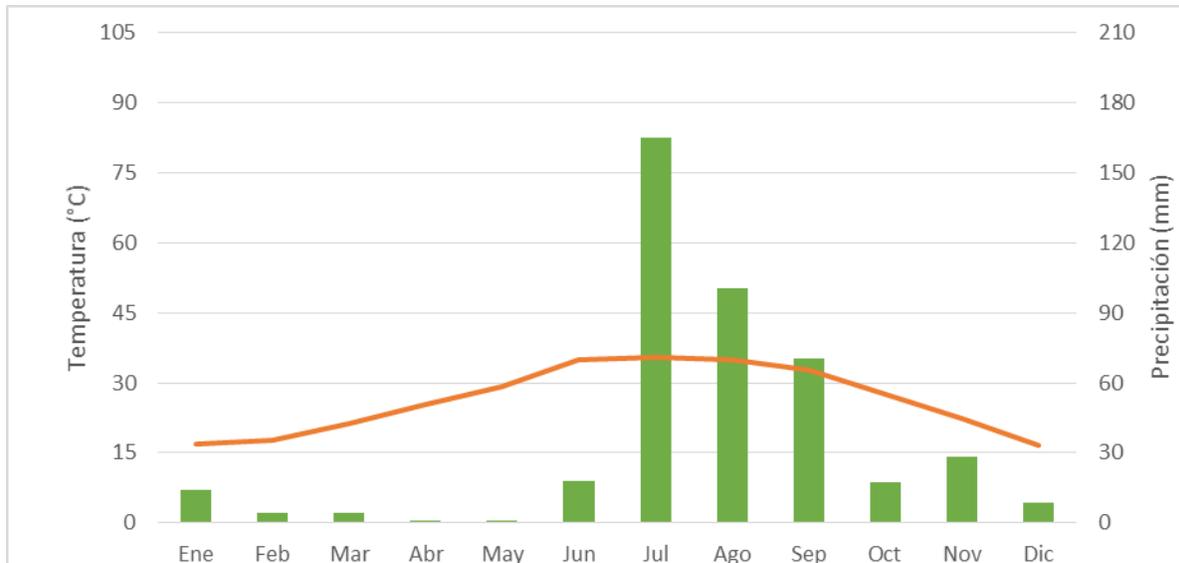


Figura 29. Climograma para la estación San José de Pimas en el periodo comprendido entre los años 2006 y 2013.

En el análisis de precipitación por medio del climograma de la figura 29 que corresponde al periodo comprendido del 2006 al 2013 para San José de Pimas, al igual que en la estación Mátape pueden observarse claramente tres divisiones muy marcadas en cuanto a la precipitación presente a lo largo del año. En los meses de enero a mayo se tiene un periodo de déficit de lluvia o sequía muy pronunciado, ya que la precipitación se encuentra muy por debajo de la temperatura media, junio es un mes el cual repone un poco la sequía de los meses anteriores, pero los meses de julio a septiembre son los meses del año en los cuales el periodo húmedo o de exceso de lluvia se encuentra muy pronunciado, la mayor precipitación se tiene en el mes de julio con *165.00 mm*, los meses de octubre a diciembre corresponden a épocas con lluvias ocasionales que se encuentran con la mayor de estas precipitaciones en el mes de noviembre con *28.41 mm*. De manera general las precipitaciones son más bajas que en la estación Mátape.

En cuanto al análisis de temperatura se presenta una temperatura media anual de 26.27°C . El mes más frío es diciembre con una temperatura media de 16.74 , y el mes más cálido es julio con una temperatura media de 35.35°C .

El rango de variación térmica anual o amplitud térmica (AT) es de 18.61°C .

$$AT = \text{mes más cálido} - \text{mes más frío} = 35.35^{\circ}\text{C} - 16.74^{\circ}\text{C} = 18.61^{\circ}\text{C}$$

Para el climograma de la estación Punta de Agua se utilizaron los datos de precipitación y temperatura de la tabla 16.

Estación Punta de Agua 2006-2013														
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
P (mm)	9.47	5.36	0.16	0.86	0.14	11.44	204.27	133.17	82.57	13.36	20.37	10.33	491.50	Total anual
T (°C)	16.85	18.07	21.60	24.18	27.93	34.25	35.22	34.74	33.08	27.61	22.41	16.72	26.06	Media

Tabla 16. Precipitación y temperatura para el climograma de la estación Punta de Agua.

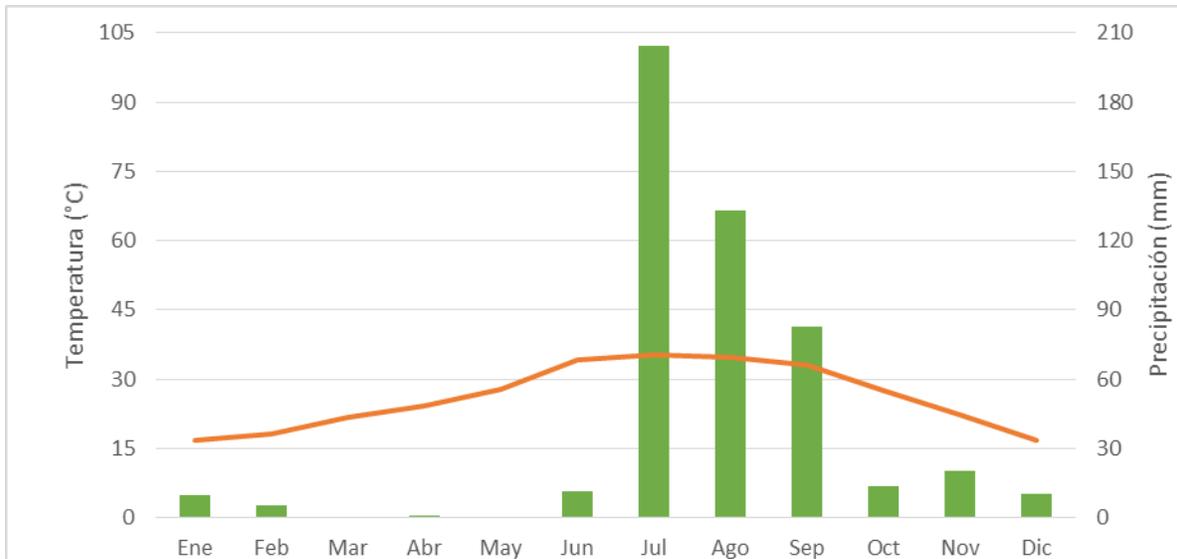


Figura 30. Climograma para la estación Punta de Agua en el periodo comprendido entre los años 2006 y 2013.

En el análisis de precipitación por medio del climograma de la figura 30 que corresponde al periodo comprendido del 2006 al 2013 para la estación Punta de Agua, puede observarse que se encuentra el mismo comportamiento de las otras dos estaciones con una temporada de lluvias en los meses de julio a septiembre que corresponde a la época de verano. Julio sigue siendo el mes con mayores lluvias registrándose *204.27 mm*, los meses de octubre a diciembre corresponden a épocas con lluvias ocasionales que se encuentran con la mayor de estas precipitaciones en el mes de noviembre con *20.37 mm*.

En cuanto al análisis de temperatura se presenta una temperatura media anual de 26.06°C . El mes más frío es diciembre con una temperatura media de 16.72°C , el mes más cálido es julio con una temperatura media de 35.22°C .

El rango de variación térmica anual o amplitud térmica (AT) es de 18.50°C .

$$AT = \text{mes más cálido} - \text{mes más frío} = 35.22^{\circ}\text{C} - 16.72^{\circ}\text{C} = 18.50^{\circ}\text{C}$$

Al observar el comportamiento de los climogramas por estación en la parte alta media y baja de la cuenca se puede concluir que no hay variaciones de uno a otro ya que se comportan de la misma forma en cuanto a sus precipitaciones y temperaturas con un rango de variación térmica muy amplio. Los meses de verano

de julio a septiembre, coinciden con un régimen exceso de lluvias, las cuales corresponden a la época de monzón del suroeste de Norteamérica (Reyes, 1994).

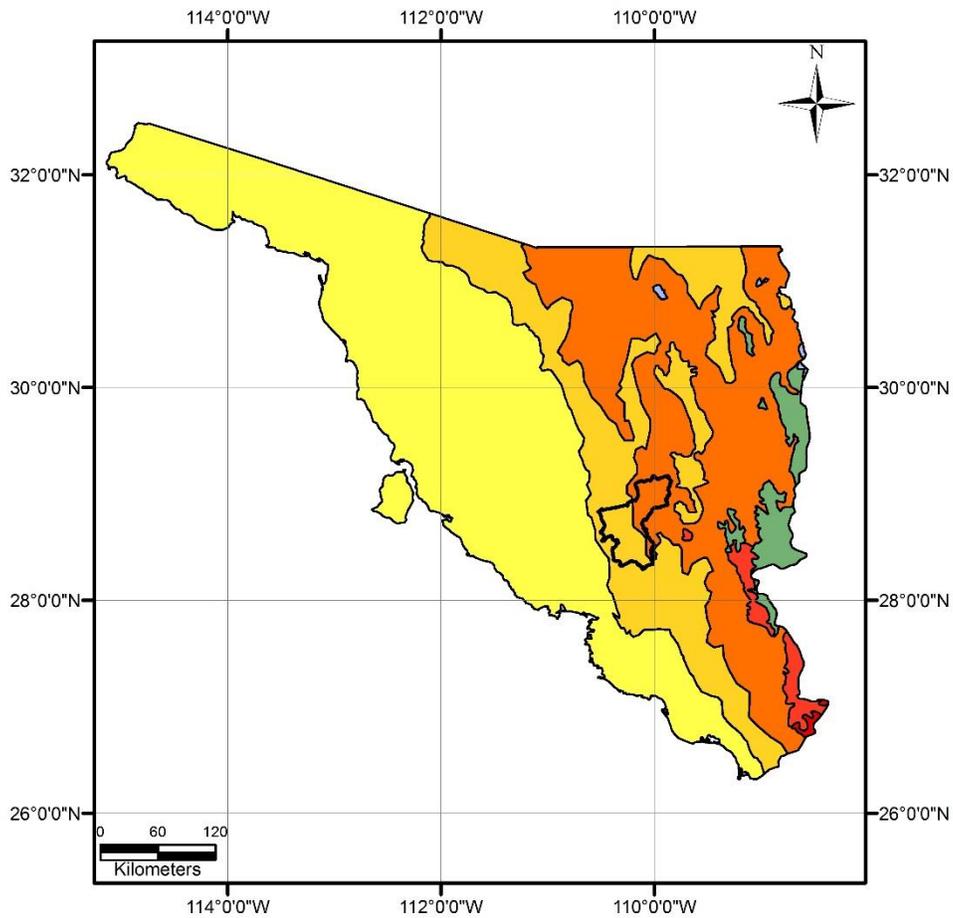
Las lluvias de los meses invernales de noviembre, diciembre y enero, corresponden a la temporada de equipatas o cabañuelas de invierno provocadas por el choque de masas de aire frío provenientes del norte con masas tropicales húmedas que originan lluvias suaves (CONAGUA, 2013).

Según la clasificación de Strahler (1994), el área de interés se clasifica como del tipo *desiertos tropicales* (Tabla 17).

Nombre	Extensión latitudinal	Localización en continentes	Masa de aire dominante	Temperatura	Precipitación anual	
				°C	cm	in
Ecuatorial lluvioso	10° N y S	Interior y costas	Cálida y muy húmeda	27°	más 200	más 80
Vientos alisios en el litoral	5-30° N y S	Estrechuras franjas costeras	Cálida y húmeda	24°	más 150	más 60
Desiertos tropicales	10-35° N y S	Interior y costas occidentales	Cálida y seca	24°	menos 25	menos 10
Desiertos de latitudes medias y estepas	30-50° N y S	Interior	Cálida y seca Fría y seca (invierno)	24° a -11°	10 a 50	4 a 20
Regiones subtropicales húmedas	25-45° N y S	Interiores y costas	Cálida y húmeda (verano)	24°	100 a 150	40 a 60
Costas occidentales de latitudes medias	35-65° N y S	Costas occidentales	Fresca y húmeda (invierna)	4°	más 100	más 40
Desiertos árticos y polares	60-90° N y S	Interiores y costas	Fría y seca (invierna), muy fría, muy seca (invierno)	-11°	menos 30	menor 12

Tabla 17. División regional del mundo según la precipitación y la temperatura (Strahler, 1994).

Según la clasificación de INEGI (2000), la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua se encuentra entre un *clima semiseco* en su parte alta, que es el representativo de la Sierra Madre Occidental y *clima seco* en su parte media y baja (Figura 31).



Climas en Sonora

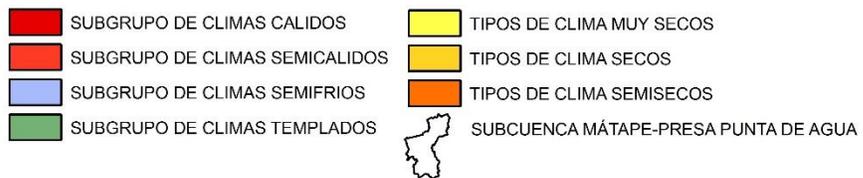


Figura 31. Climas en Sonora (INEGI, 2000).

3.3. Cálculo de precipitación media anual por el método de Polígonos de Thiessen

La precipitación media anual se determina a partir del análisis de los registros de las estaciones ubicadas dentro y vecinas a la cuenca, mediante el método de Polígonos de Thiessen.

Este método fue creado por Thiessen (1911) quien tomó en cuenta la distribución no uniforme de los pluviómetros en el área, mediante una ponderación de cada uno de ellos ya que en general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. El método al que llegó se describe a continuación:

1. Unir, mediante líneas rectas las estaciones más próximas entre sí (líneas discontinuas en la Figura 32). Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones climatológicas.
2. Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos (líneas rectas continuas en la Figura 32). Las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
3. Cada estación climatológica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente (Figura 33).

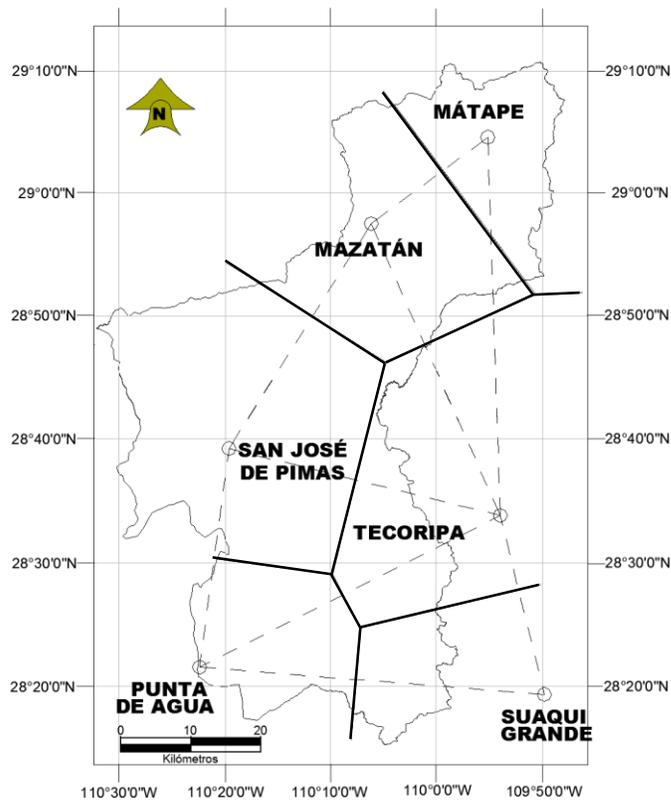


Figura 32. Método de Polígonos de Thiessen.

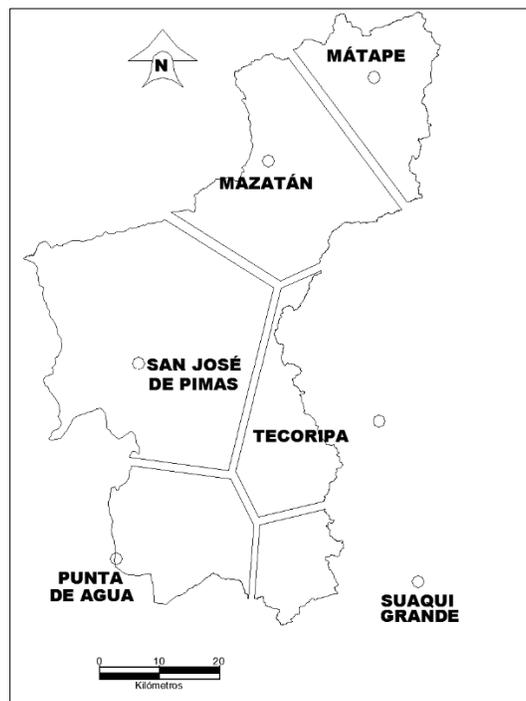


Figura 33. Áreas resultantes del Método de Polígonos de Thiessen.

La precipitación se calcula como un promedio pesado de las lluvias registradas en cada estación por el área de la estación correspondiente, usando la siguiente formula:

$$\overline{hp} = \frac{\sum_{i=1}^n (hp_i * A_i)}{A_t}$$

Donde:

\overline{hp} = Altura de precipitación media (mm)

hp_i = Altura de precipitación registrada en cada estación (mm)

A_i = Área del polígono (km²)

A_t = Área total de la cuenca (km²)

i y n = Número de áreas y lluvias consideradas

El método de los Polígonos de Thiessen, se puede utilizar para todos los parámetros del ciclo hidrológico. Así mismo se realizará para coherencia con los parámetros de temperatura (Tabla 18).

Años	Estación	Área del polígono (km ²)	Precipitación por estación (mm)	Precipitación* Área (mm*km ²)
2006-2013	Mátape	385.29	610.53	235,231.43
2006-2013	Mazatán	653.93	434.90	284,394.53
2006-2013	Punta de Agua	408.35	399.20	163,015.88
2006-2013	San José de Pimas	1,157.36	374.30	433,198.23
2006-2013	Suaqui Grande	189.57	482.75	91,513.43
2006-2013	Tecoripa	319.67	505.56	161,613.74
Total		3,114.17	2,807.23	1,368,967.24
Media			439.59	

Tabla 18. Calculo de la de la precipitación media de la cuenca.

