

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS



Ing. Agr. WALTER ARNOLDO BARDALES ESPINOZA

ASESORADO POR: M.Sc. Ing. ELFEGO ODVIN OROZCO FUENTES

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS
A NIVEL DE POSGRADO

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO DEL
VALLE DE MONJAS, JALAPA, GUATEMALA.

ESTUDIO ESPECIAL
PRESENTADO A LA ESCUELA DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS
HIDRÁULICOS

POR:

Ing. Agr. WALTER ARNOLDO BARDALES ESPINOZA

ASESORADO POR:

M.Sc. Ing. ELFEGO ODVIN OROZCO FUENTES

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS HIDRÁULICO OPCIÓN HIDROLOGÍA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS
A NIVEL DE POSGRADO



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. MURPHY OLIMPO PAIZ RECIÑOS
VOCAL I	Inga. GLENDA PATRICIA GARCÍA SORIA
VOCAL II	Inga. ALBA GUERRERO SPINOLA DE LÓPEZ
VOCAL III	Ing. MIGUEL ÁNGEL DÁVILA CALDERÓN
VOCAL IV	Br. LUIS PEDRO ORTIZ DE LEÓN
VOCAL V	P.A. JOSÉ ALFREDO ORTIZ HERINCX
SECRETARIA	Ing. HUGO HUMBERTO RIVERA PÉREZ

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DIRECTOR ERIS	M.Sc. Ing. PEDRO SIPRIANO SARAIVA CELIS
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. ELFEGO ODVIN OROZCO FUENTES
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. JUAN JOSÉ SANDOVAL
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. JORAM MATIAS GIL LAROJ
SECRETARIO	Esp. Ing. Agr. TEÓFILO ÁLVAREZ MARROQUÍN

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presenté a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO
DEL VALLE DE MONJAS, JALAPA, GUATEMALA

Tema que me fuera aprobado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, el 18 de noviembre de 2,010.

Atentamente,

Ing. Agr. Walter Arnoldo Bardales Espinoza

Guatemala, 18 de noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de prefabricados, CII
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenieria-usac.edu.gt

Señores

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de asesor de estudio y, a la vez, Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el trabajo de Estudio Especial titulado:

Estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo del valle de Monjas, Jalapa, Guatemala

presentado por el estudiante,

Ingeniero Agrónomo Walter Arnoldo Bardales Espinoza

Les manifiesto que el estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) Y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del Sr. Elfego Orozco.

MSc. Ing. Elfego Orozco
Asesor del Estudio y
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de prefabricados, CII
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenieria-usac.edu.gt

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Joram Matias Gil Laroj, MSc. Ing. Juan José Sandoval y MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes; así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos, MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes y del trabajo del estudiante: Ingeniero Agrónomo Walter Arnoldo Bardales Espinoza, titulado "Estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo del valle de Monjas, Jalapa, Guatemala", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo.

Guatemala 19 de noviembre de 2010.

IMPRIMASE

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos



Dedicatoria

A Dios: Por prestarme la vida para poder culminar esta faceta de mi vida.

A mis padres: Por aconsejarme y exigirme, este es otro triunfo, que no hubiera logrado sin su ayuda y apoyo. Gracias

A mi abuelita: Que por sus regaños, mire ahora donde estoy. Gracias

A mis hermanos: Gracias por su apoyo moral y acompañarme en esas noches de desvelo.

A mis amigos: Por su apoyo incondicional.

A mi novia: Por su tiempo y comprensión, Gracias.

Agradecimientos

Al PREVDA por haberme seleccionado dentro del grupo de los beneficiarios de becas y permitirme seguir con mi formación profesional.

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS): por los conocimientos brindados y el calor humano recibido por sus integrantes. Al M.Sc. Elfego Odvin Orozco Fuentes, M.Sc. Juan José Sandoval, M.Sc. Joram Matías Gil Larroj, Msc. Ing. Zenón Much Santos, M.Sc. Julián Duarte y el Ing. Teófilo Álvarez Marroquín.

Al INSIVUMEH por permitirme elaborar mi estudio especial y brindarme todo el material requerido para culminar satisfactoriamente, especialmente al Ing. Agr. Furgencio Garavito.

Índice General

Contenido	Página
I. Introducción.....	1
II. Planteamiento del Problema	2
III. Justificación.....	3
IV. Objetivos.....	4
4.1 General.....	4
4.2 Específicos	4
V. Marco teórico	5
5.1 Origen de las aguas subterráneas.....	5
5.1.1 Zona no saturada	5
5.1.2 Zona saturada	6
5.2 Formaciones geológicas y agua subterránea.....	6
5.3 Tipos de acuífero	7
5.3.1 Según los materiales litológicos que forman el acuífero	8
5.3.2 Según el grado de confinamiento del acuífero	8
5.3.3 Según la permeabilidad del acuífero	11
5.4 Parámetros hidrogeológicos de los acuíferos.....	12
5.4.1 Porosidad	12
5.4.2 Porosidad efectiva (θ_e)	12
5.4.3 Rendimiento específico (S_y)	13
5.4.5 Retención específica (S_r)	13
5.4.5 Conductividad hidráulica (K)	13
5.4.6 Transmisividad (T).....	15
5.4.7 Coeficiente de almacenamiento (S).....	15
5.4.8 Almacenamiento específico (S_s).....	15
5.5 Ley de Darcy.....	17
5.6 Geología regional	18
5.6.1 Aluvión Cuaternario (Al)	19
5.6.2 Formación Trifinio (Tr).....	19
5.6.3 Padre Miguel	19
5.7 Hidrogeología	22
5.8 Serie de suelos de la región	24

Contenido	Página
5.8.1 Serie aluviales	24
5.8.2 Serie Alzatate	24
5.8.3 Serie Chicaj	24
5.8.4 Serie Jalapa	24
5.8.5 Serie Mongoy	24
5.9 Balance	25
5.9.1 Balance hídrico climático	26
5.9.2 Balance hídrico de suelo	26
5.10 Contaminación	31
5.10.1 Fuentes de contaminación	31
5.10.2 Normas para el agua de consumo humano	32
VI. Metodología	33
6.1 Recopilación de datos	33
6.2 Fase de campo	34
6.3 Análisis de la información	35
VII. Ubicación del área de estudio	37
VIII. Características fisiográficas y geológicas del valle de Monjas	40
8.1 Fisiografía	40
8.2 Geomorfología	40
8.3 Geología	40
8.4 Estratigrafía del valle de Monjas	41
8.5 Ubicación de pozos excavados y perforados	44
8.6 Propiedades hidrogeológicas	45
8.7 Determinación de isofreáticas	47
IX. Climatología e hidrología	50
9.1 Temperatura	50
9.2 Humedad relativa	51
9.3 Lluvia	53
9.4 Evaporación	54
9.5 Evapotranspiración	55
9.6 Caudales	56
X. Balance hídrico	58
10.1 Balance hídrico climático	58

Contenido	Página
10.2 Balance hídrico de suelo.....	59
10.2.1 Factor de infiltración de agua en el suelo	59
10.2.2 Factor de pendiente del terreno	60
10.2.3 Factor de cobertura vegetal	61
10.2.4 Precipitación que se infiltra en el suelo	62
10.2.5 Recarga natural.....	65
10.2.6 Potencial del recurso hídrico subterráneo	67
XI. Calidad de agua en el valle de Monjas	70
11.1 Características físicas.....	72
11.2 Características químicas.....	72
XII. Contaminación del acuífero	77
XIII. Conclusiones	82
XIV. Recomendaciones	84
XV. Bibliografía.....	85
XVI. Anexos.....	89

Índice de figuras

Contenido	Página
Figura 1. Acuífero colgado	9
Figura 2. Pozos surgentes y no surgentes en acuífero confinado.....	10
Figura 3. Rendimiento específico y retención específica	13
Figura 4. Aplicación de la ley de Darcy	17
Figura 5. Mapa geológico de la cuenca Alta del Río Ostúa.....	21
Figura 6. Mapa hidrogeológico de la cuenca Alta del Río Ostúa Error! Marcador no definido.	
Figura 7. Mapa de ubicación del valle dentro de la Cuenca Alta del Río Ostúa	28
Figura 8. Distribución político-administrativa del valle de Monjas	39
Figura 9. Estratigrafía de los pozos perforados en el valle de Monjas.	43
Figura 10. Distribución de los pozos excavados y perforados en el valle de Monjas.	44
Figura 11. Mapa de isofreáticas generado para el acuífero somero del Valle de Monjas.....	48
Figura 12. Comportamiento histórico de la temperatura en la estación La Ceibita.	50
Figura 13. Comportamiento de la temperatura media mensual en el valle de Monjas.....	51
Figura 14. Comportamiento de la Humedad relativa durante su registro histórico.	51
Figura 15. Comportamiento de la Humedad relativa media mensual en el valle de Monjas.....	52
Figura 16. Comportamiento histórico de la precipitación anual en la estación La Ceibita.	53
Figura 17. Comportamiento de la precipitación media mensual en el valle de Monjas.....	54
Figura 18. Comportamiento de la evaporación durante el registro histórico de la estación La Ceibita.	55
Figura 19. Distribución de la evaporación media mensual en el valle de Monjas durante el año hidrológico.	55
Figura 20. Comportamiento de la evapotranspiración potencial media mensual en el valle de Monjas.....	56
Figura 21. Curva de duración de Caudales para la estación Casa de Tablas.....	57
Figura 22. Balance climático del valle	58

Contenido	Página
Figura 23. Distribución del factor de infiltración de agua en el suelo para el valle de Monjas.....	60
Figura 24. Distribución del factor de pendiente para el valle de Monjas.	61
Figura 25. Distribución del factor de cobertura vegetal para el valle de Monjas. ..	62
Figura 26. Coeficiente de infiltración ponderado para el valle de Monjas.	63
Figura 27. Uso del suelo para el valle de Monjas.....	64
Figura 28. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad de agua del valle de Monjas, Jalapa.	70
Figura 29. Comportamiento del pH en los tres sitios de muestreo.	72
Figura 30. Distribución de la conductividad eléctrica en pozos excavados en el valle de Monjas.	73
Figura 31. Diagrama de Piper de las aguas del valle de Monjas.....	74
Figura 32. Concentraciones de carbonato de calcio en las aguas del valle de Monjas.....	75
Figura 33. Manejo de algunos pozos en el acuífero de Monjas	78

Índice de cuadros

Contenido	Página
Cuadro 1. Coeficiente de pendiente según el porcentaje de pendiente.	30
Cuadro 2. Coeficiente de cobertura vegetal según el tipo de cobertura.	30
Cuadro 3. Clasificación de las fuentes contaminantes	32
Cuadro 4. Distribución de la administración política del valle de Monjas.	37
Cuadro 5. Propiedades hidráulicas en el valle de Monjas	46
Cuadro 6. Propiedades hidráulicas de los pozos perforados en el valle de Monjas.	46
Cuadro 7. Rendimiento de los pozos perforados en el valle de Monjas	47
Cuadro 8. Balance hídrico climático del valle de Monjas.	58
Cuadro 9. Ubicación y datos de infiltración básica del valle.	59
Cuadro 10. Precipitación que se infiltra en el valle de Monjas	63
Cuadro 11. Valores de las constantes de humedad del suelo.	64
Cuadro 12. Profundidad efectiva según la cobertura vegetal.	65
Cuadro 13. Cálculo de la recarga natural del acuífero en el valle de Monjas.....	66
Cuadro 14. Balance hídrico de suelos del valle de Monjas, Jalapa.....	67
Cuadro 15. Extracción de agua del acuífero del valle de Monjas	68
Cuadro 17. Resumen de los resultados de calidad de agua realizados en las aguas del valle de Monjas	71
Cuadro 18. Clasificación de los cuerpos de agua según su dureza total	74
Cuadro 19. Residuos de plaguicidas organofosforados en pozos de la Unidad de Riego de la Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa en época seca	80
Cuadro 20. Residuos de plaguicidas organofosforados en pozos de la Unidad de Riego de la Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa en época húmeda.....	81
Cuadro 1A. Variación de los niveles Freáticos de los Pozos de la Unidad de Riego de la Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa	89
Contenido	Página
Cuadro 2A. Variación de los niveles Freáticos de los Pozos del valle de Monjas, Jalapa.....	90
Cuadro 3A. Identificación de los puntos de muestreo	99
Cuadro 4A. Características fisicoquímicas del agua superficial y subterránea en el valle de Monjas, Jalapa.	100

Siglas

COGUANOR: Comisión Guatemalteca de Normas

CTPT: Comisión Trinacional Plan Trifinio

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INSIVUMEH: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología

JICA: Japan International Cooperation Agency

MAGA: Ministerio de Agricultura Ganadería, y Alimentación

Glosario

Acuífero: Es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas.

Antropogénico: Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

Balance: Expresión algebraica a través de la cual se determina una igualdad que corrobora y comprueba que el ingreso es exactamente igual a la salida, para un periodo determinado.

Contaminación: Es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo.

Geoestadística: Es una herramienta útil para modelar la relación espacial entre los datos disponibles que permite realizar análisis y predicciones de los fenómenos espaciales y temporales. Así, ofrece una serie de herramientas deterministas y estadísticas para entender la variabilidad espacial del modelo.

Hidrogeología: Es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación.

Holoceno: Es la última y actual época geológica del período Cuaternario.

Isolíneas: Es una curva que conecta los puntos en que la función tiene un mismo valor constante.

Mioceno: Es la cuarta época geológica de la era Cenozoica y a la primera época del periodo Neógeno.

Nivel Freático: Es en el punto donde el nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

Organofosforados: Son un grupo de químicos usados como plaguicidas artificiales aplicados para controlar las poblaciones plagas de insectos

Recarga: Es una forma por la cual ingresa agua en los acuíferos subterráneos.