La precipitación media para la cuenca por el método de los Polígonos de Thiessen según la tabla 18 fue de **439.59 mm/año**, si este número se transforma a metros y se multiplica por el área de la Subcuenca Mátape-Presa Punta de Agua también en las mismas unidades se obtiene el volumen precipitado en m³ que se

expresa en Mm³ (Millones de metros cúbicos) para un mejor manejo de las unidades (Tabla 19).

Área de la cuenca en (m ²)	Precipitación (m)	Volumen Precipitado (m ³)	Volumen Precipitado (Mm ³)
3'114,173,000	0.44	1'370,236,120	1,370.23

Tabla 19. Volumen precipitado en la cuenca.

3.4. Cálculo de evapotranspiración media anual por el Método de Turc

El agua del suelo contenida en el cinturón de agua del suelo puede ser arrastrada a las raíces de las plantas en crecimiento. Mientras las plantas utilizan el agua, la transpiran como vapor a la atmosfera. La precipitación interceptada por hojas y otras superficies vegetativas se pueden evaporar y las plantas también la pueden transpirar. La transpiración de las plantas y la evaporación pueden abreviarse juntas como evapotranspiración.

La evapotranspiración real puede calcularse por el método de Turc cuando se tienen datos de precipitación y temperatura media de la cuenca. Turc (1954) se basó en estudios estadísticos de numerosas cuencas en todo el mundo relacionando temperatura, precipitación y evapotranspiración.

Se empleara este método por la sencillez de los parámetros que requiere y que son de fácil obtención. Fue obtenida correlacionando datos.

Para el cálculo de la evapotranspiración se necesitan dos parámetros los cuales son la temperatura y la precipitación. Para utilizar el método de Turc es imprescindible calcular previamente la temperatura media anual de la cuenca. Para esto se debe de seguir el mismo procedimiento de los Polígonos de Thiessen esto con el fin de homogeneizar los datos obtenidos, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i * A_i)}{A_t}$$

\bar{T} = Temperatura media anual en la cuenca (°C)

T_i = Temperatura media registrada en cada estación (°C)

A_i = área del polígono (km²)

A_t = área total de la cuenca (km²).

La temperatura media anual de la cuenca, se calcula a partir de cada una de las temperaturas medias por estación (Tabla 20).

Estación	Temperatura media Anual (°C)	Área del polígono en (km ²)	Temperatura * Área del polígono (km ² *°C)
Mátape	21.67	385.29	8,348.47
Mazatán	23.19	653.93	15,165.82
San José de Pimas	22.57	408.35	9,216.46
Suaqui Grande	24.54	1157.36	28,396.51
Punta de Agua	22.80	189.57	4,321.55
Tecoripa	21.88	319.67	6,994.09
Total		3,114.17	72,442.91
Media	23.26		

Tabla 20. Temperatura anual de la cuenca aplicando el principio de los Polígonos de Thiessen.

La temperatura media anual de la cuenca y la altura de la precipitación media de la cuenca se emplean en la ecuación para calcular la evapotranspiración descrita por Turc la cual se expresa de la siguiente forma.

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{Tt}\right)^2}}$$

Donde:

ET = Evapotranspiración real anual (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

$It = 300+25T+0.05T^2$

T =Temperatura media (°C)

Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual de la cuenca	IT	Evapotranspiración (mm)
439.59	23.26	908.61	412.80

Tabla 21. Evapotranspiración real para la cuenca, calculada por el método de Turc.

La evapotranspiración media para la cuenca según la tabla 21 fue de **412.80 mm/año**, que multiplicada por el área de la subcuenca da el volumen que se muestra en la tabla 22.

Área de la cuenca (m ²)	Evapotranspiración (m)	Volumen de evapotranspiración (m ³)	Volumen de evapotranspiración (Mm ³)
3'114,173,000	0.41	1'285,504,602	1,285.50

Tabla 22. Volumen de la evapotranspiración real.

3.5. Cálculo de escurrimiento medio anual con el método de Coeficiente de escurrimiento especificado en la NOM-011-CNA-2000

En términos del ciclo hidrológico el escurrimiento superficial, se define como el volumen de las precipitaciones que caen sobre una cuenca, menos la retención superficial y la infiltración (Aparicio, 1992).

El escurrimiento es la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes y, en base a ella se considera el escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo (Vega, 2011).

Es usual que no se cuenten con los registros adecuados de escurrimiento en el área de interés o estos no representen los escurrimientos de la cuenca en su totalidad.

En toda la cuenca, solamente en el Río Mátape se han efectuado mediciones de los escurrimientos, esto por medio de la Estación Hidrométrica Punta de Agua, que se encuentra a 9 km aguas arriba del poblado Punta de Agua.

La estación hidrométrica Presa Punta de Agua no registra las aguas del arroyo Agua Caliente que se une por la margen izquierda antes de llegar a la presa Punta de Agua y después de la estación del mismo nombre (Ruiz, 2007).

La estación inició operaciones en Julio de 1957 con el fin de conocer el régimen del Río Mátape para el proyecto de la Presa Punta de Agua y en 1970 se suspendió por la construcción de esta presa también llamada Ignacio L. Alatorre, para finalmente reanudar mediciones en septiembre de 1976, con el nombre de Punta de Agua II, ubicándose inmediatamente aguas arriba de la presa (CONAGUA, 1990).

Los registros de lluvia son más abundantes que los de escurrimiento. Por lo cual, es conveniente contar con métodos mediante los cuales se determine el escurrimiento en una cuenca contando con datos de como las características del uso de suelo y permeabilidad además de la precipitación.

El escurrimiento se determina a partir de la *“Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”*. Según la NOM-011-CNA-2000 la determinación del escurrimiento natural de una cuenca, puede efectuarse por dos métodos, el método directo y el indirecto.

El método directo se aplica, si en la cuenca en estudio cuenta con suficiente información hidrométrica para un periodo mínimo de 20 años.

El método indirecto o también conocido como precipitación-escurrimiento, se aplica en caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información de registros hidrométricos o ésta sea escasa, para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural. Este método se aplica si la cuenca en estudio cuenta con suficiente información pluviométrica.

El método se basa en la función del tipo y uso de suelo (Tabla 23 y 24) y del volumen de precipitación anual, de la cuenca en estudio. La *NOM-011-CNA-2000* establece que a falta de información específica, la estimación se apoye en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) Estas características de la cuenca se conocen por medio de cartas de uso del suelo.

Tipo de suelo	Características
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a suelos A, terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

Tabla 23. Tipos y características de suelo (NOM-011-CNA-2000).

Al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtiene el valor del parámetro *K* en la intersección entre el uso y el tipo de suelo (Tabla 24). Si en la cuenca en estudio existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de *K* se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

Uso del suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.30
Cultivos:			
En hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.30
Granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizal (% del suelo cubierto o pastoreo):			
Más del 75% -Poco-	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75% -Regular-	0.20	0.24	0.30
Menos del 50% -Excesivo-	0.24	0.28	0.30
Bosque:			
Cubierto por más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto por menos del 25%	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Camino	0.27	0.30	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30

Tabla 24. Valores de *K* en función del uso y tipo de suelo (NOM-011-CNA-2000).

Una vez obtenido el valor de K y conociendo la precipitación total anual en mm (P), el coeficiente de escurrimiento (C_e) se calcula mediante la expresión empírica que se muestra en la tabla 25 la cual muestra una ecuación si el valor de K es mayor a 0.15 y otro para K menor a 0.15.

K: parámetro que depende del tipo de suelo	C_e: Coeficiente de escurrimiento anual (adimensional)
Si $K \leq 0.15$	$C_e = K(P-250)/2000$
Si $K > 0.15$	$C_e = [K(P-250)/2000] + [(K - 0.15)/1.5]$

Tabla 25. Cálculo del coeficiente de escurrimiento anual (NOM-011-CNA-2000).

El coeficiente de escurrimiento, se determinó mediante el método de K en función del tipo y uso de suelo y de la precipitación media anual de la cuenca.

Para la aplicación de este método, se utilizó la carta hidrológica de aguas subterráneas 1:1000,000 de Hermosillo editada por el INEGI para determinar el tipo de suelo, e información en formato *shape* también de INEGI acerca del uso de suelo (Figura 34). Se hizo la intersección de los tipos y características de suelo y usos de suelo, la cual da un parámetro K que como se observa en la tabla 25 sirve para estimar mediante una ecuación, el coeficiente de escurrimiento. El parámetro K para estimar el coeficiente de escurrimiento nos da dos casos, uno en el que K es mayor a 0.15 y otra en la que K es menor que 0.15.

En el caso del área de estudio, el parámetro K siempre fue mayor a 0.15 por lo que se utilizó la segunda ecuación de la tabla 25.

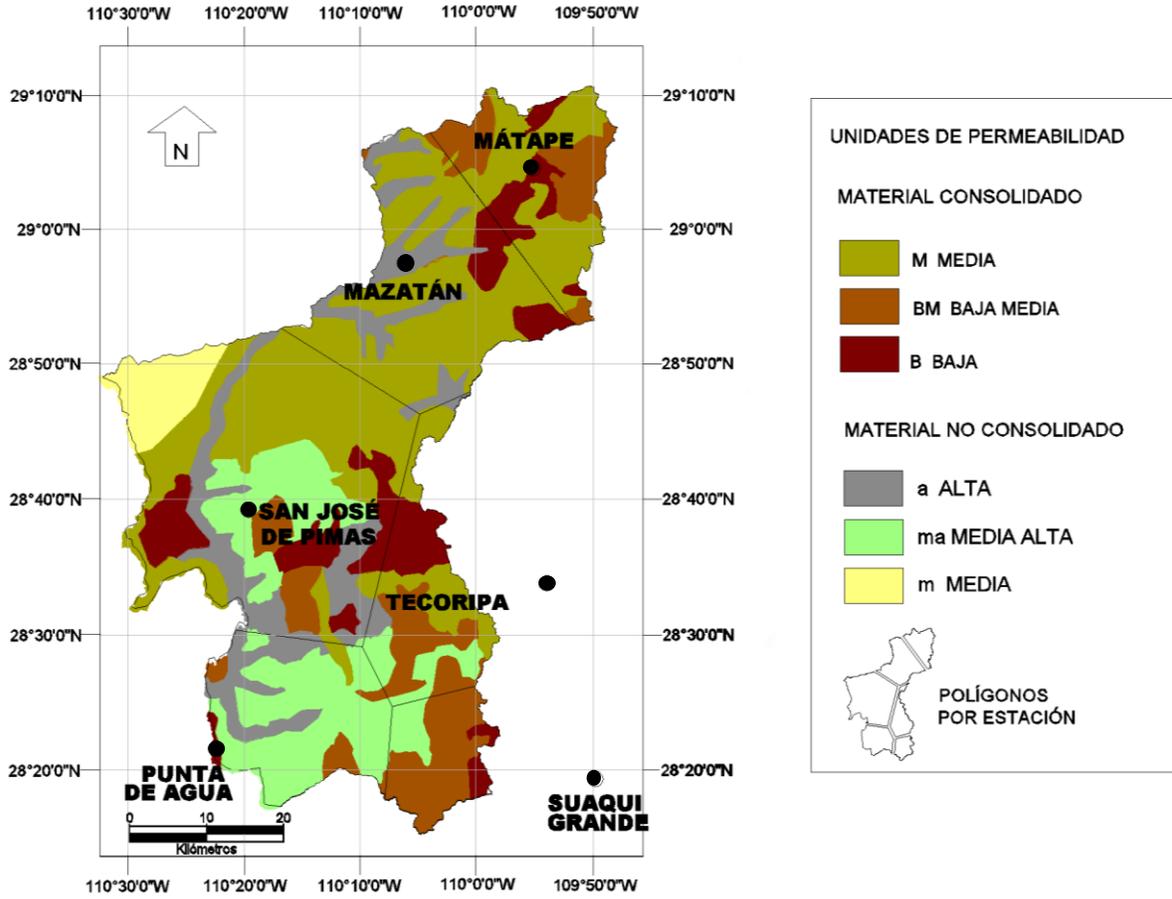


Figura 34. Determinación del tipo de suelo según su permeabilidad, con información de la carta hidrológica de aguas subterráneas del INEGI, 1:250,000 Hermosillo.

Estación	Unidades de permeabilidad	Descripción	Tipo de suelo	Uso suelo	Total área (km ²)	K	K ponderada	Precipitación en la Estación (mm/año)	Ce
Mátape	B	Material Consolidado, Permeabilidad Baja	C	Barbecho, áreas incultas y desnudas	52.01	0.30	0.22	610.52	0.09
	BM	Material Consolidado, Permeabilidad Baja Media	B	Pradera Permanente	107.14	0.24			
	M	Material Consolidado, Permeabilidad Media	B	Pastizal Más del 75% -Poco	226.14	0.20			
Mazatán	B	Material Consolidado, Permeabilidad Baja	C	Barbecho, áreas incultas y desnudas	77.08	0.30	0.13	434.90	0.06
	BM	Material Consolidado, Permeabilidad Baja Media	B	Pradera Permanente	45.54	0.24			
	a	Material No Consolidado Permeabilidad Alta	A	Pastizal más del 75%	100.53	0.14			
	M	Material Consolidado, Permeabilidad Media	B	Pastizal más del 75%	430.85	0.20			
Punta de Agua	a	Material No Consolidado Permeabilidad Alta	A	Pastizal más del 75%	45.96	0.14	0.23	399.20	0.07
	B	Material Consolidado, Permeabilidad Baja	C	Barbecho, áreas incultas y desnudas	15.32	0.30			
	BM	Material Consolidado, Permeabilidad Baja Media	B	Bosque Cubierto por menos de 25%	52.81	0.28			
	ma	Material No Consolidado Permeabilidad Media Alta	A	Cultivos en hilera	284.50	0.24			
	M	Material Consolidado, Permeabilidad Media	B	Pastizal Más del 75% -Poco	9.80	0.20			
San José de Pimas	M	Material Consolidado, Permeabilidad Media	B	Pastizal Más del 75% -Poco	395.92	0.20	0.20	374.30	0.05
	B	Material Consolidado, Permeabilidad Baja	C	Barbecho, áreas incultas y desnudas	136.55	0.30			
	ma	Material No Consolidado Permeabilidad Media Alta	A	Pastizal Más del 75% -Poco	230.29	0.14			
	m	Material No Consolidado Permeabilidad Media	B	Cultivos en hilera	150.33	0.24			
	a	Material No Consolidado Permeabilidad Alta	A	Pastizal más del 75%	135.20	0.14			
	BM	Material Consolidado, Permeabilidad Baja Media	B	Pradera Permanente	109.48	0.24			
Suaqui Grande	ma	Material No Consolidado Permeabilidad Media Alta	A	Cultivos en hilera	43.04	0.24	0.24	482.75	0.09
	B	Material Consolidado, Permeabilidad Baja	C	Barbecho, áreas incultas y desnudas	17.02	0.30			
	BM	Material Consolidado, Permeabilidad Baja Media	B	Pradera Permanente	130.02	0.24			
Tecoripa	B	Material Consolidado, Permeabilidad Baja	C	Cultivos en hilera	70.29	0.30	0.24	505.56	0.09
	M	Material Consolidado, Permeabilidad Media	B	Pradera Permanente	70.42	0.24			
	a	Material No Consolidado Permeabilidad Alta	A	Cultivos en hilera	56.99	0.24			
	BM	Material Consolidado, Permeabilidad Baja Media	C	Pradera Permanente	56.29	0.30			
	ma	Material No Consolidado Permeabilidad Media Alta	A	Pastizal más del 75%	65.00	0.14			
Total					3114.53		0.20	439.59	
Media									0.053

Tabla 26. Aplicación de la NOM-011-CNA-2000, para el cálculo del escurrimiento.

Los resultados de los cálculos para el coeficiente de escurrimiento se observan en la tabla 26. En cada estación hay diferentes tipos y usos de suelo lo que nos da diferentes valores de K , por lo que en el área, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas. Por lo que K total se refiere a la ponderación de este parámetro para cada uso y tipo de suelo por estación.

Con los valores de K se obtiene los coeficientes de escurrimiento para cada estación y el coeficiente de escurrimiento medio para toda la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua es la media ponderada de todos estos.

El coeficiente de escurrimiento es un número adimensional, que para el área de la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua es igual a 0.053.

Para estimar el escurrimiento medio de la cuenca se multiplica directamente el valor del coeficiente de escurrimiento por la precipitación media anual de la cuenca, sin tomar en cuenta la evapotranspiración, pues la evapotranspiración está incluida en el coeficiente de escurrimiento, tal como se muestra a continuación (Tabla 27).

$$Vm = Ce * Pp$$

Donde:

Vm = Volumen medio escurrido (mm)

Ce = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

Pp = Precipitación media anual (mm)

Precipitación media anual (mm)	Coeficiente de escurrimiento	Escurrimiento medio anual (mm)
439.59	0.053	23.30

Tabla 27. Escurrimiento medio anual en mm para la cuenca.

Este escurrimiento medio anual se multiplica por el área total de la cuenca obteniéndose el volumen de **escurrimiento natural**, el cual toma este nombre porque aún no se toma en cuenta los embalses que retienen las aguas superficiales (Tabla 28).

Área de la cuenca en (m ²)	Escorrentamiento medio anual (m)	Volumen escurrido (m ³)	Volumen escurrido (Mm ³)
3'114,173,000	0.023	72,555,256.01	72.56

Tabla 28. Escorrentamiento natural del área de estudio.

Para calcular el **escorrentamiento real**, se cuantifica el agua que retienen los embalses superficiales, aguas arriba de la Presa Punta de Agua y a este volumen se le resta al volumen de escorrentamiento para obtener el volumen de **escorrentamiento real** que es el que realmente llega a la salida de las subcuencas.