Serie de suelo: Es una clasificación que se realiza de los suelos, agrupando características químicas y físicas similares.

Resumen

El presente trabajo consistió en estimar el potencial de las aguas subterráneas del valle de Monjas, Jalapa, Guatemala. El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca Alta del Río Ostúa, entre las coordenadas $14^{\circ} 35' 0'' - 14^{\circ} 27' 0''$ Latitud Norte y $89^{\circ} 58' 0'' - 89^{\circ} 49' 0''$ Longitud Oeste. Definiendo el acuífero con un área de 113 km^2 , abarcando en mayor proporción el municipio de Monjas, y en menor proporción Jalapa, Jutiapa, Santa Catarina, Progreso Achuapa y San Manuel Chaparrón.

Se realizó una breve descripción de los materiales geológicos del valle, y de cómo se encuentra estructurada la estratigrafía. Además se hace énfasis en el material aluvial, que es el que constituye la mayor parte del acuífero, así como su basamento está constituido por la formación Padre Miguel.

Se caracterizó hidrogeológicamente el valle, presentando una transmisividad que varía de $6 \text{ m}^2/\text{día}$ hasta $1002 \text{ m}^2/\text{día}$. Se clasificó el valle como un acuífero libre esto por sus coeficientes de almacenamiento que varían de 0.5 a 0.97, estas características definen el acuífero como un buen productor de agua..

Se describieron las características climáticas del valle de Monjas, a través de la información histórica recabada por la estación La Ceibita. Esta información fue presentada por medio de gráficos.

Se realizó un balance hídrico climático como una primera aproximación, para determinar que la recarga del acuífero por lluvia es de 115 mm/año . Posteriormente se realizó un balance hídrico de suelos, estimando la recarga del acuífero en 620 mm/año ($69 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$).

El potencial del acuífero se considera en $69.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, y las extracciones de agua subterránea por los pozos equivalen aproximadamente al 2% de la recarga anual, siendo .

Las características fisicoquímicas del valle, básicamente, se consideran aptas para uso en riego y para consumo humano dando un tratamiento primario.

I. Introducción

El crecimiento poblacional que se ha dado en nuestro país en los últimos años ha impulsado el aumento de explotación de los recursos hídricos, principalmente para usos de riego, industria y doméstico principalmente en áreas rurales.

El presente trabajo consistió en el estudio hidrológico e hidrogeológico del valle de Monjas que se encuentra dentro de la cuenca del Río Ostúa, donde se determinó su potencialidad del agua subterránea, implementando un balance hídrico, los resultados constituyen una ayuda en la gestión de los recursos hídricos subterráneos para las autoridades de la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) y el Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

II. Planteamiento del Problema

Dentro de los recursos naturales de cualquier región, el agua es indispensable, por ser el líquido vital necesario para la subsistencia de todo ser vivo. En Guatemala, las llamadas aguas superficiales son la mayor fuente de abastecimiento de agua, la cual es utilizada para consumo humano, riego, industria, etc.

En los últimos años las aguas superficiales se han degradado en calidad y cantidad principalmente en la época seca, como consecuencia la población se ha visto en la necesidad de utilizar otras fuentes de este recurso, como las aguas subterráneas, esto ha desencadenado que los acuíferos sean explotados y muchas veces sobreexplotados por falta de un manejo sostenible, esto ha generado una gran preocupación, por su explotación en forma descontrolada y sin supervisión de ninguna entidad gubernamental, municipal o privada. Es por ello que es primordial la estimación del potencial de aguas subterráneas del valle de Monjas, para tener información basada en evidencia científica que permita tomar decisiones y poder planificar el uso de este recurso de una forma sostenible y permanente.

III. Justificación

Conocer la potencialidad de las aguas subterráneas es de vital importancia para poder crear un plan de manejo sostenible y duradero que garantice la preservación de este recurso.

Una de las herramientas idóneas para estimar el potencial del recurso hídrico subterráneo del valle de Monjas, es por medio de un balance hídrico de suelos confiable que permitirá estimar la potencialidad de recarga natural del acuífero ante las situaciones de explotación actuales. La estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo será de gran utilidad y proveerá información de alto valor científico, para que los organismos o instituciones responsables de la administración local del agua en la región tomen decisiones adecuadas en cuanto a:

- a) Planear la administración del sistema acuífero bajo un marco de extracción sustentable.
- b) Orientar el uso del agua que se encuentra disponible, de una forma eficiente.
- c) Planear el manejo apropiado y eficiente del agua subterránea.

IV. Objetivos

4.1 General

Estimar el potencial hídrico subterráneo del acuífero del valle de Monjas, Jalapa, Guatemala.

4.2 Específicos

- a. Definir y delimitar las fronteras del acuífero del valle de monjas, describiendo las características de los perfiles geológicos y parámetros hidrogeológicos.
- b. Caracterizar las condiciones hidroclimática del valle de Monjas.
- c. Realizar un balance hídrico de suelo en el valle de Monjas.
- d. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del acuífero del valle de Monjas.
- e. Identificar zonas de contaminación de las aguas subterráneas del valle.

V. Marco teórico

5.1 Origen de las aguas subterráneas

Casi toda el agua subterránea es agua meteórica proveniente de la precipitación. El agua lluvia llega a formar parte del agua subterránea por infiltración y percolación sobre laderas y también desde corrientes y lagos. La percolación directa es el proceso más efectivo en la recarga del agua subterránea donde los suelos son altamente permeables o donde la capa freática está cerca de la superficie del terreno (Chávez, 2005).

En sitios donde la precipitación anual es relativamente baja y la capa freática está a cientos de metros bajo la superficie, se puede esperar muy poca o nula recarga. En estas áreas, el agua de irrigación puede producir alguna recarga, pero la infiltración del agua de los ríos, a través de gravas permeables del lecho, será posiblemente la mayor fuente de recarga (Espinoza, 2004).

5.1.1 Zona no saturada

Se presenta inmediatamente bajo la superficie terrestre y contiene en sus poros agua y aire en proporciones variables. Funciona como un gran reservorio, que descarga agua a la zona saturada cuando es recargado por algún evento, pudiendo durar dicha descarga un período relativamente largo después de haber cesado la entrada superficial (Chávez, 2005). Normalmente se observan tres subzonas:

- a. Zona de raíces: En esta zona se observan raíces vivas, vacíos dejados por raíces muertas, vegetación pre-existente y/o cadáveres de animales y lombrices. Está sujeta a grandes fluctuaciones en contenido de humedad debido a la evaporación, transpiración vegetal y eventos de precipitación (Chávez, 2005).

- b. Zona intermedia: El agua en esta zona puede desplazarse verticalmente (percolación) hasta alcanzar la zona saturada, o bien puede quedar retenida debido a la tensión superficial, una vez que ha terminado el drenaje gravitacional (Chávez, 2005).
- c. Franja de ascenso capilar: Corresponde a la parte más baja de la zona no saturada. Se extiende desde la superficie freática hasta el límite de ascenso capilar. El espesor de esta zona depende del tamaño de los poros del suelo. El agua en esta zona se encuentra bajo tensión, o presión hidráulica negativa (Chávez, 2005).

5.1.2 Zona saturada

En esta zona todos los poros interconectados se encuentran llenos de agua y sujetos a presión hidroestática. La recarga de la zona saturada ocurre por infiltración y posterior percolación del agua desde la superficie terrestre, a través de la zona no saturada (Chávez, 2005).

5.2 Formaciones geológicas y agua subterránea

Con relación a la capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas, las formaciones geológicas pueden clasificarse en las siguientes cuatro categorías:

- a. *Acuíferos*: Formaciones de gran porosidad y permeabilidad, capaces de almacenar y transmitir agua en forma apreciable. Como conductos de transmisión transportan el agua subterránea de las áreas de recarga hacia lagos, cauces y pantanos, manantiales, pozos y otras estructuras de captación. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizada cuando la extracción exceda a la recarga y, a la vez, almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción (Custodio, 1983).

- b. *Acuícludos*: Son formaciones geológicas impermeables que contienen agua, pero que no la transmiten, haciendo de este modo imposible su explotación. En el caso de las arcillas, que a pesar de contener enormes cantidades de agua (en muchos casos, más de 50% de su volumen) no la drenan por gravedad ni succión, ni la dejan pasar (Custodio, 1983).
- c. *Acuítardos*: Son formaciones geológicas semipermeables que, conteniendo agua en gran cantidad, la transmiten muy lentamente; no obstante, en determinados casos, la presencia de un acuítardo puede proporcionar a un acuífero que esté en contacto con él, una recarga vertical que puede llegar a ser importante. Las arcillas limosas y arenosas son formaciones que pueden comportarse como acuítardos (Custodio, 1983).
- d. *Acuífugos*: Son aquellas formaciones geológicas impermeables que no contienen agua ni la pueden transmitir, tales como los macizos rocosos no alterados.

5.3 Tipos de acuífero

Los acuíferos pueden ser ordenados en función de diferentes criterios. De esta manera Muñoz y Ritter citado por Mijares (2006) clasificaron los acuíferos como:

- a. Los materiales litológicos que forman el acuífero
- b. El grado de confinamiento
- c. La permeabilidad

A continuación se describen brevemente los diferentes tipos de acuífero, ya que es importante al momento de realizar una caracterización en estudios hidrogeológicos.

5.3.1 Según los materiales litológicos que forman el acuífero

Las formaciones geológicas que constituyen acuíferos pueden incluirse en uno de los siguientes dos grupos:

5.3.1.1 Acuíferos formados por depósitos no consolidados

Los acuíferos formados por depósitos no consolidados están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente arenas, gravas o mezclas de ambas, de origen geológico muy diverso (fluvial, deltaico, y otros depósitos sedimentarios). Según algunos autores el 90% de los acuíferos en explotación en el mundo caen bajo esta categoría. Además poseen buena recarga, su permeabilidad y porosidad son altas y por ello producen caudales altos (Chávez, 2005).

5.3.1.2 Acuíferos formados por rocas consolidadas

Están formados por materiales consolidados de origen geológico muy diverso:

- a. Calizas y dolomitas (fisuradas, fracturadas o karstificadas)
- b. Conglomerados o areniscas (disueltas y con algunas partes cementadas)
- c. Rocas volcánicas alteradas (escoriáceas)
- d. Algunas rocas cristalinas (granitos fracturados)

La permeabilidad de los macizos rocosos formados por materiales poco permeables está relacionada de manera directa con la configuración de sus fracturas (Elorza *et al.*, 2003).

5.3.2 Según el grado de confinamiento del acuífero

De acuerdo con el grado de confinamiento de las aguas que contienen, los acuíferos pueden clasificarse en cuatro tipos:

5.3.2.1 Acuíferos libres o someros

Son aquellos en que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación.

Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel al cual se ubica, respecto a otro de referencia, nivel freático. Los acuíferos libres están en general formados por un estrato permeable parcialmente saturado de agua, que yace sobre otro estrato impermeable o relativamente impermeable. En la mayoría de los casos existe solamente un nivel freático, pero en algunos casos, a causa de la presencia de acuítardos de pequeñas dimensiones relativas, pueden existir acuíferos que se denominan acuíferos colgados, con niveles freáticos adicionales, tal como se muestra en la Figura 1 (Mijares, 2006).

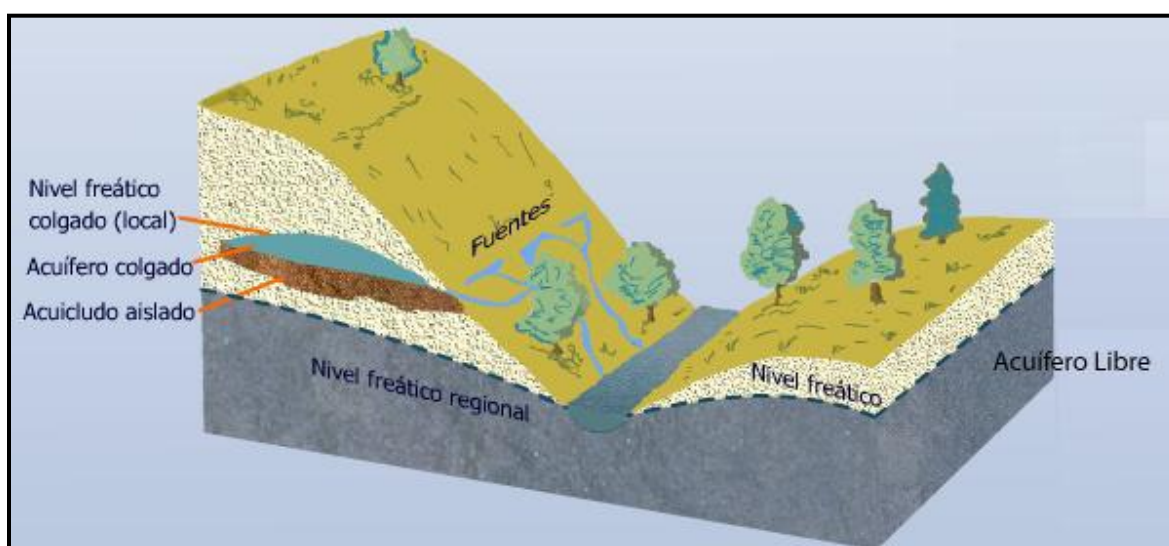


Figura 1. Acuífero colgado (Martín et al., 2006)

5.3.2.2 Acuíferos confinados o artesianos

Son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos impermeables o prácticamente impermeables (Figura 2). En estos acuíferos, el agua está sometida, a una presión mayor que la atmosférica, y al perforar un pozo en ellos, el agua se eleva por encima de la parte superior (techo) del acuífero, hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico. La superficie imaginaria que representa la carga piezométrica en los distintos puntos del acuífero se conoce como superficie piezométrica. En algunos casos, la superficie piezométrica puede estar por encima del nivel del terreno natural, por lo que

un pozo perforado en el lugar fluir  solo, como si fuera un manantial (pozo en ac ifero confinado surgente o pozo artesiano) (Mijares, 2006).