Según datos actualizados de la CONAGUA para Presa Punta de Agua, La Haciendita y repesos, el volumen medio de escorrentamiento anual para estos los muestra la tabla 29.

Volumen almacenado		
	m ³ año	Mm ³ año
Presa Punta de Agua	31,800,000	31.80
La Haciendita	4,000,000	4.00
Repesos	9,000,000	9.00
Total	44,800,000	44.80

Tabla 29. Volumen medio almacenado, (CONAGUA, 2015 y Ruíz, 2007).

El volumen total retenido en presas y repesos es de 44.80 Mm³, a este volumen se le resta el volumen de escorrentamiento natural y se obtiene el volumen escurrido real que como se ve en la tabla 30 es de 27.76 Mm³.

Volumen escurrido natural en Mm ³	Volumen almacenado Mm ³	Volumen escurrido real en Mm ³
72.56	44.80	27.76

Tabla 30. Volumen medio almacenado (CONAGUA, 2015 y Ruiz 2007).

3.6. Cálculo de infiltración media anual (ecuación del ciclo hidrológico)

La infiltración se define como la cantidad de agua procedente de las precipitaciones la cual si el suelo es lo suficientemente poroso puede atravesar y fluir la superficie del terreno y ocupar total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo (Fetter, 2001).

El agua de infiltración que se deduce de la resolución del balance hídrico es aquella que supera la retención superficial y alcanza horizontes más profundos, conectando con el sistema acuífero general; es decir el agua de recarga.

El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y después cualquier proceso pasa a ser parte del agua subterránea. La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se llama capacidad de infiltración. Durante una tormenta sólo se satisface la capacidad de infiltración mientras ocurre la lluvia en exceso (Aparicio, 1992).

Para calcular la infiltración se puede aplicar la ecuación del ciclo hidrológico la cual provee una manera de evaluar un balance fundamentado en el principio de la *ley de conservación de la materia*, ya que se obtiene por diferencias entre la *precipitación efectiva y el escurrimiento real*, para dar como resultado el volumen infiltrado.

La precipitación efectiva o lluvia efectiva se define como, la parte de la lluvia que permanece en el suelo y contribuye al desarrollo de los cultivos (Campos, 1987).

Dicho de otra forma la precipitación efectiva se define como el volumen de agua de las lluvias que se aprovecha para su uso, después de que esta pasa su proceso de evaporación.

El cálculo de la precipitación efectiva para la cuenca puede observarse en la tabla 31.

Precipitación media (mm)	Evapotranspiración (mm)	Precipitación efectiva (mm)
439.59	412.79	26.80

Tabla 31. Precipitación efectiva para la cuenca en milímetros.

El volumen de la precipitación efectiva calculado en volumen es 84.73 Mm³ (Tabla 32).

Volumen Precipitado (Mm ³)	Volumen de evapotranspiración (Mm ³)	Volumen de precipitación efectiva (Mm ³)
1,370.23	1,285.50	84.73

Tabla 32. Precipitación efectiva para la cuenca en volumen.

La infiltración se calcula por la diferencia entre el volumen natural escurrido y la precipitación efectiva.

La ecuación del ciclo hidrológico, es una ecuación conservativa del volumen de la lluvia y toma en cuenta todos los parámetros anteriormente calculados y de esta forma por diferencia con los parámetros previamente calculados obtener la infiltración (Tabla 33 y 34).

$$Inf = Pp - Esc - Evap$$

Donde:

Pp = Precipitación (mm)

Esc = Escurrimiento natural (mm)

$Evap$ = Evapotranspiración

Inf = Infiltración (mm)

Precipitación media (mm)	Evapotranspiración (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Escurrimiento medio natural (mm)	Escurrimiento medio real (mm)	Infiltración (mm)
439.59	412.79	26.80	23.30	8.91	3.50

Tabla 33. Infiltración y todos los otros parámetros del ciclo hidrológico calculados en mm.

Si queremos expresar todo lo anterior a volumen tendremos todos los parámetros hidrológicos en Millones de metros cúbicos.

Precipitación Mm ³	Evapotranspiración Mm ³	Precipitación efectiva Mm ³	Escurrimiento medio natural Mm ³	Escurrimiento real Mm ³	Infiltración Mm ³
1,370.23	1,285.50	84.73	72.56	27.76	12.18

Tabla 34. Infiltración y todos los otros parámetros del ciclo hidrológico calculados en Mm³.

Capítulo IV, Hidrogeología

4.1. Provincia hidrogeológica

La delimitación de las Provincias Hidrogeológicas fue publicada por Velázquez y Ordaz en 1994, como resultado de dividir la República Mexicana regionalmente en áreas que se singularizan por su fisiografía, homogeneidad geológico-estructural, así como por ciertas características hidráulicas como la porosidad, permeabilidad y transmisividad de las rocas (Figura 35).

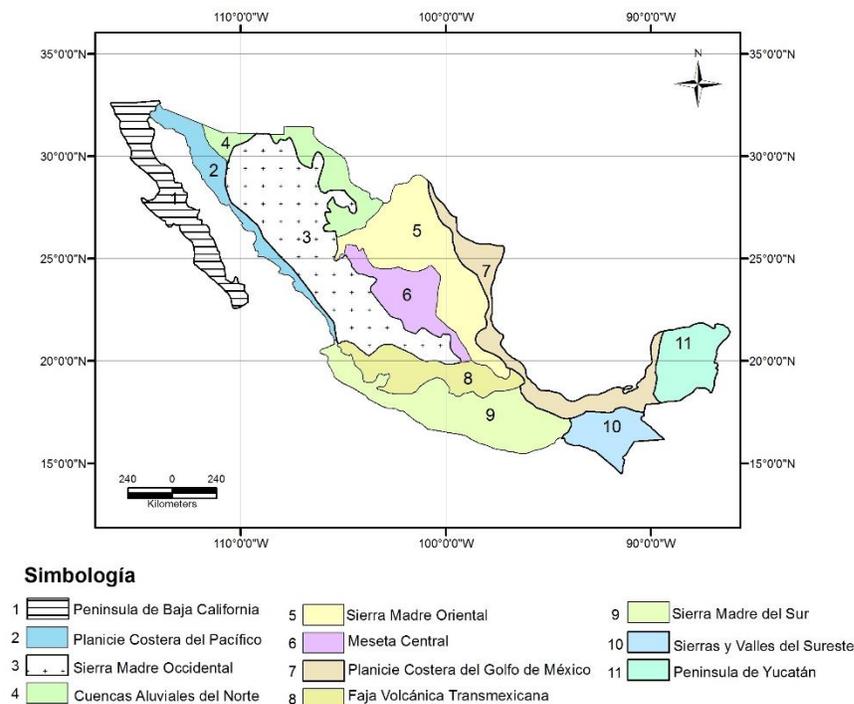


Figura 35. Elaborado según Provincias Hidrogeológicas de México, (Velázquez y Ordaz, 1994).

La delimitación según los autores mencionados se basó en la división descrita por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (actualmente SAGARPA), de provincias fisiográficas y geológicas, además de considerar fundamentalmente el comportamiento del agua subterránea (Velázquez y Ordaz, 1994).

El área de estudio según esta división se encuentra en la provincia hidrogeológica de la Sierra Madre Occidental la cual cubre aproximadamente 385,845 km² del territorio mexicano y es descrita como una región relativamente alta, compuesta por una compleja secuencia de rocas volcánicas del Cenozoico, cubiertas en algunos lugares por delgados depósitos de suelos residuales. Los parámetros hidráulicos que describen los autores para esta provincia dan para la transmisividad un rango que fluctúa entre 100 a 10,000 m²/d y una conductividad hidráulica de 10 a 500 m/d

4.2. Acuíferos de la Cuenca del Río Mátape

La cuenca hidrológica del Río Mátape se encuentra dividida en tres acuíferos los cuales son, el Acuífero Río Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas (Figura 36).

Para fines prácticos el balance hidrogeológico de aguas subterráneas se efectuó solamente tomando en cuenta al Acuífero Río Mátape, debido a lo extenso del Acuífero Valle de Guaymas y a que su límite está muy por fuera de los de La subcuenca Río Mátape Presa Punta de Agua.

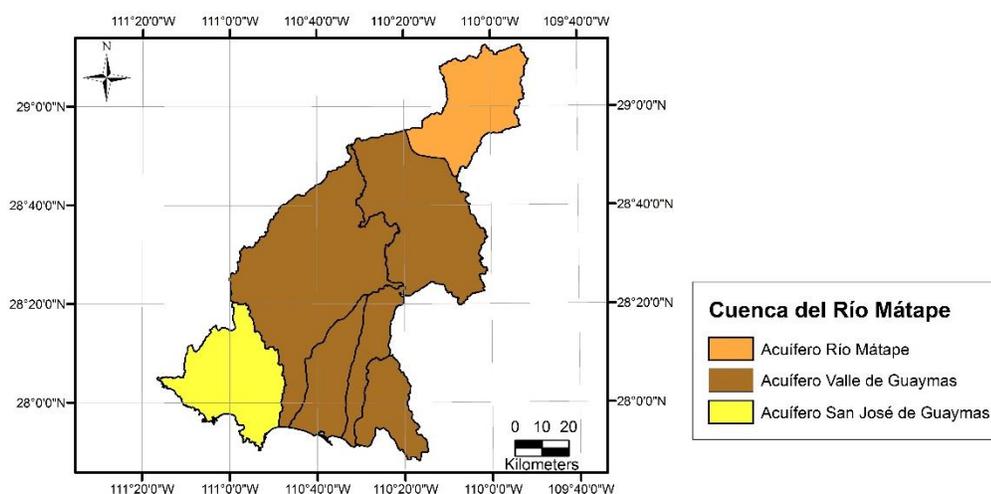


Figura 36. Acuíferos que conforman la cuenca hidrológica del Río Mátape.

4.3. Descripción del acuífero

Un acuífero es un recipiente subterráneo que tiene recarga (entrada), descarga (salida) y cierto almacenamiento.

Según la geología del área la principal zona de recarga en el Acuífero Río Mátape, se localiza en su parte central, donde se encuentra mayormente constituido de material sedimentario granular, y aquí es donde se encuentran asentadas la mayor parte de las extracciones de aguas subterráneas en la región. Teóricamente las zonas fracturadas en las sierras, también aportan agua al subsuelo pero esta cantidad es despreciable.

La descarga natural del acuífero se concentra principalmente al suroeste, la dirección de flujo subterráneo coincide con la del flujo superficial del Río Mátape, lo que provoca que la extracción no exceda a la recarga.

4.3.1. Unidades geohidrológicas del Acuífero Río Mátape

La CONAGUA (2010) describe el acuífero como del tipo heterogéneo y libre con materiales arcillosos principalmente constituidos por horizontes superficiales de la unidad aluvial reciente, conformada por gravas, arenas y arcillas, así como por depósitos conglomeráticos con permeabilidades de medias a bajas, que llegan a formar un espesor de hasta 50 m. La principal explotación se realiza en el cauce del Río Mátape y sus tributarios.

Se consideran dos basamentos geohidrológicos uno es el conglomerado de la Formación Báucarit, el otro está conformado por rocas cristalinas metamórficas de edad precámbrica de la Sierra de Mazatán, y un intrusivo Cretácico.

El acuífero está constituido por depósitos aluviales y el conglomerado polimíctico, que por su granulometría le confieren permeabilidades que varían de medias a bajas. El material conglomerático del Cuaternario sustenta la mayor parte de los aprovechamientos hidráulicos, cuyos gastos varían de 2 a 5 L/s (litros por segundo), mientras que depósitos aluviales recientes ubicados principalmente sobre las márgenes del Río Mátape, soportan un gasto mayor, hasta de 10 L/s, principalmente en época de lluvias.

Una de las unidades hidrogeológicas más importantes es la Formación Báucarit, cuya permeabilidad de baja a nula hace que opere como basamento hidrogeológico para la zona granular reciente, que conforma el acuífero actualmente en explotación, y que genera un posible acuífero confinado formado por calizas del Paleozoico con alto fracturamiento.

El material volcánico ácido de la Formación Lista Blanca, ubicado al suroeste del acuífero, se caracteriza por tener potencial hidrológico atractivo, para gastos que varían entre 30 y 40 L/s.

4.3.2. Paros de bombeo

Los paros de bombeo son realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) una vez al año en un periodo que comprende una semana. Estos buscan evaluar el comportamiento de los acuíferos por su régimen dinámico y simultáneamente medir los niveles estáticos, así como tomar muestras de agua para su análisis y evaluación de la calidad del agua.

La CONAGUA solicita a los usuarios del agua dejen de bombear los pozos algunos días antes de la medición para que el nivel del agua se estabilice; posteriormente, mide con sonda eléctrica, la profundidad del nivel del agua en cada pozo para conocer el nivel estático del agua y así determinar si el acuífero ha sufrido recuperación o abatimiento. La evaluación dinámica de los pozos (pruebas de bombeo) consiste en registrar el abatimiento en tiempos dados y registrarlos en software o métodos gráficos para la determinación de los parámetros hidráulicos del acuífero.

Los acuíferos de Caborca, Costa de Hermosillo y Valle de Guaymas, son donde esta medición se ha llevado a cabo en forma sistemática desde 1974 hasta la fecha, arrojando un importante acervo de información sobre la evolución de los niveles estático y dinámico de los acuíferos, así como de la calidad del agua (CEA, 2005).

Otras tres importantes zonas de explotación son el valle del Yaqui, Valle del Mayo y el área de Sonoyta, donde también existen antecedentes de evoluciones del comportamiento del acuífero, aunque no de manera completa y sistemática.

En el resto de las zonas acuíferas de Sonora, existen mediciones del agua subterránea sólo en casos aislados de recorridos o campañas esporádicas de piezometría o estudios específicos. Esto se hace notar en el área de estudio.

4.4. Parámetros geohidrológicos.

La Información de los parámetros geohidrológicos en los acuíferos se determina según la respuesta dinámica, a la estimulación de los pozos y norias, esto mediante los paros de bombeo y pruebas de bombeo que nos permiten determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero como son la transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica.

La mayoría de los estudios se concentran en el Valle de Guaymas, ubicado en la parte baja de la Cuenca del Río Mátape. Esto conduce a que se carezca de datos de transmisividades en la parte alta de la cuenca.

Ruiz en 2007 efectuó pruebas de bombeo en la parte alta de la Cuenca del Río Mátape (Subcuenca Mátape Presa Punta de Agua) sobre el límite de los acuíferos Mátape y Valle de Guaymas, en tres pozos de las siguientes localidades: Cobachi, La Calera, (municipio de La Colorada) y Mátape, (municipio de Villa Pesqueira). Estableció que en las primeras dos se tuvo una respuesta palpable del acuífero al estímulo proporcionado a través del bombeo y en la tercera prueba la cual fue efectuada en un pozo agrícola en el poblado de Mátape, no se registraron abatimientos por lo que se considera que la prueba falló.

Ruiz explica que el fallo posiblemente se deba a que el acuífero en ese momento tenía mucha recarga producto de la lluvia, y el bombeo no significó cambios en la elevación del nivel estático.

Para determinar los volúmenes de flujos subterráneos de entrada y salida del acuífero descrito más adelante, se usaron los valores de los parámetros consignados por CONAGUA en 2010, a partir de la interpretación de 4 pruebas de bombeo de corta duración distribuidas estratégicamente en el acuífero. La corta duración de estas pruebas se debe a que la mayoría de los aprovechamientos en el

acuífero son norias, al uso y condiciones de bombeo y a que su gasto de funcionamiento es poco.

La transmisividad o transmisibilidad es la medida de la cantidad de agua que puede ser transmitida horizontalmente a través del ancho unitario de un acuífero totalmente saturado bajo un gradiente hidráulico unitario (Fetter, 2001). La transmisividad varía si la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero también lo hacen. Para los cálculos realizados en la tesis en el Acuífero Río Mátape se utilizó el valor de, transmisividad, consignado por CONAGUA (2010), el cual es de $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

4.5. Censo de pozos

En el área del Acuífero Río Mátape se han realizado con anterioridad censos para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico, aunque no se cuenta con un gran registro histórico de la evolución del área. En 2008 la CONAGUA y el Servicio Geológico Mexicano SGM realizaron un censo para el Acuífero Río Mátape, cuyos datos fueron colectados por el Servicio Geológico Mexicano, para determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea del Acuífero del Río Mátape (Tabla 36 anexada al final del capítulo). En dicho censo se tienen 157 aprovechamientos de los cuales 140 fueron norias y 17 pozos.

En 2013 el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora (UNISON), realizó para CONAGUA, el “Estudio base para determinar la actualización de la disponibilidad del Acuífero 2634 Río Mátape, Estado de Sonora” en el cual se analizaron 23 aprovechamientos en esta área.

Los aprovechamientos censados se muestran en la tabla 35 (anexada al final del capítulo) y la figura 37.

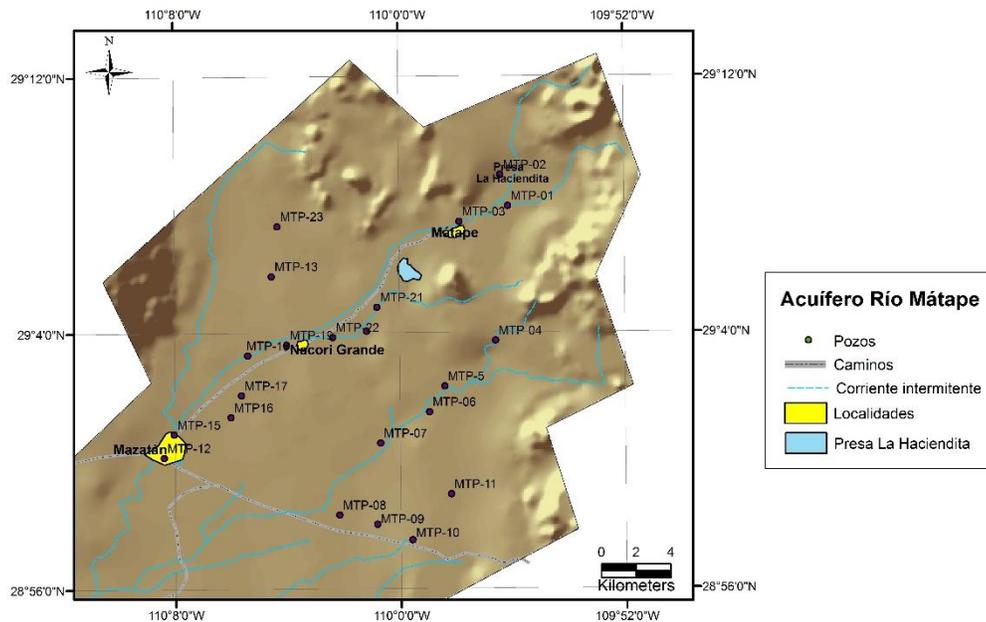


Figura 37. Aprovechamientos visitados en el censo de 2013, (UNISON y CONAGUA, 2013).