Figura 2. Pozos surgentes y no surgentes en ac ifero confinado (Mart n et al., 2006)

5.3.2.3 Ac iferos semiconfinados

Son ac iferos completamente saturados, sometidos a presi n, que est n limitados en su parte superior por una capa semipermeable (ac itardo) y en su parte inferior por una capa impermeable (ac ifugo) o tambi n por otro ac itardo. En este tipo de ac ifero, la disminuci n de la carga piezom trica originada por el bombeo, por ejemplo, inducir  un flujo vertical del agua contenida en el ac itardo, que actuar  como recarga del ac ifero. Las caracter sticas del ac itardo confinante en un ac ifero semiconfinado son tales que puede ignorarse la componente horizontal del flujo en el ac itardo (Mijares, 2006).

5.3.2.4 Ac iferos semilibres

Representan una situaci n intermedia entre un ac ifero libre y uno semiconfinado. En este caso, la capa confinante superior es un estrato semipermeable o ac itardo, de caracter sticas tales que la componente horizontal del flujo no puede ignorarse. El comportamiento de este tipo de ac ifero es similar al que se presenta en un ac ifero libre con entrega retardada o drenaje diferido (Mijares, 2006).

5.3.3 Según la permeabilidad del acuífero

5.3.3.1 Acuíferos fisurados o kársticos

Son aquellos en los que el agua circula a través de las fisuras y las grietas de materiales como calizas y dolomías. El flujo se produce a través del sistema de grietas creadas en cada sistema siendo significativamente diferente al flujo en un medio poroso. En ocasiones se forman auténticos ríos subterráneos. La caracterización de este tipo de flujo es complicada ya que implica la determinación y configuración del entramado de fracturas existentes desde un punto de vista multidisciplinar (geológico, geoquímico, hidrogeológico, morfológico, estadístico y numérico) del terreno para su caracterización conceptual y simulación estocástica (Elorza *et al.*, 2003).

5.3.3.2 Acuíferos detríticos o porosos

Aquí el agua circula a través de los poros existentes en un volumen de arena o grava donde el flujo se realiza como medio poroso. Este tipo de acuíferos son típicos en zonas cercanas a las montañas, conos de deyección y otras formaciones geológicas sedimentarias. La mayoría de las ecuaciones planteadas en la hidrogeología clásica parten de flujo en medio poroso, por lo que su estudio es posible a partir de diferentes simplificaciones matemáticas adoptadas en la hidrogeología convencional, de las que parten numerosos modelos matemáticos capaces de simular estos entornos (Chávez, 2005).

5.3.3.3 Acuíferos mixtos

Es el caso de la combinación de los dos tipos de materiales anteriores.

5.4 Parámetros hidrogeológicos de los acuíferos

La dinámica de un acuífero se puede caracterizar mediante una serie de parámetros que determinan el funcionamiento de los acuíferos y que son muy importantes a la hora de estudiar el movimiento del agua en un medio poroso (Chávez, 2005). Estos parámetros parten de conceptos básicos en el conocimiento del medio poroso condicionando el flujo y son esenciales en la configuración de los modelos hidrogeológicos (Espinoza, 2004). A continuación se describen los más importantes.

5.4.1 Porosidad (θ)

La porosidad de un medio poroso o fracturado se define como la razón entre el volumen de vacíos y el volumen total del medio. En materiales granulares, depende del tipo de arreglo de empaque, de la forma de los granos y de la distribución de tamaño de los granos (Tood y Mays, 2004). La porosidad de una roca es igual a la suma del rendimiento específico (S_y) y la retención específica (S_r).

5.4.2 Porosidad efectiva (θ_e)

Corresponde a la porosidad disponible para la circulación de un fluido en un determinado medio. La porosidad efectiva de un determinado tipo de suelo es igual a la razón entre el volumen de poros interconectados que sean suficientemente grandes para contener moléculas de agua y el volumen total de suelo o roca. En la práctica, la porosidad efectiva (θ_e) de arenas y gravas puede ser considerada equivalente al valor del rendimiento específico S_y , o bien equivalente a la diferencia entre la porosidad total θ y la retención específica S_r (Tood y Mays, 2004).

5.4.3 Rendimiento específico (S_y)

Corresponde a la razón entre el agua que drena gravitacionalmente desde una roca o suelo saturado y el volumen total, también llamada capacidad específica (Orozco, 2009).

5.4.5 Retención específica (S_r)

Se define como la razón entre la cantidad de agua que un volumen de suelo es capaz de retener en contra de la gravedad y el volumen total de suelo (Orozco, 2009).

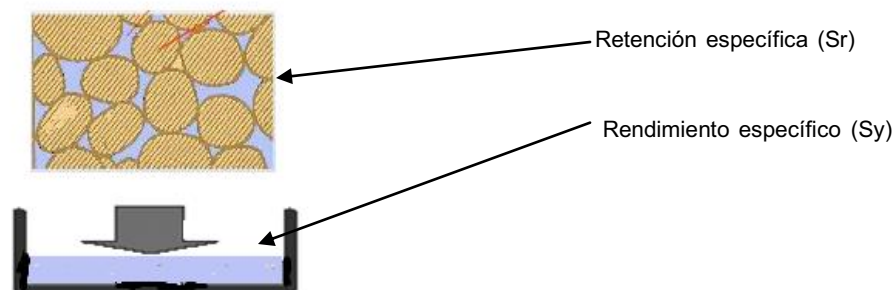


Figura 3. Rendimiento específico y retención específica.

5.4.5 Conductividad hidráulica (K)

También llamada *permeabilidad hidráulica*. Corresponde a la constante de proporcionalidad en la ecuación que describe la Ley de Darcy y representa la mayor o menor facilidad con que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Tiene dimensiones de velocidad [$L T^{-1}$] (Chávez, 2005).

La permeabilidad intrínseca de un medio k es una función de la forma o diámetro y distribución de tamaño de los poros. Distintos autores han propuesto relaciones empíricas que la describen; Fair and Hatch citados por Custodio et al (1983), utilizan para representarla factores de empaque, factores de forma y el promedio geométrico del tamaño de granos; Krumbein citado por Custodio et al (1983), la aproxima utilizando el cuadrado del diámetro promedio de los granos.

Los factores que influyen en la conductividad hidráulica son la densidad y la viscosidad, estos están en función de la temperatura y de la presión (Espinoza, 2004).

En un sistema estratificado, la conductividad hidráulica saturada será diferente para cada estrato que compone el perfil del suelo. Sin embargo, es posible definir un valor global que defina todo el sistema. En este sentido, cuando el flujo es perpendicular a la estratificación, la permeabilidad global viene dada por (Orozco, 2010):

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{L} \sum \frac{b_i}{K_i} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

K_v = es la permeabilidad vertical perpendicular a la estratificación

L = es la longitud atravesada

b_i = es el espesor de la i-enésima capa

K_i = es la conductividad hidráulica de la i-enésima capa

Cuando el flujo es paralelo a los estratos, la expresión de la conductividad hidráulica horizontal global cambia a (Orozco, 2010):

$$K_h = \frac{1}{L} \sum b_i * K_i \quad \text{Ec.2}$$

Generalmente la conductividad hidráulica vertical global es menor que la hidráulica horizontal global ($K_v < K_h$), esto por el efecto que causa la estratificación. Por otra parte, la conductividad hidráulica horizontal se subdivide en las componentes correspondientes al plano cartesiano (x, y), quedando como K_{hx} y K_{hy} (Espinoza, 2004).

5.4.6 Transmisividad (T)

Es una medida de la cantidad de fluido que puede ser transmitida horizontalmente a través de una sección de acuífero de ancho unitario, que involucra todo el espesor saturado, bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad. Se obtiene haciendo el producto entre el espesor saturado del acuífero, b , y su conductividad hidráulica, K . También llamada *transmisibilidad*. Tiene las dimensiones $[L^2T^{-1}]$ (Chávez, 2005).

$$T = K \cdot b$$

Ec.3

5.4.7 Coeficiente de almacenamiento (S)

Según Espinoza (2004) se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical de acuífero, de sección unitaria y de altura igual a su espesor saturado, cuando se produce un descenso unitario de la carga hidráulica (del nivel piezométrico o del nivel freático). S es un coeficiente adimensional.

Al nivel de la superficie freática, en el caso de un acuífero libre, el agua es liberada del almacenamiento por drenaje gravitacional. Bajo la superficie freática, o dentro del acuífero mismo en el caso de un acuífero confinado, el agua es expelida debido a la compresión del esqueleto sólido del suelo y a la expansión del agua en los poros, ambas producidas por el descenso de la carga hidráulica sobre el acuífero (Espinoza, 2004).

Debido a lo anterior, el coeficiente de almacenamiento tiene distintas expresiones dependiendo del tipo de acuífero descrito.

5.4.8 Almacenamiento específico (S_s)

Se define como el volumen de agua añadido o extraído por unidad de volumen del acuífero y por unidad de variación de la carga hidráulica, producto

de los efectos elásticos del esqueleto del suelo y de la propia elasticidad del agua. Tiene unidades de $[L^{-1}]$ (Fetter, 2001).

$$S_s = \rho \cdot g \cdot (\alpha + \theta \cdot \beta) \quad \text{Ec.4}$$

5.4.8.1 Coeficiente de almacenamiento en un acuífero confinado

Dentro de un acuífero confinado, el espesor completo del acuífero permanece saturado mientras se está liberando o almacenando agua. Por lo tanto, toda el agua es liberada debido a la compactación del esqueleto del suelo y a la expansión del agua en los poros (Chavéz, 2005). El coeficiente de almacenamiento S está dado por:

$$S = b \cdot S_s \quad \text{Ec.5}$$

Los valores de S en acuíferos confinados son generalmente menores que 0.005. Valores entre 0.005 y 0.10 generalmente indican un acuífero semiconfinado (USGS, 2001).

En acuíferos confinados, el valor más frecuente es de 10^{-5} y 10^{-3} , siendo en varios órdenes de magnitud inferior al de la porosidad eficaz (Custodio y Llamas, 1983).

5.4.8.2 Coeficiente de almacenamiento en un acuífero no confinado

Dentro de un acuífero no confinado, el nivel de saturación varía a medida que el agua es añadida o removida del acuífero. Cuando el nivel freático desciende, el agua es liberada tanto por el drenaje gravitacional como por la compactación del esqueleto y la expansión del agua en los poros. Por lo tanto, el coeficiente de almacenamiento de un acuífero no confinado está dado por la suma del rendimiento específico (S_y) y el volumen de agua liberado debido al almacenamiento específico (S_s) (Chavéz, 2005):

$$S = S_y + h \cdot S_s \quad \text{Ec.6}$$

El valor de este en acuíferos libres suele oscilar entre 0.01 y 0.4 siendo el intervalo más frecuente de 0.1 a 0.3 (Custodio y Llamas, 1983).

5.5 Ley de Darcy

Darcy en el siglo XIX expresó la ecuación fundamental del flujo en medio saturado. Esta ley tiene la siguiente expresión:

$$V = K \cdot \left(-\frac{dh}{dl} \right) \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

K = Conductividad hidráulica

dh/dl = Gradiente hidráulico

La linealidad entre el gradiente hidráulico y el flujo con pendiente k. Esta linealidad se pierde a velocidades altas, ya que las fuerzas inerciales no son despreciables frente a las viscosas y el fluido se vuelve turbulento. Motivo por el cual la Ley de Darcy es válida para valores del número de Reynolds inferiores a 4 (Mijares, 2008).

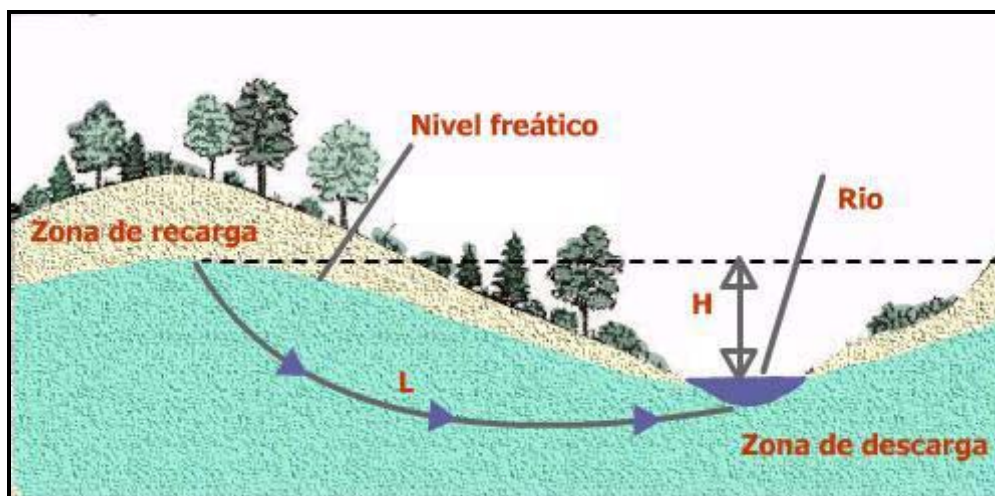


Figura 4. Aplicación de la ley de Darcy (Martín et al., 2006)

5.6 Geología regional

Según Koch y McLean citado por Orozco (2004) Las actividades volcánicas iniciaron principalmente en el Mioceno, lanzaron grandes cantidades de ceniza que luego se compactaron y originaron tobas dacíticas y soldadas, así como lavas basálticas y andesíticas. Mientras que las actividades secundarias, que ocurrieron en el Plioceno, lanzaron volúmenes considerables de materiales volcánicos consistentes de flujos basálticos, andesíticos y riolíticos con flujo piroclástico. Supuestamente los centros de estas erupciones volcánicas se localizaban dentro de las cuencas intermontañas actuales, siendo ahora focos inactivos.