Como se observó en la figura anterior la distribución del censo en el estudio considera 23 aprovechamientos los cuales se ubican entre Mátape y Mazatán.

En el actual trabajo se efectuó durante el mes de mayo del 2015 una campaña de campo para elaborar un censo en el cual se visitaron 13 aprovechamientos en los que se midió la profundidad del nivel estático con sonda, además de analizar in situ parámetros físicos en el agua como el pH y la conductividad eléctrica (CE). Los pozos visitados se localizan entre las localidades de Mátape y Cobachi y se muestran uno a uno a continuación.



Ilustración 1. Predio Cánori.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne-brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
1	Cánori	602353	3220465	780	Noria	0.14	2.53	2.39	777.61	Pecuario

Tabla 37. Predio Cánori.



Ilustración 2. Predio El Horno.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne-brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
2	El Horno	601930	3224831	797	Noria	1.84	4.50	2.66	794.34	Pecuario

Tabla 38. Predio El Horno.



Ilustración 3. Rancho Santo Niño.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne- brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
3	Santo Niño	600655	3214758	718	Noria	0.55	15.08	14.53	703.47	Pecuario

Tabla 39. Rancho Santo Niño.



Ilustración 4. Poblado Mátape.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne- brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
4	Mátape	598177	3220230	713	Pozo	2.80	7.30	4.50	708.50	Doméstico

Tabla 40. Poblado Mátape.



Ilustración 5. Predio Guaymuri.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne-brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
5	Guaymuri	593746	3215418	631	Noria	0.90	13.49	12.59	618.41	Pecuario

Tabla 41. Predio Guaymuri.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne-brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
6	Nacori Grande	591784	3215133	617	Noria	0.32	9.36	9.04	607.96	Doméstico

Tabla 42. Poblado Nacori Grande.



Ilustración 6. Predio La Chepeña.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne- brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
7	La Chepeña	592110	3215458	621	Pozo	0.72	23	22.28	598.72	Agrícola

Tabla 43. Predio La Chepeña.



Ilustración 7. Predio El Rodeo

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msn m)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne- brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
8	El Rodeo	590007	3221722	619	Noria	0.56	14.10	13.54	605.46	Agrícola y Pecuario

Tabla 44. Predio El Rodeo.



Ilustración 8. Predio Noria Morohui.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msnm)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne-brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
9	Noria Morohui	590349	3221722	640	Noria	0.90	22.21	21.31	618.69	Pecuario

Tabla 45. Predio Noria Morohui.



Ilustración 9. Predio no identificado (carretera a Mazatán).

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msn m)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne-brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
10		584412	3209664	543	Pozo	0.30	11.92	11.62	531.38	Sin uso

Tabla 46. Predio no identificado (carretera a Mazatán).



Ilustración 10. Poblado Mazatán.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msn m)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne- brocal	Elev. Ne (msn m)	Uso
11	Mazatán	584600	3208436	550	Pozo	0.42	17.76	17.34	532.66	Doméstico

Tabla 47. Poblado Mazatán.



Ilustración 11. Predio La Milpita.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msn m)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne- brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
12	La Milpita	583809	3208312	540	Noria	0	2.58	2.58	537.42	Sin uso

Tabla 48. Predio La Milpita.

Clave de campo	Predio	X wgs84	Y wgs84	Z wgs84 (msn m)	Tipo de aprov.	Altura brocal (m)	Prof. Ne+ brocal (m)	Prof. Ne- brocal	Elev. Ne (msnm)	Uso
13	Cobachi	573045	3196745	457	Pozo	1.12	4.83	3.71	453.29	Doméstico

Tabla 49. Poblado Cobachi.

La ubicación de los aprovechamientos censados se muestra en la figura 38 empezando en Mátape y finalizando en Cobachi.

Dentro del área del acuífero, la profundidad mínima al nivel estático en abril del 2015 fue de 2.39 m, en el pozo del predio Cánori, localizado a 3 km al este de Mátape.

La mayor profundidad fue de 22.28 m en el pozo La Chepeña (Tabla 43) localizado a las afueras de Nácori Grande.

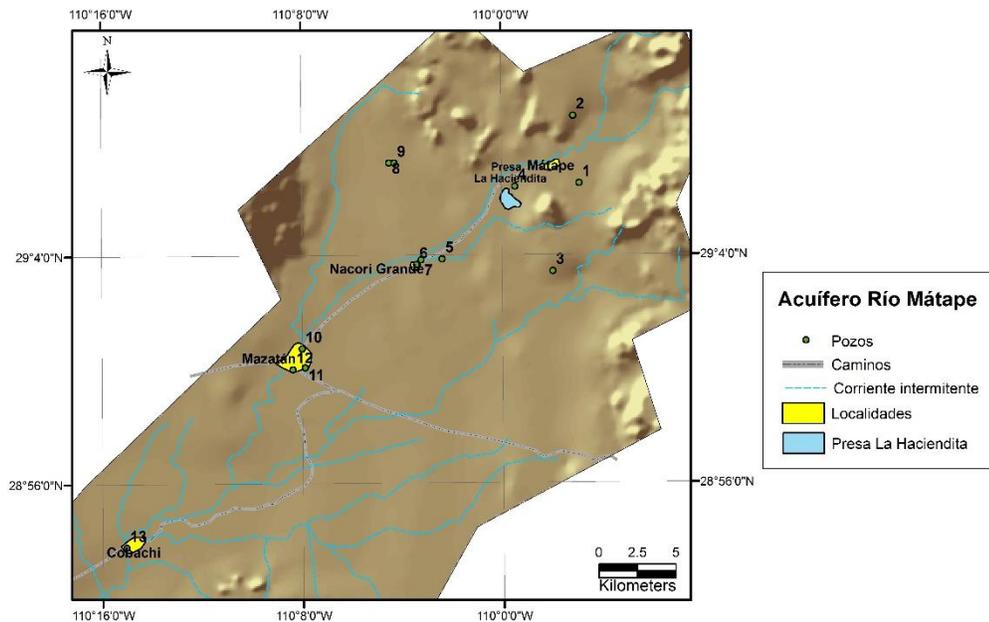


Figura 38. Aprovechamientos censados durante la campaña de campo.

Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA, 2013) dentro del Acuífero Río Mátape existen un total de 176 aprovechamientos para diversos usos (Tabla 50).

Uso	Número de aprovechamientos	Número de aprovechamientos %	Volumen extraído (Mm ³ /año)	Volumen extraído %
Pecuario	141.00	80.10	1.46	35.00
Doméstico	18.00	10.20	0.85	20.40
Agrícola	7.00	4.00	0.70	16.90
Público Urbano	6.00	3.40	1.15	27.60
Usos Múltiples	4.00	2.30	0.004	0.10
	176.00	100.00	4.16	100.00

Mm³/año = millones de metros cúbicos por año o hectómetros por año.

Tabla 50. Pozos del Acuífero Río Mátape (REPDA, 2013).

En el Acuífero Río Mátape los aprovechamientos de agua subterránea se destinan en un 80 % al uso pecuario, 10% a uso doméstico y solo 4% a uso agrícola. El resto se dedica a los usos público urbano y múltiples (Tabla 50; Figura 39).

Se puede observar que el 80% de los aprovechamientos que representa el uso pecuario, sólo toma 35% del volumen concesionado, mientras que el uso doméstico con 10% de aprovechamientos representa el 20% del volumen utilizado, y el agrícola con el 4% del total de pozos utiliza el 17% del volumen total extraído (Tabla 50; Figura 40).

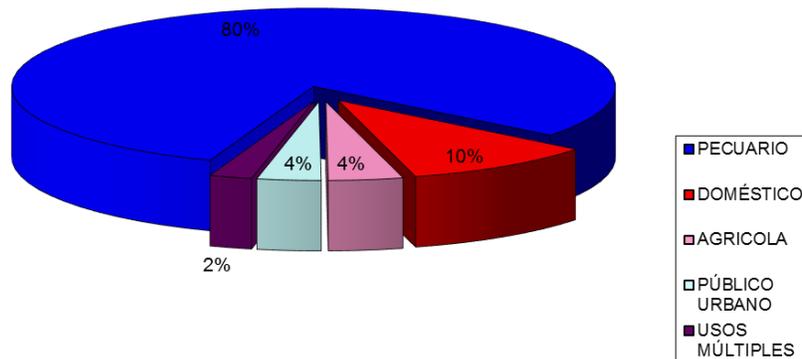


Figura 39. Porcentaje por uso del número total de aprovechamientos.

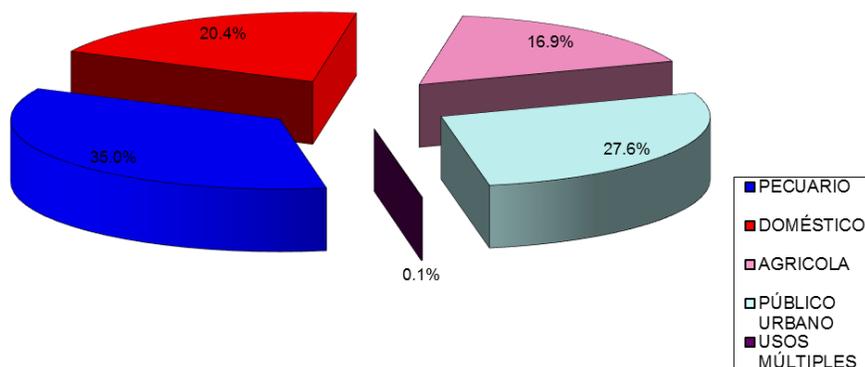


Figura 40. Porcentaje por uso del volumen total extraído.

4.6. Elevación del nivel estático

Recibe el nombre de nivel estático, el nivel del agua subterránea que no se encuentra afectado por el bombeo en el pozo observado o en pozos cercanos a él.

La configuración de la elevación del nivel estático para el 2013 se observa en la figura 41 la cual fue editada con la información de la tabla 35 (anexada al final de capítulo). Dicha configuración difiere de la del 2015 (Figura 42), esto es debido a la distribución de los pozos y la cantidad de éstos, ya que se interpolan los datos de los cuales se dispone en este caso se dispuso del programa Surfer.

Los mapas de elevación de nivel estático (2013, 2015) se realizaron mediante una interpolación con el uso del software Surfer de los niveles de agua medidos en campo (Figura 42).

La profundidad del nivel estático del agua subterránea en el acuífero es somera y profundiza mayormente conforme pierde la influencia de los arroyos (Figura 38).

La elevación del nivel estático varía desde los 450 a los 780 msnm (metros sobre el nivel del mar), los valores máximos se presentan al noreste del acuífero, con elevaciones de 795 msnm y 777 msnm en los predios El Horno y Cánori.

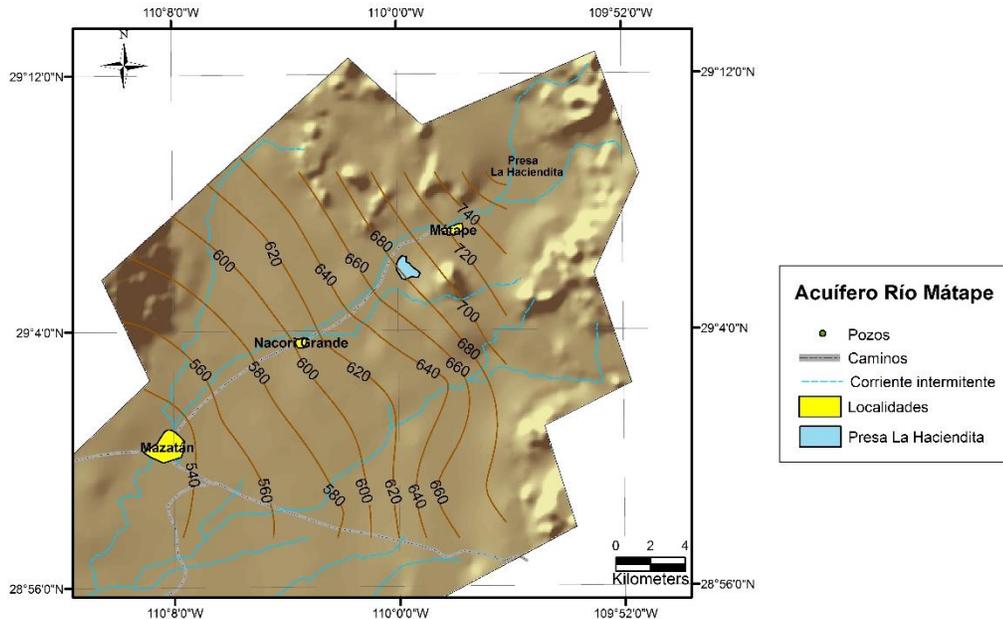


Figura 41. Configuración de la elevación del nivel estático (msnm) según la información piezométrica del 2013.

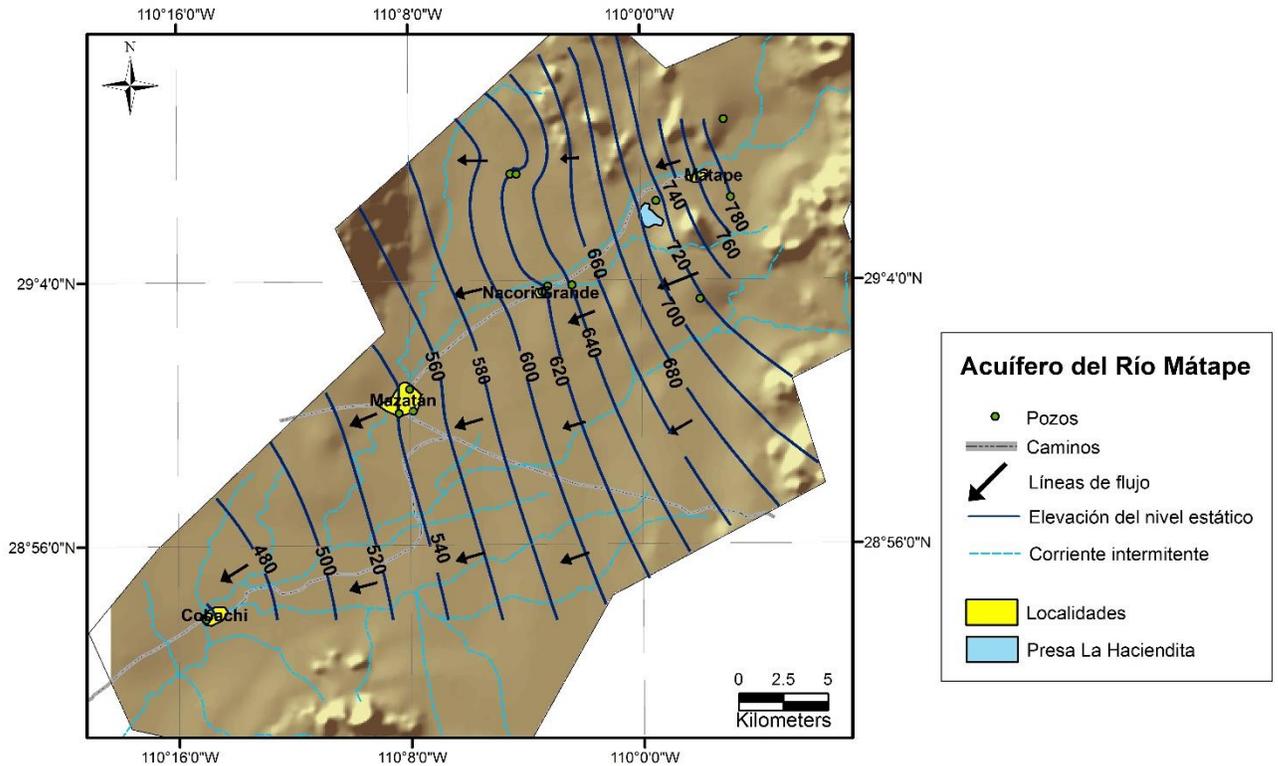


Figura 42. Elevación del nivel estático (msnm) del 2015 para este trabajo.

La elevación del nivel estático disminuye hacia la parte suroeste del acuífero siguiendo el sentido de los flujos superficiales del Río Mátape. Con esto se puede decir que el flujo subterráneo responde de la misma forma que la dirección de flujo superficial (Figura 43).

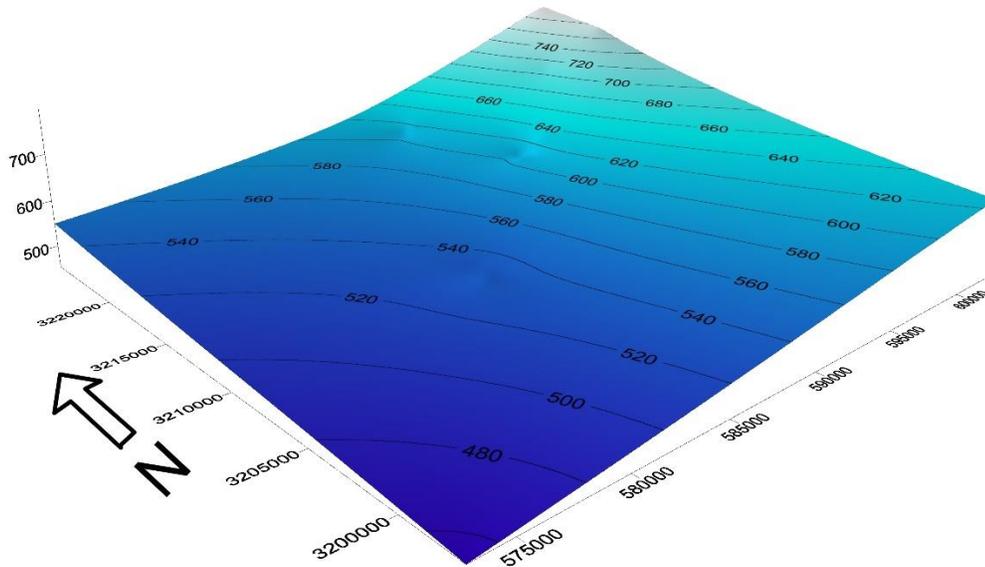


Figura 43. Plano de la elevación del nivel estático (msnm) en el Acuífero Río Mátape.

Una breve comparación de las profundidades y niveles estáticos en 3 pozos dentro del acuífero se observa en la tabla 51, que muestra la variación en 2005, 2013 y 2015 en la cual no se observan cambios considerables, excepto en el pozo de Mazatán que de 2.80 m de profundidad en 2005 pasó a 25.00 m en 2013, más de 20 m de abatimiento en 8 años.

Predio	Tipo de aprov.	Profundidad nivel estático (m) 2005	Profundidad nivel estático (m) 2013	Profundidad nivel estático (m) 2015	Elevación del nivel estático (msnm) 2005	Elevación del nivel estático (msnm) 2013	Elevación del nivel estático (msnm) 2015
El Rodeo	Noria	14.22	12.50	13.54	605.34	606.50	605.46
Mazatán	Pozo	20.80	25.00	17.34	547.62	528.00	532.66
Noria Morohui	Noria	29.15	20.00	21.31	611.75	620.00	618.69

Tabla 51. Evolución en pozos del Acuífero Río Mátape.

4.7. Red de flujo y movimiento del agua subterránea

Una manera de representar gráficamente la elevación del nivel estático y la dirección del flujo subterráneo, es mediante las redes de flujo.

Una red de flujo está conformada por líneas equipotenciales y líneas de flujo de agua subterránea. Una línea de flujo es una línea imaginaria que traza el camino que una partícula de agua subterránea seguiría mientras fluye a través de un

acuífero. Las líneas de flujo ayudan a visualizar el movimiento del agua subterránea (Fetter, 2001).

Las superficies equipotenciales también se le llaman isopiezas o hidroisohipsas y pueden presentar cualquier forma, curvatura o inclinación, pero en la mayoría de los casos la componente vertical del flujo es pequeña en comparación con la componente horizontal, lo que quiere decir que el flujo es casi horizontal.

Las líneas de flujo de agua subterránea son perpendiculares a las líneas equipotenciales.

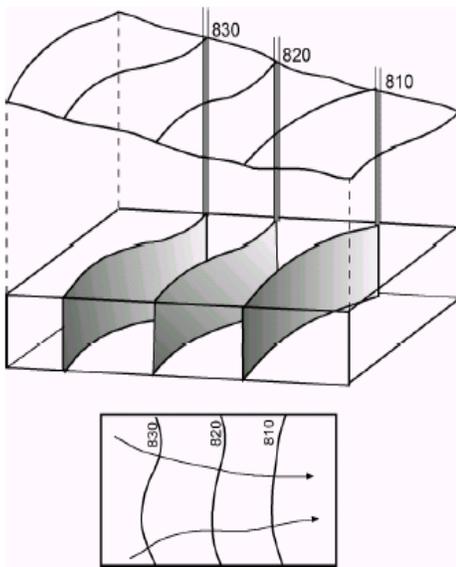


Figura 44. Representación de una red de flujo fuente (Ruiz, 2007).

La figura 44 representa una red de flujo con superficies equipotenciales verticales en vista de perfil y perpendiculares a las líneas de flujo en vista de planta. Las líneas equipotenciales provocan que el flujo horizontal de agua, se muevan de un gradiente hidráulico de mayor elevación (830 m) a uno de menor elevación (810 m).

La superficie que aparece "flotando" sobre el acuífero es la superficie piezométrica, cuya topografía se refleja en el mapa de curvas equipotenciales de abajo. En este mapa podemos trazar las líneas de flujo perpendiculares a las líneas

equipotenciales (Ruiz 2007). Los pasos a seguir para trazar una red de flujo se describen a continuación.

- Se grafican las elevaciones del agua (msnm) de los pozos, mediante el uso de algún programa de interpolación, en este caso se usó Surfer.
- El software Surfer une los puntos de igual elevación piezométrica para formar las curvas equipotenciales o isopiezas.
- Se trazan las líneas de flujo, (con flechas que indican hacia dónde se mueve el agua), perpendiculares a las equipotenciales y formando cuadros de igual tamaño.

Cabe destacar que la elevación del agua en metros sobre el nivel del mar (msnm) se obtiene de la cota del terreno en cada pozo, nivelando los brocales de los pozos o mediante modelo digital restando a la topografía la profundidad del agua determinada en cada pozo.

La red de flujo que se ve en la figura 44 representa las líneas equipotenciales o de igual elevación de nivel estático y las líneas de flujo, perpendiculares a éstas, las cuales disminuyen hacia la derecha.

4.8. Balance hidrológico de aguas subterráneas

El balance de aguas subterráneas al igual que el de aguas superficiales se expresa de acuerdo a la ley de la conservación de la materia. Las diferencia entre las entradas o recarga total y las salidas o la descarga total dan como resultado el cambio de almacenamiento que es un cambio de masa que responde al principio de la conservación de la materia.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero (Vega, 2011).

La ecuación en su forma más simple se expresa de la siguiente manera:

$$\textit{Entradas} - \textit{Salidas} = \textit{Cambio de almacenamiento}$$

0

$$\textit{Recarga total} - \textit{descarga total} = \textit{Cambio de almacenamiento}$$

Si desglosamos la ecuación con todos los parámetros que se pueden tomar en cuenta para la recarga y descarga, se puede expresar de la siguiente forma.

$$Eh + Rv + Ri - Sh - D - B - Ev = \Delta V$$

Donde:

Eh = Entradas horizontales

Rv = Recarga vertical

Ri = Recarga inducida

Sh = Salidas horizontales

D = Afloramiento de manantiales

B = Bombeo

Ev = Evapotranspiración de niveles someros

ΔV = Cambio de almacenamiento

Los parámetros mencionados pueden ser modificados o retirados de la ecuación si el acuífero en estudio cambia en algunas propiedades. Si un acuífero se encuentra limitado totalmente por fronteras impermeables, los términos Eh y Sh no aparecerían, ya que no existe entrada ni salida por flujo subterráneo.

Si se trata de un solo acuífero, que no tiene descarga por evapotranspiración ni por afloramientos, los términos D y Ev se eliminan de la ecuación. La ecuación correspondiente a un período de estiaje y sin agua superficial en la red de canales, no incluirá el término Rv , mientras que la correspondiente a un período lluvioso y de riego con agua superficial, sí lo incluirá (Canales, 2005).

En el caso del acuífero de estudio se modificará la ecuación, descartando los parámetros D y Ev que corresponden al agua que aflora en corrientes superficiales proveniente de flujos subterráneos y la evapotranspiración en zonas con nivel freático somero respectivamente.

La ecuación entonces se vería de esta forma:

$$Ev = 0, D = 0;$$

$$Eh + Rv + Ri - Sh - B = \Delta V$$

Debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento. Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo $\Delta V(S) = 0$ (CONAGUA, 2010 y 2013).

4.9. Entradas

La recarga o entrada representa los volúmenes agua subterránea que participa por flujo subterráneo (Eh), por recarga vertical (Rv) y recarga por riego (Rr) que en conjunto constituyen la recarga total del acuífero (Rt).

4.9.1. Gasto horizontal de entrada de agua subterránea (zona de recarga)

La cuantificación del gasto o caudal de agua subterránea que participa como flujo de entrada subterránea horizontal al acuífero, se efectúa aplicando la Ley de Darcy a la red de flujo.

La ley de Darcy, para medios porosos se expresa de la siguiente manera.

$$Q = T * B * \frac{dh}{dl}$$

Donde:

Q = Caudal o gasto a través de la celda (m^3/s)

T = Transmisividad del acuífero (m/s)

B = Distancia entre líneas de flujo en la celda (m)

dh =Diferencial de carga hidráulica

dl = Diferencial de longitud entre líneas equipotenciales (m).

Los parámetros anteriores se explican en la figura 45.

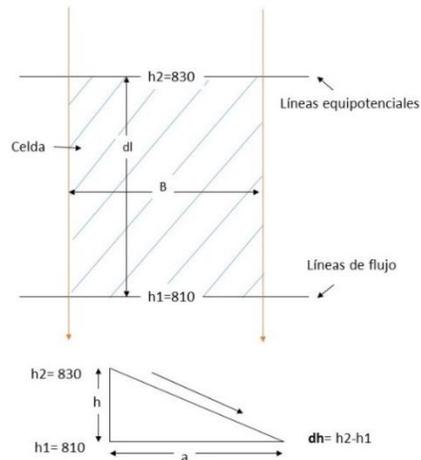


Figura 45. Explicación gráfica de los parámetros para el cálculo del Gasto horizontal.

Trazando celdas delimitadas entre curvas equipotenciales y líneas de flujo, y con el valor de transmisividad, se puede calcular el caudal o gasto de agua que fluye en una unidad de tiempo. Esto se representa mediante una forma de presentación de la Ley de Darcy (Tinajero 1982).

Hay que recordar que la transmisividad del Acuífero Río Mátape es de $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. (CONAGUA, 2010), cuyo valor se usó en los cálculos siguientes (Tabla 52).

El gasto horizontal de entrada de agua subterránea, para el año 2015, se calculó tomando en cuenta 9 celdas (Tabla 52; Figura 46). Estas celdas se trazaron considerando las zonas potenciales de recarga horizontal, según el criterio geológico de que el volumen de lluvias en las zonas topográficamente altas se infiltra por las fracturas de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Celda	Transmisividad (m ² /s)	Ancho de celda (m)	Diferencial de carga hidráulica (m)	Diferencial de longitud (m)	Gasto de la celda (m ³ /s)	Volumen (Mm ³ /año)
1	0.0013	2094.35	20.00	2181.97	0.02	0.79
2	0.0013	1883.73	20.00	1912.70	0.03	0.81
3	0.0013	1351.26	20.00	1319.82	0.03	0.84
4	0.0013	1524.84	20.00	1594.01	0.02	0.78
5	0.0013	1581.88	20.00	1781.70	0.02	0.73
6	0.0013	1834.69	20.00	1906.38	0.03	0.79
7	0.0013	1762.27	20.00	1922.26	0.02	0.75
8	0.0013	2030.47	20.00	2056.78	0.03	0.81
9	0.0013	2112.78	20.00	2270.12	0.02	0.76
					Total de entradas	7.06

Tabla 52. Gasto horizontal de entrada de agua subterránea (2015).

El total de entradas por flujo horizontal para el acuífero es de **7.06 Mm³** en el año 2015.

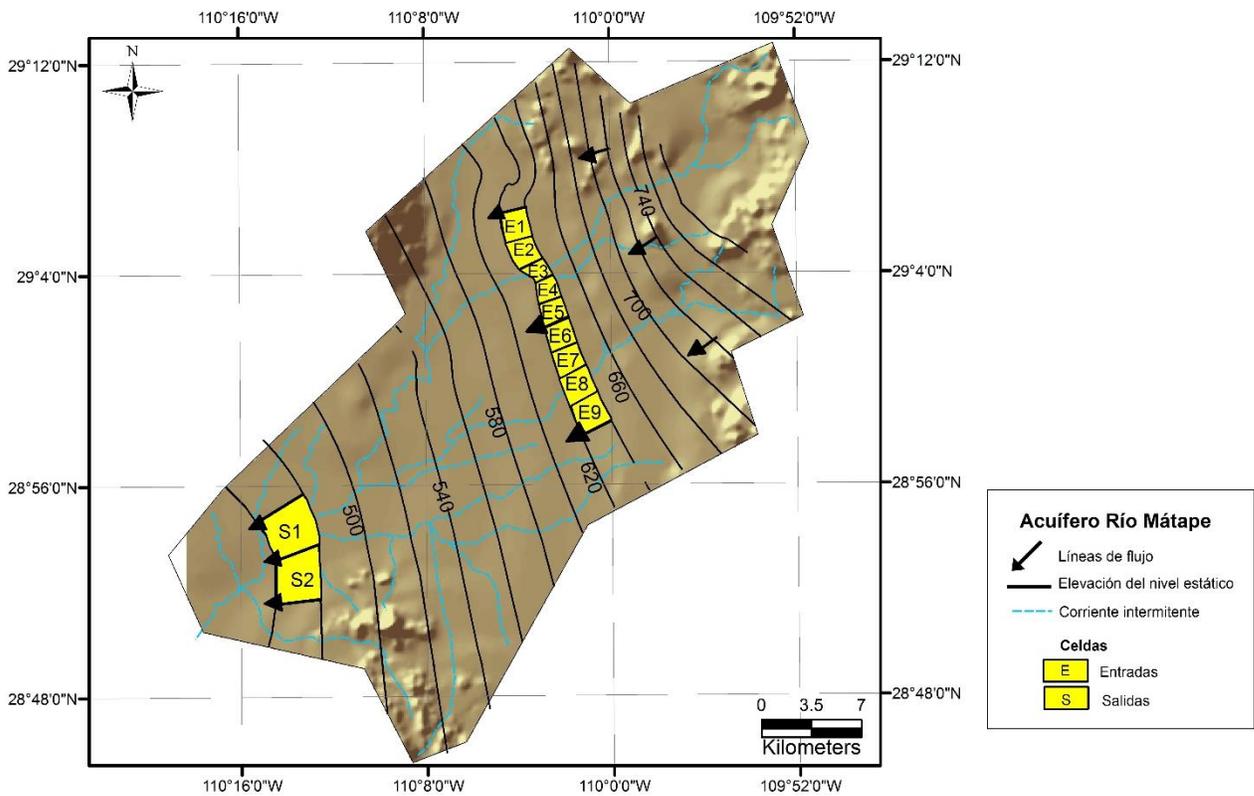


Figura 46. Calculo de las entradas y salidas de flujo horizontal (2015).

4.9.2. Recarga vertical

La recarga vertical se estima a partir de la suma de los volúmenes de la infiltración natural y la recarga por riego (R_r).

Recarga inducida

Se estima que para el Acuífero Río Mátape un 20% del agua que se destina para riego agrícola retorna en forma de recarga inducida o retorno de riego (CONAGUA, 2010).

En la zona del Acuífero Río Mátape el riego se lleva a cabo tanto con agua superficial como con agua subterránea. Las aguas superficiales que se aprovechan son las del represo La Haciendita, a través de un sistema de canales revestidos. El volumen total destinado para riego con aguas superficiales es de $10.10 \text{ Mm}^3/\text{año}$, de los cuales si se considera por la permeabilidad del suelo que el 20% se infiltra al subsuelo esto sería $2.02 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (REPDA, 2013).

En cuanto al agua subterránea que se utiliza para riego agrícola, ésta es del orden de $0.84 \text{ Mm}^3/\text{año}$, si también aquí se considera que se infiltra el 20% al subsuelo, se tiene un volumen de recarga inducida por retorno de riego de $0.17 \text{ Mm}^3/\text{año}$. Por lo tanto la recarga inducida para el Acuífero Río Mátape es la suma del agua subterránea que se infiltra del riego agrícola, más el agua superficial que se infiltra por riego en canales lo cual da $0.24 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

Infiltración

La infiltración para el Acuífero Río Mátape se calculó despejándola de la ecuación del ciclo hidrológico, ya que previamente se calcularon los otros parámetros hidrológicos con base en las estaciones climatológicas de Mátape y Mazatán (Tabla 53).

Precipitación ($\text{Mm}^3/\text{año}$)	Evapotranspiración ($\text{Mm}^3/\text{año}$)	Precipitación efectiva ($\text{Mm}^3/\text{año}$)	Volumen escurrido natural ($\text{Mm}^3/\text{año}$)	Volumen escurrido real ($\text{Mm}^3/\text{año}$)	Infiltración ($\text{Mm}^3/\text{año}$)
519.63	466.48	53.15	38.23	34.23450037	10.91

Tabla 53. La infiltración para el Acuífero Río Mátape

La recarga vertical (R_v) para el acuífero sería entonces la suma de la infiltración más la recarga inducida.

$$R_v = 10.91 \text{ Mm}^3 + 0.24 \text{ Mm}^3 = 11.15 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

4.10. Salidas

La descarga para el acuífero se da por flujo subterráneo (Sh) y mediante pozos de bombeo (B).

4.10.1. Gasto horizontal de salida de agua subterránea (zona de descarga)

El gasto de salida o descarga, es el volumen de agua que el acuífero puede ceder a otras cuencas o hacia el mar.

La descarga natural del acuífero se concentra principalmente al suroeste de la dirección de flujo subterráneo y coincide con la del flujo superficial del Río Mátape.

La salida subterránea fue calculada de la misma forma que las entradas a partir de la configuración del nivel estático (Figura 46). El volumen de salidas del área se observa en la tabla 54.

Celda	Transmisividad (m ² /s)	Ancho de celda (m)	Diferencial de carga hidráulica (m)	Diferencial de longitud (m)	Gasto de la celda (m ³ /s)	Volumen (Mm ³ /año)
1	0.0013	3442.00	20.00	3513.37	0.03	0.80
2	0.0013	3092.78	20.00	3101.71	0.03	0.82
					Total de salidas	1.62

Tabla 54. Gasto horizontal de salida de agua subterránea.