Después de las violentas actividades volcánicas del Plioceno, hubo un período geotécnico tranquilo que duró hasta el Pleistoceno temprano, durante el cual las cuencas intermontañas fueron ampliándose a través de los efectos de erosión. Existieron movimientos de bloques, levantamientos, fallas y subsidencia de las áreas locales. Durante el Pleistoceno medio, el movimiento de los bloques fue acelerado apareciendo cuencas geotectónicas (Orozco, 2004)

Según Koch y McLean citado por Orozco (2004) casi en el mismo período ocurrieron grandes erupciones arrojando materiales volcánicos Pleistocénicos a lo largo de la zona volcánica terciaria.

En el Holoceno, además de movimiento y fallas tectónicas, la actividad volcánica ha continuado o curriendo en los volcanes cuaternarios con el Santa María, Fuego, Pacaya, extendiéndose a lo largo del límite sur del cinturón volcánico terciario (Orozco, 2004).

La cuenca Alta del río Ostúa se encuentra dividida en 3 unidades litológicas (Figura 5), a) Aluvión cuaternario, b) Formación Trifinio y c) Formación Padre Miguel. A continuación se describen las distintas unidades:

5.6.1 Aluvión Cuaternario (Al)

Litológicamente los depósitos aluviales están formados por materiales de distintos tamaños que suelen ser gravas, arenas y arcillas. Estos depósitos son producto de la erosión hídrica que provienen de depósitos volcánicos cuaternarios y terciarios (DIRYA, 1990).

En la región del Altiplano Volcánico Oriental los depósitos aluviales son pocos y generalmente están representados por áreas pequeñas. Además de ser considerados como acuíferos con porosidad primaria, de muy buena productividad, con valores generalmente elevados de transmisibilidad y almacenamiento. (DIRYA, 1990)

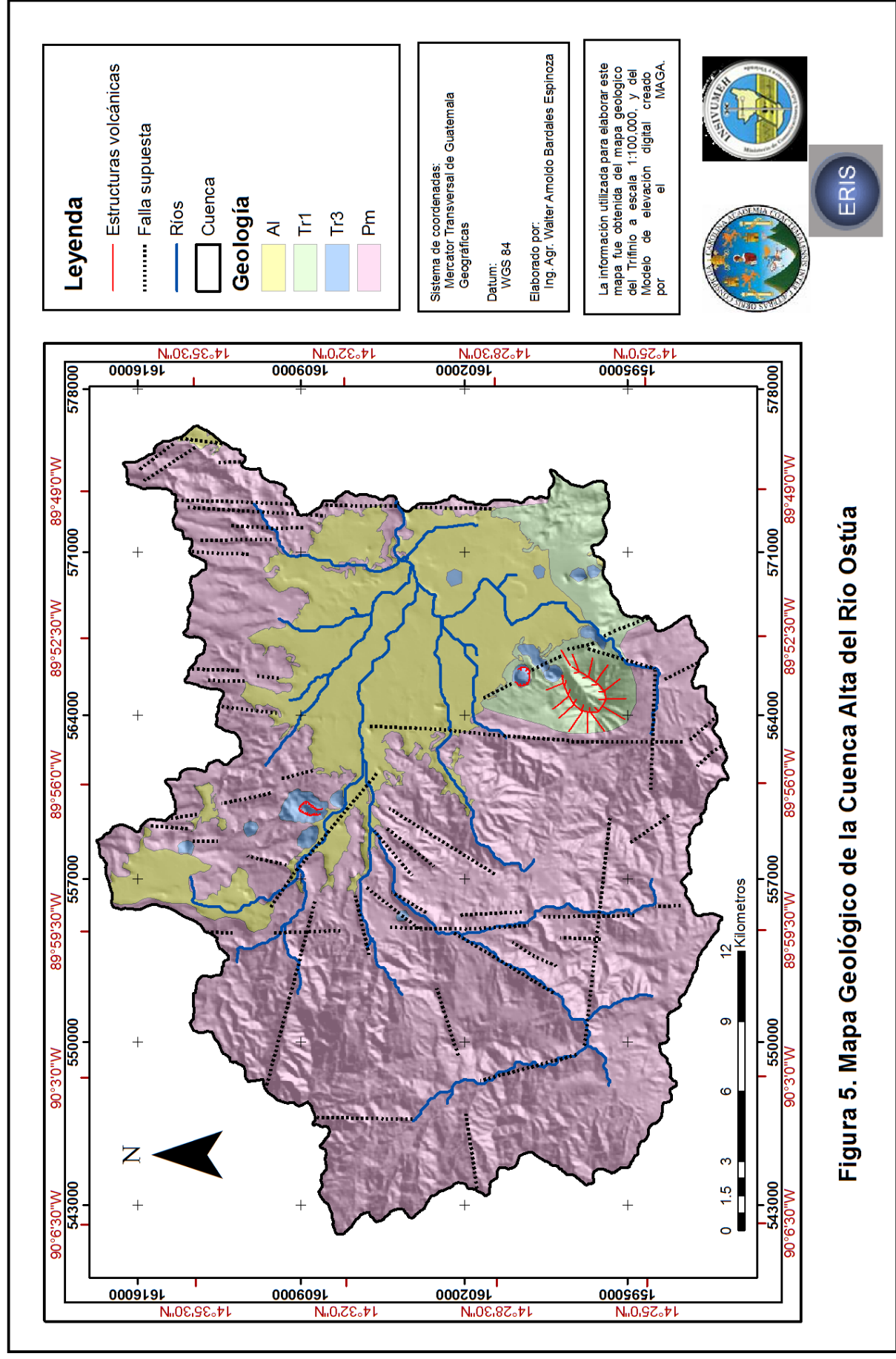
5.6.2 Formación Trifinio (Tr)

La formación Trifinio fue definida durante el estudio de Desarrollo Sostenible de los recursos ambientales e hídricos en la cuenca Alta del Río Lempa. Esta formación fue constituida informalmente, agrupando desde rocas máficas hasta félsicas, creando una subdivisión de esta formación, la cual fue definida desde la roca más antigua hasta la más reciente y es representada por la siguiente simbología: Tr1 formada por lavas basálticas y andesíticas poco meteorizadas, Tr2 son depósitos piroclásticos compuestos por ignimbritas félsicas, Tr3 se identifican como conos de escoria y lavas basálticas recientes y tobas indiferenciadas y Tr3a son domos riolíticos de oxidiana (CTPT, 2009).