El total de salidas por flujo horizontal para el acuífero es de **1.62 Mm³/año**.

4.10.2. Bombeo de pozos para el uso de aguas subterráneas

El volumen total que representa la extracción de agua subterránea para su uso anual es de **4.16 Mm³** (Tabla 50).

4.11. Solución a la ecuación de balance y disponibilidad

Con todos los parámetros de la ecuación calculados lo único que resta es llegar a la solución de la ecuación de balance.

$$\Delta V = 0$$

Entradas

$$Eh = 7.06 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$Rv = 11.15 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

Salidas

$$Sh = 1.62 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$B = 4.16 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

Para establecer la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la NOM-011-CNA-2000, que indica la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente.

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

R = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

La recarga total (*Rt*) corresponde a la suma de todos los volúmenes de entrada al acuífero.

$$Rt = Rv + Eh + Ri = 7.06 \text{ Mm}^3 + 0.24 \text{ Mm}^3 + 11.15 \text{ Mm}^3$$
$$Rt = \mathbf{18.45 \text{ Mm}^3/\text{año}}$$

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para el caso del Acuífero Río Mátape no se comprometen las salidas horizontales debido a que aguas abajo no existen obras hidráulicas para su aprovechamiento.

$$DNCOM = 0$$

El volumen de aguas subterráneas concesionado para el acuífero según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), en 2013 es de 8, 725,847.11 m³/año (**8.726 Mm³**).

De acuerdo a lo anterior se tiene que el volumen medio anual de agua subterránea disponible para su aprovechamiento se obtiene como sigue.

$$DAS = 18.45 \text{ Mm}^3 - 0 - 8.726 \text{ Mm}^3 = \mathbf{9.724 \text{ Mm}^3/\text{año}}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **9.724 Mm³/año** “para otorgar nuevas concesiones”.

Tabla 35. Censo de los aprovechamientos visitados en la campaña 2008, (CONAGUA y SGM 2008).

Clave	Nombre/Local	Uso	Tipo Aprov	X	Y	Z	Prof N E	Elev Ne
MAT001	Mátape	Doméstico	Noria	599082	3211224	645	8.80	636.2
MAT002	El Álamo	Pecuario	Noria	609713	3223811	1065	0.53	1064.47
MAT003	San Antonio	Pecuario	Noria	599374	3212011	655	2.86	652.14
MAT004		Pecuario	Noria	607751	3224676	887	1.90	885.1
MAT005	San José	Pecuario	Noria	600695	3212389	665	4.52	660.48
MAT007	San José	Doméstico	Pozo	600708	3212453	661	3.58	657.42
MAT008	Agua De Chemali	Pecuario	Noria	608497	3222988	940	4.87	935.13
MAT009	Palo Blanco	Doméstico	Noria	603298	3206604	751	0.55	750.45
MAT013	La Culebra	Pecuario	Noria	599961	3212712	674	11.40	662.6
MAT014		Pecuario	Noria	604841	3224667	811	12.35	798.65
MAT017	Santo Niño	Pecuario	Noria	600655	3214758	728	15	713
MAT018	El Pozo Perforado	Pecuario	Pozo	603825	3224344	788	12.77	775.23
MAT020	Machacubiri	Pecuario	Noria	603106	3224931	794	1.60	792.4
MAT021	La Sevilleña	Pecuario	Noria	602568	3214276	710	3.67	706.33
MAT024	El Horno	Pecuario	Noria	601930	3224831	806	0.15	805.85
MAT028		Publico/Urbano	Noria	600584	3221778	759	0	759
MAT030	Lomita Colorada	Sin Uso	Noria	600939	3222215	761	1.50	759.5
MAT034	La Granadita	Pecuario	Noria	602425	3222506	759	4.47	754.53
MAT035	Adivinos	Pecuario	Pozo	593407	3205877	593	5.06	587.94
MAT036	La Burica	Pecuario	Noria	603559	3223129	777	10.78	766.22
MAT038	Danori	Pecuario	Noria	602313	3220457	769	0.96	768.04
MAT040	Las Cueribas	Pecuario	Noria	604876	3219109	895	0.16	894.84
MAT041	Bellavista	Pecuario	Noria	594765	3208317	614	7.64	606.36
MAT042	Musape	Pecuario	Noria	604557	3218816	889	4.56	884.44
MAT043	Adivinos	Pecuario	Noria	595689	3208159	614	7.93	606.07
MAT044		Pecuario	Noria	605255	3219542	894	1.17	892.83
MAT045	El Nacimiento	Pecuario	Noria	595529	3208476	613	2.90	610.1
MAT046		Pecuario	Noria	599194	3220180	730	2.68	727.32
MAT047	San Enrique	Pecuario	Noria	596284	3209446	624	5.72	618.28
MAT048	San Felipe De Jesús	Pecuario	Noria	593483	3215495	640	11.35	628.65
MAT049	La Mora	Pecuario	Noria	596899	3210306	630	5.48	624.52
MAT050	Guaymuri	Pecuario	Pozo	593685	3215615	639	10.22	628.78
MAT051	Palo Verde	Pecuario	Noria	598666	3210911	644	7.33	636.67
MAT052	La Unión	Pecuario	Noria	594385	3215443	647	9.80	637.2
MAT053	La Reforma	Pecuario	Noria	597621	3210104	642	5.52	636.48
MAT054	Sayola	Pecuario	Noria	593121	3216044	643	9.32	633.68
MAT055	San Luis	Sin Uso	Noria	595943	3206273	613	10.90	602.1
MAT056		Pecuario	Noria	594543	3215485	648	9.27	638.73
MAT059	Adivinos	Pecuario	Noria	594528	3205295	600	9.41	590.59
MAT061	Rancho Santa Fe	Sin Uso	Pozo	593936	3205298	593	10.50	582.5
MAT062		Publico/Urbano	Noria	591733	3215296	630	7.41	622.59
MAT063	Los Ángeles	Pecuario	Noria	596080	3204722	622	11.73	610.27
MAT064		Pecuario	Noria	591707	3215331	630	7.68	622.32
MAT065	La Primavera	Pecuario	Noria	593878	3204820	592	8.96	583.04
MAT066	El Sauz	Usos Múltiples	Noria	590838	3215036	620	10.50	609.5
MAT067	San Alberto	Pecuario	Noria	591449	3203242	586	23.27	562.73
MAT068	La Misión	Pecuario	Noria	589964	3214983	607	7.43	599.57
MAT069	San Marcos	Doméstico	Noria	592148	3202945	594	22.10	571.9
MAT072	La Papa	Pecuario	Noria	589402	3213429	606	14.23	591.77
MAT073	Santa Mónica	Pecuario	Noria	592219	3205544	584	12.69	571.31
MAT075	La Providencia	Pecuario	Noria	591722	3205100	579	11.29	567.71

Tabla 35 (Continuación). Censo de los aprovechamientos visitados en la campaña 2008, (CONAGUA y SGM 2008).

Clave	Nombre/Local	Uso	Tipo Aprov	X	Y	Z	Prof N E	Elev Ne
MAT076	La Bebelama	Pecuario	Noria	587934	3211686	577	10.72	566.28
MAT079	El Coyote	Pecuario	Noria	589523	3204435	562	9.42	552.58
MAT083	El Tablón	Pecuario	Noria	589369	3205518	562	13.24	548.76
MAT084		Sin Uso	Noria	584080	3210388	552	7.48	544.52
MAT085	Las Norias	Pecuario	Noria	589136	3204477	564	7.08	556.92
MAT087	Las Playitas	Pecuario	Noria	588071	3205331	554	11.12	542.88
MAT089	Pozo Nuevo	Pecuario	Noria	589870	3224553	640	41.09	598.91
MAT090	La Junta	Pecuario	Noria	597383	3222444	712	2.47	709.53
MAT091		Pecuario	Noria	588185	3206801	560	9.8	550.2
MAT093	Pitayita	Pecuario	Noria	588936	3207135	562	12.67	549.33
MAT094	Los Taraices	Pecuario	Noria	594864	3219680	675	10.08	664.92
MAT096	Los Taraices (San Ambrosio)	Sin Uso	Noria	595305	3219733	675	8.71	666.29
MAT097	San Isidro	Pecuario	Noria	588263	3207299	569	12.07	556.93
MAT098	El Milagro	Sin Uso	Noria	597769	3218705	688	2.42	685.58
MAT099		Doméstico	Noria	590814	3207911	582	9.81	572.19
MAT101		Pecuario	Noria	586002	3204752	545	12.2	532.8
MAT102	El Tanque	Pecuario	Pozo	595672	3216957	673	10.56	662.44
MAT103	Los Mezcales	Pecuario	Noria	586268	3203893	540	14.9	525.1
MAT104	La Isla	Pecuario	Noria	595449	3215851	663	9	654
MAT105	Los Mezcales	Pecuario	Pozo	584021	3203732	529	27.03	501.97
MAT106	La Garita	Pecuario	Noria	595638	3216578	665	7.47	657.53
MAT108	Avelineña	Pecuario	Noria	586826	3213398	583	20.06	562.94
MAT109		Doméstico	Noria	584123	3201260	526	14.46	511.54
MAT111	Callejón	Pecuario	Noria	583688	3201918	520	16.3	503.7
MAT115	El Chamizal	Doméstico	Noria	590761	3199690	582	6.09	575.91
MAT116	Los Cumbros	Pecuario	Noria	590965	3213379	608	11.96	596.04
MAT117	La Fe	Pecuario	Noria	590155	3198161	581	11.45	569.55
MAT118	La Mentira	Pecuario	Noria	590470	3213131	607	7.57	599.43
MAT119	La Higuera	Pecuario	Noria	587916	3197059	570	9.72	560.28
MAT121	Peña Blanca	Pecuario	Noria	587601	3196722	562	7.27	554.73
MAT122	San José	Pecuario	Noria	588232	3212128	581	11.58	569.42
MAT125	La Escuelita	Pecuario	Noria	588198	3194635	557	10.57	546.43
MAT126	El Datil	Pecuario	Noria	590774	3209190	587	9.88	577.12
MAT127	San Juan	Pecuario	Noria	590020	3193922	579	18.86	560.14
MAT128	San Martin	Pecuario	Noria	589406	3209965	594	16.22	577.78
MAT130		SIN USO	Noria	589801	3211616	608	7.92	600.08
MAT132	La Morita	Sin Uso	Noria	585337	3208756	550	8.44	541.56
MAT134	Los Cumbros	Pecuario	Noria	585852	3209704	557	18.45	538.55
MAT135	Agua Helada	Doméstico	Noria	582279	3197578	506	7.58	498.42
MAT136	El Nopalito	Pecuario	Noria	586520	3210064	558	6.43	551.57
MAT137	El Sahuarito	Doméstico	Noria	581321	3197761	507	10.22	496.78
MAT138	El Nopalito	Sin Uso	Noria	587142	3210428	567	6.13	560.87
MAT139	El Pitayito	Doméstico	Noria	580389	3197571	498	8.38	489.62
MAT140	Los Alamos	Pecuario	Noria	586091	3217022	592	1.70	590.3
MAT141	La Puerta	Pecuario	Noria	580334	3199495	501	10.52	490.48
MAT142	El Rodeo	Pecuario	Noria	589940	3219000	626	13.04	612.96

Tabla 35 (Continuación). Censo de los aprovechamientos visitados en la campaña 2008, (CONAGUA y SGM 2008).

Clave	Nombre/Local	Uso	Tipo Aprov	X	Y	Z	Prof N E	Elev Ne
MAT144	Las Pilas	Pecuario	Noria	586065	3220798	618	0.98	617.02
MAT146	Las Palmas	Pecuario	Noria	587401	3219456	610	11.38	598.62
MAT147	La Junta De Arriba	Sin Uso	Noria	580046	3200853	495	8.94	486.06
MAT148		Pecuario	Pozo	588354	3218981	609	23.14	585.86
MAT149	Las Leyvas	Pecuario	Noria	581995	3201086	500	13.82	486.18
MAT151	El Rincon	Doméstico	Noria	582254	3201623	507	11.7	495.3
MAT152	Llano Grande	Pecuario	Pozo	589356	3227038	627	35.52	591.48
MAT154	La Seiva	Pecuario	Noria	591411	3221730	618	16.46	601.54
MAT156	Noria De Morohui	Pecuario	Noria	590266	3221911	603	19.54	583.46
MAT157	La Granja	Pecuario	Noria	581559	3204214	503	0.04	502.96
MAT158	La Aduana	Pecuario	Noria	591385	3219415	614	18.57	595.43
MAT159	Los Capomos	Pecuario	Noria	576997	3198651	476	8.91	467.09
MAT160		PECUARIO	Noria	591478	3220514	606	21.55	584.45
MAT161	El Porvenir	Doméstico	Noria	577727	3199052	479	9.91	469.09
MAT162	Rancho El Metate	Pecuario	Noria	593979	3218837	653	11.35	641.65
MAT163	El Dique	Agrícola	Noria	576704	3198819	478	9.58	468.42
MAT164	La Chepeña	Agrícola	Pozo	592051	3215649	609	20.86	588.14
MAT165	El Tileño	Sin Uso	Noria	575245	3198724	476	7.04	468.96
MAT166	El Potrero	Pecuario	Pozo	591418	3216770	613	31.95	581.05
MAT167	El Tileño	Pecuario	Noria	574988	3198779	473	7.42	465.58
MAT168	Chorizori De López	Sin Uso	Noria	592386	3219408	627	12.85	614.15
MAT169	El Sarampeón	Pecuario	Noria	575323	3199347	473	6.16	466.84
MAT170		Pecuario	Noria	593209	3219401	641	10.65	630.35
MAT172	El Consejo	Sin Uso	Noria	593947	3219120	643	15.3	627.7
MAT173	Tecotal	Doméstico	Noria	573704	3197943	471	3.44	467.56
MAT174	La Union	Sin Uso	Noria	592828	3228300	719	2.6	716.4
MAT175	Tecotal	Publico/Urbano	Noria	572934	3196744	458	1.24	456.76
MAT176	Sobechi Viejo	Pecuario	Noria	594241	3226499	711	4.33	706.67
MAT178	Las Delicias	Sin Uso	Pozo	589214	3220992	598	27.7	570.3
MAT179	El Sacrificio	Sin Uso	Noria	596580	3206109	614	12.01	601.99
MAT180	Guapalaina	Sin Uso	Noria	585009	3206535	506	8.85	497.15
MAT181	San Fermin	Sin Uso	Noria	585414	3196794	535	14.54	520.46
MAT182	Batepi	Agrícola	Noria	584328	3206362	500	6.03	493.97
MAT184	Agua Fria	Pecuario	Noria	583123	3206200	496	1.68	494.32
MAT185	San Fermin	Pecuario	Noria	585606	3196859	535	11.18	523.82
MAT186	Carrisuseña	Pecuario	Noria	582800	3206128	493	1.80	491.2
MAT188	El Rodeito I	Pecuario	Noria	581312	3205701	488	1.91	486.09
MAT190	Rancho El Arenal	Pecuario	Noria	583827	3207611	525	8.52	516.48
MAT191		Agrícola	Noria	570892	3193471	437	1.84	435.16
MAT192	El Pitayo	Pecuario	Noria	578024	3207151	523	4.32	518.68
MAT193	Orantes	Pecuario	Noria	570984	3193642	439	3.10	435.9
MAT194	El Pozo	Sin Uso	Pozo	577036	3206273	523	2.30	520.7
MAT195	Jalibut	Pecuario	Noria	598106	3206411	636	13.80	622.2
MAT196	El Pozo	Pecuario	Noria	576998	3206238	523	3.60	519.4
MAT197		Doméstico, Agrícola, Pecuario	Noria	591680	3203587	586	22.48	563.52

Tabla 36 (Continuación). Censo de los aprovechamientos visitados en la campaña 2008, (CONAGUA y SGM 2008).

Clave	Nombre/Local	Uso	Tipo Aprov	X	Y	Z	Prof N E	Elev Ne
MAT198	El Chicural	Pecuario	Noria	576073	3205731	514	2.93	511.07
MAT199	San Martin	Pecuario	Noria	598109	3203832	634	13.72	620.28
MAT200	La Prieta	Sin Uso	Noria	578490	3207628	531	3.71	527.29
MAT201	La Pancheña	Pecuario	Noria	589852	3221576	600	20.02	579.98
MAT202	El Chorizori (San Juan De Letran)	Pecuario	Pozo	593069	3220018	614	11.30	602.7
MAT203	Los Cochis	Pecuario	Noria	593532	3216340	616	17.12	598.88
MAT204	El Tecuyito	Pecuario	Noria	592785	3215407	610	12.13	597.87
MAT205	La Pajoseña	Pecuario	Pozo	587960	3213927	573	14.79	558.21
MAT206	La Cebolleña	Pecuario	Noria	584022	3211469	550	4.87	545.13
MAT207	Mazatan	Sin Uso	Pozo	584354	3209860	547	8.24	538.76
MAT208	La Esperanza	Pecuario	Pozo	593304	3222646	659	13.59	645.41
MAT209	Taraisitos	Sin Uso	Noria	599239	3206116	666	12.55	653.45
MAT210	Bujandas	Pecuario	Noria	593827	3210994	622	10.25	611.75
MAT211	San Francisco	Pecuario	Noria	592523	3211047	613	19.47	593.53
MAT212	Noria De Ligar	Sin Uso	Noria	598023	3204283	644	8.98	635.02
MAT213	El Penjamo	Pecuario	Noria	570372	3192790	442	1.92	440.08

Tabla 36. Censo de los aprovechamientos visitados en la campaña 2013, (UNISON y CONAGUA 2013).

Clave De red	Predio	X Wgs84	Y Wgs84	Z Wgs84	Tipo de aprov	Prof Ne	Elev ne	Uso
MAT001	Mátape Doméstico	599082	3211224	645	Noria	8.8	636.2	Doméstico
MAT002	El Alamo	609713	3223811	1065	Noria	0.53	1064.47	Pecuario
MAT003	San Antonio	599374	3212011	655	Noria	2.86	652.14	Pecuario
MAT004		607751	3224676	887	Noria	1.9	885.1	Pecuario
MAT005	San José	600695	3212389	665	Noria	4.52	660.48	Pecuario
MAT007	San José	600708	3212453	661	Pozo	3.58	657.42	Doméstico
MAT008	Agua De Chemali	608497	3222988	940	Noria	4.87	935.13	Pecuario
MAT009	Palo Blanco	603298	3206604	751	Noria	0.55	750.45	Doméstico
MAT013	La Culebra	599961	3212712	674	Noria	11.4	662.6	Pecuario
MAT014		604841	3224667	811	Noria	12.35	798.65	Pecuario
MAT017	Santo Niño	600655	3214758	718	Noria	1.5	713	Pecuario
MAT018	El Pozo Perforado	603825	3224344	788	Pozo	12.77	775.23	Pecuario
MAT020	Machacubiri	603106	3224931	794	Noria	1.6	792.4	Pecuario
MAT021	La Sevilleña	602568	3214276	710	Noria	3.67	706.33	Pecuario
MAT024	El Horno	601930	3224831	797	Noria	0.15	805.85	Pecuario
MAT028		600584	3221778	759	Noria	0	759	Publico/Urbano
MAT030	Lomita Colorada	600939	3222215	761	Noria	1.5	759.5	Sin Uso
MAT034	La Granadita	602425	3222506	759	Noria	4.47	754.53	Pecuario
MAT035	Adivinos	593407	3205877	593	Pozo	5.06	587.94	Pecuario
MAT036	La Burica	603559	3223129	777	Noria	10.78	766.22	Pecuario
MAT038	Danori	602313	3220457	769	Noria	0.96	768.04	Pecuario
MAT040	Las Cueribas	604876	3219109	895	Noria	0.16	894.84	Pecuario
MAT041	Bellavista	594765	3208317	614	Noria	7.64	606.36	Pecuario
MAT042	Musape	604557	3218816	889	Noria	4.56	884.44	Pecuario
MAT043	Adivinos	595689	3208159	614	Noria	7.93	606.07	Pecuario
MAT044		605255	3219542	894	Noria	1.17	892.83	Pecuario
MAT045	El Nacimiento	595529	3208476	613	Noria	2.9	610.1	Pecuario
MAT046		599194	3220180	730	Noria	2.68	727.32	Pecuario
MAT047	San Enrique	596284	3209446	624	Noria	5.72	618.28	Pecuario
MAT048	San Felipe De Jesus	593483	3215495	640	Noria	11.35	628.65	Pecuario
MAT049	La Mora	596899	3210306	630	Noria	5.48	624.52	Pecuario
MAT050	Guaymuri	593685	3215615	639	Pozo	10.22	628.78	Pecuario
MAT051	Palo Verde	598666	3210911	644	Noria	7.33	636.67	Pecuario
MAT052	La Union	594385	3215443	647	Noria	9.8	637.2	Pecuario
MAT053	La Reforma	597621	3210104	642	Noria	5.52	636.48	Pecuario
MAT054	Sayola	593121	3216044	643	Noria	9.32	633.68	Pecuario
MAT055	San Luis	595943	3206273	613	Noria	10.9	602.1	Sin Uso
MAT056		594543	3215485	648	Noria	9.27	638.73	Pecuario
MAT059	Adivinos	594528	3205295	600	Noria	9.41	590.59	Pecuario

Capítulo V: Hidrogeoquímica

5.1. Estudios previos de calidad del agua

Vega et al. (2004) dentro de la Cuenca del Río Mátape (Acuífero Río Mátape y parte alta del Acuífero Valle de Guaymas) realizaron uno de los pocos estudios hidrogeoquímicos que incluye la Subcuenca del Río Mátape-Presa Punta de Agua, ya que la mayoría se enfocan en el Valle de Guaymas, por su importancia económica; el objetivo de los autores fue determinar la calidad del agua subterránea de la Cuenca del Río Mátape, para lo cual se analizaron más de 100 muestras que se recolectaron en diferentes campañas de campo durante los años de 2000 a 2004, a las cuales se les realizó análisis físico-químicos de los principales cationes y aniones (Tablas 55 y 56), para su posterior clasificación en familias de agua (Tabla 57).

Cationes	Aniones
Calcio Ca^{+2}	Bicarbonato HCO_3^-
Magnesio Mg^{+2}	Cloruro Cl^-
Sodio Na^+	Sulfato SO_4^{-2}
Potasio K^+	Nitrato NO_3^-

Tabla 55. Cationes y aniones analizados para la calidad del agua.

La ubicación de los pozos muestreados se presenta en la figura 47.

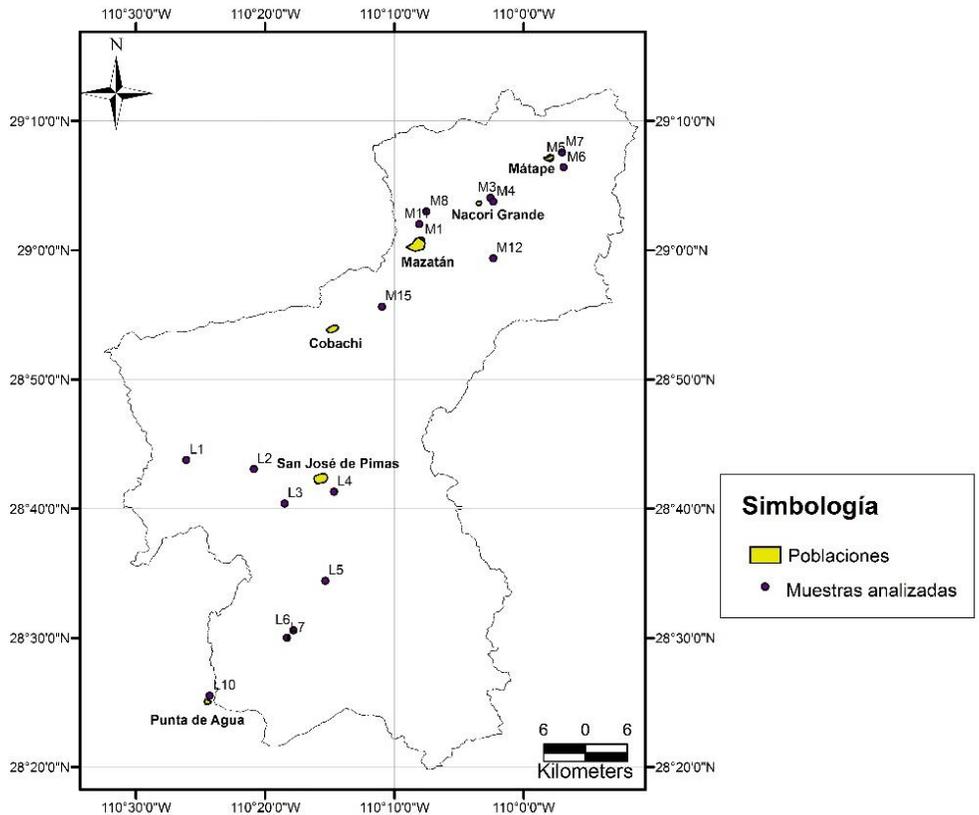


Figura 47. Muestras analizadas de calidad del agua en el área de estudio (Elaboración propia con datos de Vega et al., 2004).

Los análisis químicos entregados por el laboratorio (mg/L) fueron transformados a miliequivalentes por litro (meq/L) y posteriormente se obtuvieron los porcentajes de cada ion (% meq/L); los resultados obtenidos por Vega et al. (2004) pueden verse en la tabla 56.

Muestra	X	Y	Calcio % (%meq/L)	Magnesio % (%meq/L)	Sodio % (%meq/L)	Potasio % (%meq/L)	Carbonatos (%meq/L)	Bicarbonatos (%meq/L)	Cloruros (%meq/L)	Sulfatos (%meq/L)
M1	584550	3209704	17	1	82	0	0	63	26	11
M3	593183	3215848	47	12	40	0	3	59	31	7
M4	593543	3215295	8	1	91	0	0	70	18	13
M5	600650	3221582	10	5	85	0	0	63	17	21
M6	602365	3220286	14	8	78	0	11	57	27	6
M7	602134	3222419	17	7	76	0	0	72	21	6
M8	585161	3213837	7	1	92	0	0	67	23	10
M11	584265	3212020	11	2	86	0	7	46	38	9
M12	593606	3207210	6	2	92	0	0	66	29	6
M15	579679	3200200	3	1	96	0	0	69	12	18
L1	555166	3178125	45	7	44	4	3	64	30	3
L2	563694	3176854	56	17	25	2	0	69	21	10
L3	567587	3171965	52	20	26	3	0	70	22	8
L4	573811	3173683	45	21	27	7	6	62	27	5
L5	572794	3160962	27	11	60	2	0	25	68	8
L6	568826	3153841	32	9	53	6	0	68	24	8
L7	568010	3152787	37	17	37	9	0	51	35	14
L10	558295	3144438	31	3	63	3	0	30	43	27

Tabla 56. Localización de muestras y análisis de calidad del agua (Vega et al., 2004).

Posteriormente, los resultados de la tabla 56, se introdujeron en el diagrama de clasificación de aguas de Piper, el cual consiste en dos triángulos a la base con un rombo a la cima; en los triángulos se plotean los % meq/L de los iones de cada muestra, se extrapolan al rombo y donde se intersectan, se obtiene la familia de agua (Figura 48).

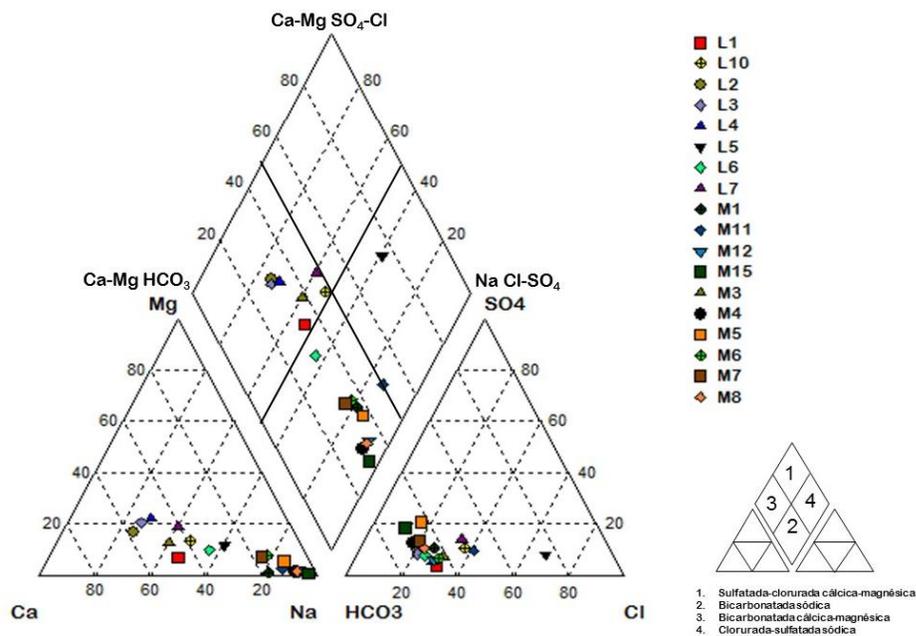


Figura 48. Clasificación de Piper para las muestras de la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua (Elaboración propia con datos de Vega et al., 2004).

Por último, los autores citados clasificaron las aguas por familias de acuerdo al diagrama de Piper, cuyos resultados se pueden ver en la tabla 57.

Muestra	Familia de agua
M1	Bicarbonatada-cálcico magnésica
M3	Bicarbonatada-cálcico magnésica
M4	Bicarbonatada sódica
M5	Bicarbonatada sódica
M6	Bicarbonatada sódica
M7	Bicarbonatada sódica
M8	Bicarbonatada sódica
M11	Bicarbonatada-cálcico magnésica
M12	Bicarbonatada sódica
M15	Bicarbonatada sódica
L1	Bicarbonatada-cálcico magnésica
L2	Bicarbonatada-cálcico magnésica
L3	Bicarbonatada-cálcico magnésica
L4	Bicarbonatada-cálcico magnésica
L5	Clorurada-sulfatada sódica
L6	Bicarbonatada sódica
L7	Bicarbonatada-cálcico magnésica
L10	Bicarbonatada-cálcico magnésica

Tabla 57. Familias de aguas (Vega et al., 2004).

En el estudio se concluyó que las aguas subterráneas de la parte alta de la Cuenca del Río Mátape, alrededor del poblado de Mátape (Villa Pesqueira), son del tipo bicarbonatada sódica principalmente. Cerca de la zona minera de La Colorada se presentan diversas familias predominando la bicarbonatada sódica y la bicarbonatada cálcico-magnésica. Se considera que las unidades geológicas presentes en la cuenca influyen directamente en la composición química del agua subterránea. Así se tienen granito y calizas en la parte alta aportando los iones Ca, Mg, Na, K y HCO₃ al agua (Acuífero Río Mátape), y las rocas volcánicas e intrusión marina proveen de Na, Ca, Cl y SO₄ a las aguas de la parte baja de la cuenca (Valle de Guaymas y San José de Guaymas).

5.2. Calidad del agua para el presente estudio

5.2.1. Metodología empleada

Para la presente tesis se realizó un viaje de campo durante el mes de abril de 2015 con el fin de medir la profundidad de los niveles estáticos de los pozos de la Subcuenca en estudio, así como medir *in situ* algunos parámetros físicos. Durante la visita al terreno, se midieron las temperaturas, pH y conductividad eléctrica de 11 muestras de agua de pozos someros (Tabla 58).

Las muestras analizadas se tomaron de las descargas de los pozos y norias para medir; los parámetros se registraron con un medidor de pH: PCE-PHD 1. Para ello, el pH-metro se calibró en 2 puntos con buffer de calibración de pH 4 y otro de pH 7. Para calibrar la función de conductividad eléctrica el sensor se introduce en una solución de cloruro de potasio de 0.413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/centímetro) (Ilustración 12).

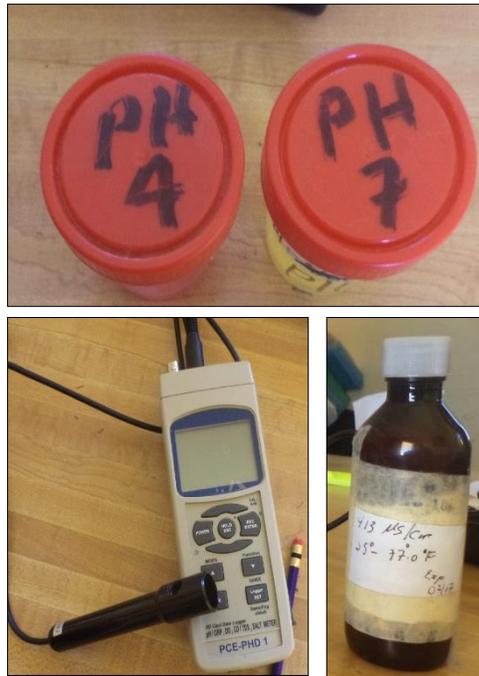


Ilustración 12. Materiales utilizados para la medición de los parámetros físico-químicos del agua.

5.2.2. Análisis de pH y conductividad eléctrica

El potencial hidrógeno (*pH*) indica la concentración de iones de hidrogeno presentes en el agua, es decir si un agua es más acida o más básica; dicho de otra forma, la escala de pH mide la acidez o alcalinidad de cualquier disolución. En disolución neutra el pH es igual a 7, en disolución acida el pH es menor a 7 y en disolución alcalina el pH será mayor que 7.

La conductividad eléctrica se define como la capacidad de que una sustancia para conducir la corriente eléctrica (en este caso el agua). Sus unidades vienen normalmente dadas en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/centímetro). En soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad (Soriano, 2012).

Clave	Nombre	Temperatura (°C)	Tipo de aprovechamiento	pH	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	Cánori	22.30	Noria	7.10	536
2	El Horno	20.70	Noria	7.42	913
3	Rancho Santo Niño	-	Noria	-	-
4	Agua Potable de Mátape	28.60	Pozo	7.25	1073
5	Guaymuri	25.60	Noria	6.88	621
6	Nácori	25	Noria	7.48	525
7	La Chepeña	-	Pozo	-	-
8	El Rodeo	27.30	Pozo	8.52	549
9	Noria Morohui	24.80	Noria	6.89	664
10	-	-	Pozo	-	-
11	Mazatán	26	Pozo	7.60	426
12	La Milpita	23.50	Noria	6.88	627
13	Cobachi	23.40	Pozo	6.71	687

Tabla 58. Aprovechamientos analizados en campo.

Según la “Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”, establece que el agua de buena calidad para uso humano ronda entre 6.50 y 8.50 en cuanto a pH, por lo que el agua de las muestras analizadas para este estudio cumple con la norma,

sólo exceptuando el predio El Rodeo que sobrepasa ligeramente este estándar (Tabla 58). En una comparativa con los datos obtenidos en campo sería el agua del pozo de Mátape y El Horno las que exceden la conductividad eléctrica para agua potable o consumo humano, mientras los otros aprovechamientos se encuentran dentro del rango permisible (Tabla 59).

Clasificación del agua según su conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
Agua ultra pura	0.055
Agua destilada	0.50
Agua de montaña	1.00
Agua doméstica	500.00 - 800.00
Máximo para agua potable	1,055.00
Agua de mar	56.00
Agua salobre	100.00

Tabla 59. Conductividad eléctrica del agua (microsiemens/cm) según su origen y sus límites permisibles (López et al., 2011 Mod.).

Graficando los datos obtenidos se puede observar que el pH no tiene cambios significativos, en cambio la conductividad eléctrica tiene sus mayores picos en predios como El Horno y Mátape que son de las muestras más septentrionales y que tienen influencia de sierras cercanas con afloramientos graníticos y de calizas (Figura 49)

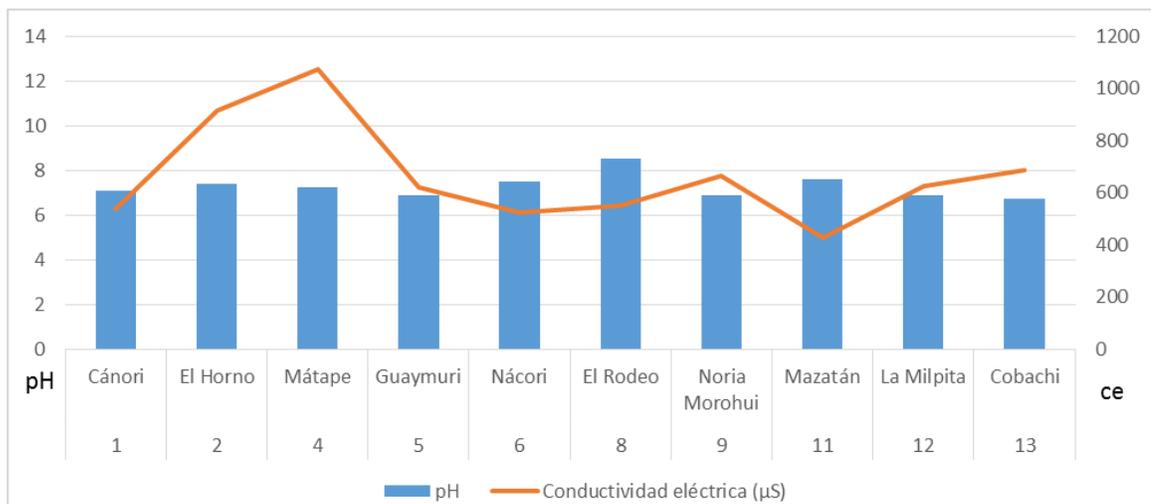


Figura 49. Distribución de pH contra conductividad eléctrica.

Capítulo VI, Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

La Cuenca del Río Mátape, se encuentra en la porción centro-occidental del estado de Sonora, dentro de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur y la Región Hidrológico-Administrativa II. El área de estudio toma el nombre de Subcuenca Río Mátape - Presa Punta de Agua, es una subcuenca de la Cuenca del Río Mátape y se encuentra en la parte septentrional de dicha cuenca. Tiene un área de 3,114 km², nace en la Sierra Mazatán al norte de Villa Pesqueira (Mátape) en altitudes de los 1200 msnm y su corriente principal tiene una longitud de 160 kilómetros hasta llegar a su desembocadura en la presa Punta de Agua en el municipio de Guaymas.

La Subcuenca en estudio se dividió en microcuencas para una óptima caracterización. En cada una de ellas, se determinaron las características fisiográficas, obteniendo un orden de corriente de 8; una relación de bifurcación para la cuenca de 4.65 (la cual se encuentra dentro del promedio que según Campos (1987) varía entre 3 y 5 para cuencas en las cuales “las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje”); una densidad de drenaje que varía de 6.22 a 2.78; y una densidad de corriente que va de 13.25 a 1.95.

De las microcuencas en las cuales fue dividida el área, se puede concluir que la de mayor densidad de drenaje (microcuenca 10) se debe a que aflora se debe a que afloran *rocas sedimentarias poco resistentes muy susceptibles de erosionarse*, mientras que la de menor densidad de drenaje (microcuenca 5) se debe a que aflora el *Conglomerado Polimíctico Cuaternario y Aluvión*, lo que a que imprime una densidad de drenaje baja que corresponde a suelos muy permeables, de topografía plana y de relieve débil.

Se elaboraron 3 climogramas para las estaciones climatológicas Mátape, San José de Pimas y Punta de Agua, que corresponden a la parte alta, media y baja del área de estudio, respectivamente. En todos ellos se observó el mismo comportamiento en cuanto a temperatura con un rango de variación térmica muy amplio, y a la precipitación presente a lo largo del año. Los meses de enero a junio se tiene un periodo de déficit de lluvia o sequía muy pronunciado, en los meses de

julio a septiembre se observa un periodo húmedo o de exceso de lluvia, los meses de octubre a diciembre corresponden a épocas con lluvias ocasionales que se encuentran en un límite entre un periodo árido y un periodo de lluvia.

Según la clasificación de Strahler (1994), el área de estudio se clasifica como del tipo *desiertos tropicales*.

Según la clasificación de INEGI (2000), la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua se encuentra entre un clima *semiseco* en su parte alta, que es el representativo de la Sierra Madre Occidental y *clima seco* en su parte media y baja, correspondiente a la *Llanura Sonorense*.

La precipitación media para la cuenca por el método de los Polígonos de Thiessen fue de **439.59 mm/año**, lo que da un volumen precipitado de de **1,370.23 Mm³/año**.

La evapotranspiración media para la cuenca fue de **412.80 mm/año** y de **1,285.50 Mm³/año** en volumen.

El escurrimiento se determinó a partir de la “Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”; para el área de la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua el coeficiente de escurrimiento se estimó en 0.053 con este método, que multiplicado por la precipitación de la cuenca da como resultado una lámina de escurrimiento natural de **23.30 mm/año**, que es igual a un volumen escurrido de **72.56 Mm³/año**.

El escurrimiento según datos actualizados de la CONAGUA para la Presa Punta de Agua, La Haciendita y demás repesos, es de **44.80 Mm³/año**, por lo tanto el volumen escurrido real es de **27.76 Mm³/año**.

La precipitación efectiva la cual es la porción de agua de lluvia que se puede aprovechar para su uso después de que ésta pasa su proceso de evaporación es de **26.80 mm/año** equivalente a **84.73 Mm³/año** para esta área.

La infiltración se calcula por la diferencia entre el volumen natural escurrido y la precipitación efectiva, lo que resultó en **3.50 mm/año**, lo que es igual a **12.18 Mm³/año** para la cuenca.

Con el análisis de las estaciones climatológicas, climogramas y cálculo de los parámetros hidrológicos superficiales se puede concluir que aunque la precipitación es mayor en la parte más septentrional de la cuenca el comportamiento de las precipitaciones y temperaturas es generalmente igual en toda la cuenca. Las precipitaciones se concentran en la época de verano durante los meses de julio, agosto y septiembre, por lo tanto los escurrimientos ocurren en esta temporada, mientras que las lluvias de invierno representan sólo una pequeña fracción de las lluvias del año, por lo tanto también de los escurrimientos. El resto del año las precipitaciones y por lo tanto los escurrimientos, son prácticamente nulos.

La evapotranspiración representa un volumen muy importante de pérdida de agua del suelo en un 94% del total de lluvias, mientras que lo que se infiltra es sólo el 1% que representa un pequeño volumen de las lluvias.

Para fines prácticos el balance hidrogeológico de aguas subterráneas se efectuó solamente en el Acuífero Río Mátape, debido a lo extenso del Acuífero Valle de Guaymas y a que su límite está muy por fuera de los de la Subcuenca Río Mátape-Presa Punta de Agua.

La principal zona de recarga en el Acuífero Río Mátape, se localiza en su parte central, donde se encuentra el material sedimentario granular. El acuífero es del tipo heterogéneo y libre. Se consideran dos basamentos geohidrológicos uno es el conglomerado de la Formación Baucarit, el otro rocas cristalinas metamórficas de edad precámbrica de la Sierra de Mazatán, y un intrusivo Cretácico. El material conglomerático del Cuaternario sustenta la mayor parte de los aprovechamientos hidráulicos, junto con los depósitos aluviales recientes ubicados principalmente sobre las márgenes del Río Mátape.

Dentro del área del acuífero, la profundidad mínima al nivel estático en abril del 2015 fue de **2.39 m**, en el pozo del predio Cánori, localizado a 3 km al este de Mátape, mientras que la mayor profundidad fue de **22.28 m** en el pozo La Chepeña localizado a las afueras de Nácori Grande.

La profundidad del nivel estático del agua subterránea en el acuífero es somera y profundiza mayormente conforme pierde la influencia de los arroyos.

La elevación del nivel estático disminuye hacia la parte suroeste del acuífero siguiendo el sentido de los flujos superficiales del Río Mátape. Con esto se puede decir que el flujo subterráneo responde de la misma forma que la dirección de flujo superficial.

La disponibilidad de aguas subterráneas, se definió con el procedimiento de la *NOM-011-CNA-2000*, la cifra indica que existe un volumen adicional de **9.524 Mm³/año** para otorgar nuevas concesiones.

Debido a que en la presente tesis no se realizaron todos los análisis físico-químicos del agua necesarios para su clasificación por familias, se trabajó con datos de Vega et al. (2004), quienes concluyeron que las aguas subterráneas de la parte alta de la Cuenca del Río Mátape, alrededor del poblado de Mátape (Villa Pesqueira), son del tipo bicarbonatada sódica principalmente. Se considera que las unidades geológicas presentes en la cuenca influyen directamente en la composición química del agua subterránea. El granito y calizas en la parte alta aportan los iones Ca, Mg, Na, K y HCO₃ al agua (Acuífero Río Mátape), y las rocas volcánicas e intrusión marina proveen de Na, Ca, Cl y SO₄ a las aguas de la parte baja de la cuenca (Valle de Guaymas y San José de Guaymas).

Durante el trabajo de campo se midieron la temperatura, pH y conductividad eléctrica de 11 muestras de agua y se determinó que de los aprovechamientos analizados en cuanto a pH cumplen con la *“Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”*, exceptuando el predio El Rodeo que sobrepasa ligeramente este estándar.

En una comparativa con los datos obtenidos en campo, sería el agua del pozo de Mátape la que excede la conductividad eléctrica estipulada para agua potable o consumo humano, mientras que los otros aprovechamientos se encuentran dentro del rango permisible

Graficando los datos obtenidos se puede observar que el pH no tiene cambios significativos, en cambio la conductividad eléctrica tiene sus mayores picos en predios como El Horno y Mátape que son de las muestras más septentrionales

tomadas y que tienen influencia de sierras cercanas con afloramientos graníticos y de calizas.

6.2. Recomendaciones

El balance hidrológico superficial se basa en los registros de lluvia ya que éstos son más abundantes que los de escurrimiento; por su parte, la evapotranspiración y la infiltración se basan en ecuaciones porque estos registros no se efectúan debidamente o no existen. Para que los parámetros del ciclo hidrológico sean correctamente estimados se requieren mejores registros, esto se puede mejorar con:

- *Invertir en las estaciones climatológicas.*
- *Instalar más estaciones hidrométricas para llevar un mejor control de los volúmenes de agua superficial que transitan por la cuenca.*
- *Realizar cartas a una escala más adecuada que ayuden a conocer de mejor forma la permeabilidad del suelo.*
- *En realidad si no hay agua para evapotranspirarse no serían posibles los cálculos, por lo que se necesita medir bien los parámetros.*
- *No entregar más concesiones si no se tiene un correcto o aproximado balance de aguas subterráneas ya que las posibilidades de almacenamiento de agua son fundamentales para la buena administración, no sólo las superficiales, sino también las subterráneas.*
- *La determinación de la disponibilidad media anual por acuífero sea como se espera: aplicada año tras año y de una manera adecuada.*
- *Promover por parte de las autoridades pertinentes la difusión de prácticas para la conservación de áreas de recarga o fuentes de agua, de técnicas para la cosecha de agua de lluvia y de escorrentía; de técnicas para su almacenamiento y conservación (micro-presas, embalses), para el reciclaje o reutilización del agua.*

Es común que en muchas poblaciones la basura sea desechada en terrenos sin estudios previos de donde colocar un relleno sanitario, por lo que éstos se deben realizar junto con análisis bacteriológicos periódicos (consumo humano).

Se pueden implementar en el área obras de recarga artificial de agua, como:

Zanjas de infiltración

Que ayuden a detener agua, tierra y materia orgánica, establecer árboles y vegetación, controlar la pérdida de suelos y almacenar agua.

Captación de niebla (si se genera en algún lugar del área de la cuenca)

En áreas con nieblas persistentes y rasantes es posible que las gotitas sean captadas por medio de paneles ensamblados con malla atrapanieblas, y su volumen aprovechado para diferentes finalidades de consumo.

Siembra de vegetación

Para que el suelo esté menos expuesto al impacto de las gotas de lluvia y a la erosión y permitan posiblemente una mayor infiltración.

Capítulo VII, Bibliografía

Almazán E., Buitrón B., Vega O., 2006, Formación Pozo Nuevo: Una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 15 p. (23-38).

Aparicio F., 1992, *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Editorial Limusa (Primera reimpresión), 291 p.

Campos A., 1987, *Procesos del Ciclo Hidrológico*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 30 p.

Comisión Estatal del Agua (CEA), 2005, *Análisis sobre el uso y manejo de los recursos hidráulicos en el Estado Fronterizo de Sonora*, 45 p.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 1990, *Proyecto Punta de Agua, Sonora*, 21 p.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2010, *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 2634 Acuífero Río Mátape, Estado Sonora*, 30 p.

CONAGUA, 2013, *Datos de Estaciones Climatológicas*, Archivo de descarga en formato KML.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2015, *Organismo de Cuenca Noroeste Dirección Técnica, información hidrométrica, climatológica y de presas de la región*.

Canales E., G.A., 2005, *Manual de Hidrología Subterránea*, Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Cd. Obregón, 224 p.

Consejo de Recursos Minerales, 1992, *Monografía Geológico-Minera del Estado de Sonora*, 219 p.

Castany G., 1971, *Tratado práctico de las aguas subterráneas*, Ed. Omega, Barcelona, España, 671 p.

Díaz C., Iturbe A., 1999, *Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del Río Lerma, Estado de México*, *Ciencia Ergo Sum*, pp. 124-134.

Fetter C.W., 2001, *Applied Hydrogeology*, Cuarta Edición, University of Wisconsin-Oshkosh, 588 p.

Flores O., 2008, *Programa de la gestión del agua para la Cuenca del Río Mátape*, El Colegio Sonora, Tesina, 88 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000, Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora, 88 p.

López E., Mirensky, N., Iaconis, M. Broitman, A., 2011, Calidad del agua domiciliaria. Experiencia de aprendizaje en el transcurso de un proyecto de investigación: Aplicación del método científico, Grupo de Investigación en Ingeniería Sustentable (GIIS), Facultad de Ingeniería, Universidad de Palermo, 10 p.

Montes P., Campillo A., 1983, Geología del yacimiento de Barita de Cobachi, Sonora, Tesis profesional, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 67 p.

Radelli L., Calmus T., Menicucci S., Araux E., 1987, Permian and Triassic of Sonora, Boletín del departamento de Geología, Universidad de Sonora, Vol. 4, pp. 31-39.

Rangel M., 1997, Hidrogeología ambiental aplicada a los sistemas acuíferos La Colorada y Mátape y sus implicaciones sobre la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, Tesis de Maestría en Ciencias Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 132 p.

Reyes S., Douglas M., Maddox R., 1994, El monzón del suroeste de Norteamérica, Centro de Investigaciones Científica y de Educación Superior de Ensenada, Atmósfera, Vol. 7, N° 2, pp. 117-137.

Rodríguez R., Jiménez B., Portela A., 2004, Meteorología y Climatología, Semana de la Ciencia y la Tecnología, Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), 142 p.

Ruíz F., 2007, Actualización del balance hídrico integral de la Cuenca del Río Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas, Tesis de Maestría en Ciencias Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 50 p.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2010, Informe de Evaluación Externa Estatal de Desempeño, 73 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2011, Compendio de Identificación de Asentamientos Humanos en Cauces Federales, 292 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2008, Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía, Consejo de Cuenca Ríos Yaqui y Mátape, 199 p.

Servicio Geológico Mexicano y Comisión Nacional del Agua, 2008, Actualización Hidrogeológica de los Acuíferos del Río Yaqui, Mátape, Sonora.

Soriano A., Pancorbo F., 2012, Suministro distribución y evacuación de agua sanitaria, Primera Edición, 506 p.

Strahler A., 1994, Geografía Física, Barcelona, Ed. Omega, 636 p.

Ulloa V., 1987, Aspectos fundamentales en el estudio de aguas subterráneas y sus aplicaciones en el Valle del Mayo, Tesis profesional, Ingeniería Civil, Universidad de Sonora, 97 p.

Vega G., E. L., 1992, Estudio Hidrogeológico del Río Mátape, Sonora, Boletín del Departamento de Geología Universidad de Sonora, Vol. 9, pp. 75-84.

Vega G., E. L., 1992, Estudio Hidrogeoquímico de la cuenca del Río Mátape, Sonora con énfasis en la presencia de Bario, Tesis de Maestría en Ingeniería (ARH), Instituto Tecnológico de Sonora, 81 p.

Vega G., E. L., Ochoa M., Durán G., Ruíz F., 2004, Nuevos datos sobre la calidad del agua subterránea de la Cuenca del Río Mátape, Instituto Nacional de Geoquímica, XIV Congreso Nacional de Geoquímica, Vol. 10, Núm. 1, 5p (2-7).

Vega G., E. L., 2011, Hidrogeología, Colección de Textos Académicos 90, Universidad de Sonora, 202 p.

Velázquez L., Ordaz A., 1994, Provincias Hidrogeológicas de México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo 52, pp. 15-33.

Zúñiga I., Crespo E., Meteorología y Climatología, 2010, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 264 p.

Citas de Internet

1. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/medina.html>
2. <http://www.geologia.unam.mx/igl/publs/boletin/bol118/%287%29Calmus.pdf>
3. <http://www.conagua.gob.mx/spr/>
4. SGM, 1999, Cartas geológico-Minera 1:250,000, Hermosillo H12-8, Madera H12-9, Sierra Libre H12-11 y Tecoripa H12-12.
5. ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/planos/RH9_riosonorasur.jpg
6. <http://www.conagua.gob.mx/OCNO07/Contenido/Documentos/infor-diaria.pdf>
7. <http://201.116.60.136/inventario/tcuenca.aspx?DSP,3297>
8. <http://201.116.60.136/inventario/tcuenca.aspx?DSP,3292>
9. <http://siga.conagua.gob.mx/REPDA/Menu/MenuKMZ.html>