5.6.3 Padre Miguel

Esta unidad litológica se caracteriza por tener efusivas félsicas compuestas por lavas riolíticas, dacíticas y piroclásticos acidas, ignimbritas y depósitos de caída coignimbriticos. Según Mc Dowell citado por Suriano (2004), expresa que la edad es Oligoceno a Mioceno. Estas rocas cubren grandes extensiones en el sector noroeste y noreste del área de estudio. Las ignimbritas por ser muy compactas y estar cementadas, no tienen importancia como acuíferos solamente mejoran sus condiciones cuando están fracturadas por fallas, pero las lavas

félsicas por ser antiguas han perdido sus propiedades originales de permeabilidad y ahora están sirviendo de capa impermeables bajo otros depósitos volcánicos más jóvenes del Plioceno Superior al Holoceno (CTPT, 2009).



5.7 Hidrogeología

La caracterización hidrogeológica realizada por el Trifinio, toma como base la geología de la región, información de sondeos eléctricos verticales (SEV), la información de fuentes de aguas subterráneas (pozos perforados, excavados y manantiales) de la región del Trifinio y la información hidroquímica e isotópica obtenida de muestreos (CTPT, 2009).

La caracterización hidrogeológica permitió crear el mapa hidrogeológico (Figura 6), reconociendo en la región tres unidades:

- Acuíferos porosos
- Acuíferos fracturados
- Rocas fracturadas de baja porosidad

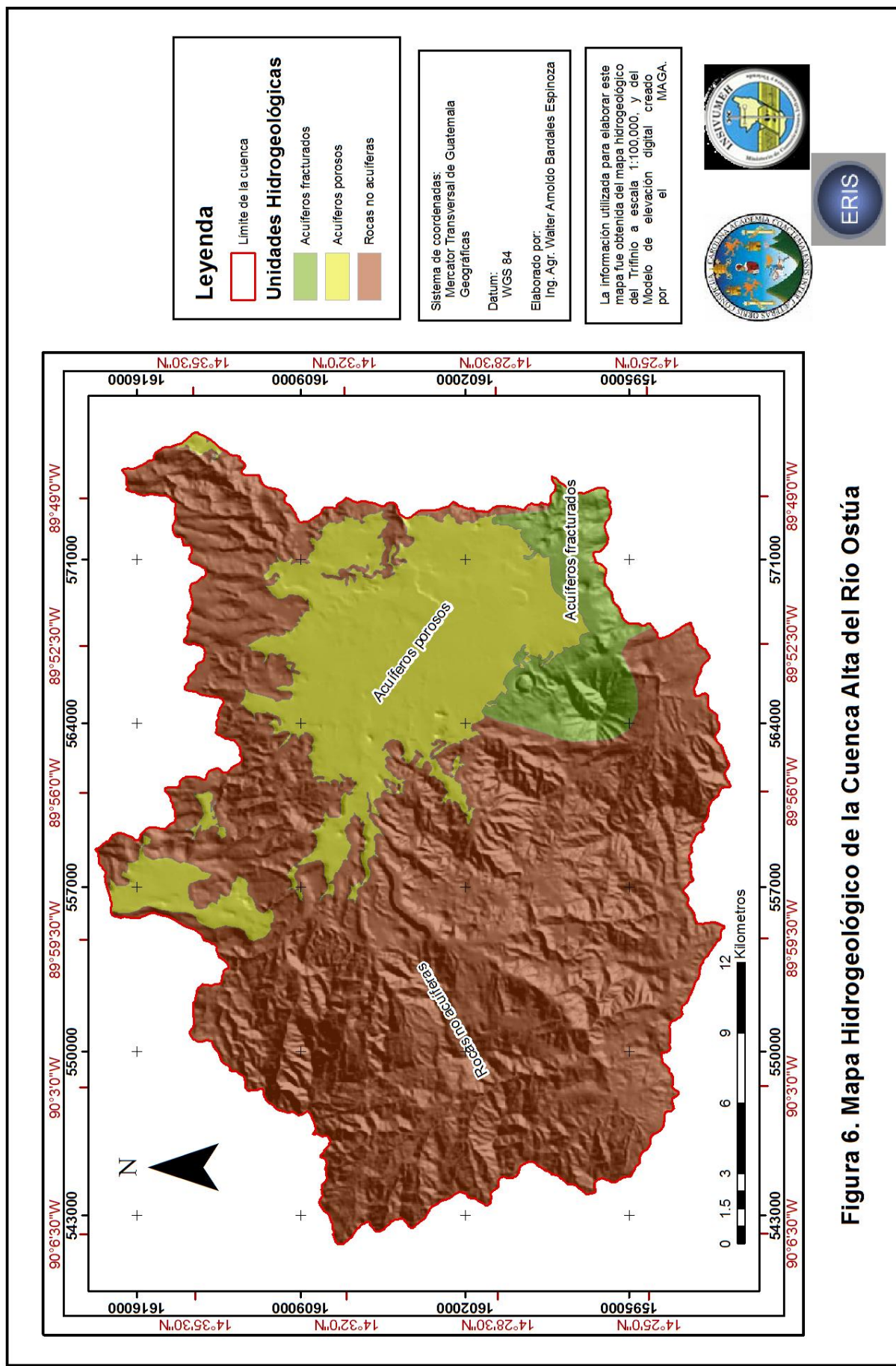


Figura 6. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Río Ostúa

5.8 Serie de suelos de la región

5.8.1 Serie aluviales

Son suelos jóvenes de diferentes características, presentan textura arenosa a arcillosa. Su granulometría es variable y sus características físicas están en función de los materiales erosionados y depositados en la zona (Simmons et al., 1959).

5.8.2 Serie Alzatate

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica o toba de color claro y cementado. El suelo superficial presenta una textura franco a franco arcilloso, su estructura es granular fina, presenta alrededor de 14 % de contenido de materia orgánica, y el subsuelo presenta una textura arcillosa a franco arcillosa, su estructura es cúbica (Simmons et al., 1959).

5.8.3 Serie Chicaj

Son suelos profundos, mal drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica cementada de grano fino. El suelo superficial presenta textura arcillosa (plástica), su estructura es cúbica gruesa. El substrato sobre el cual se encuentra, muchas veces es ceniza volcánica (pómez) cementada de color blanco y de grano fino, y algunas veces se encuentra una ligera capa de arcilla (Simmons et al., 1959).

5.8.4 Serie Jalapa

Son suelos poco profundos excesivamente drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica cementada. Los suelos superficiales son francos a franco arenosos, su estructura no es definida. Esta desarrollada sobre tobas o cenizas volcánicas cementadas (Simmons et al., 1959).

5.8.5 Serie Mongoy

Son suelos profundos, bien drenados y desarrollados sobre lavas máficas o brechas de toba. Los suelos superficiales tienen una textura arcillosa y su estructura es granular, además presentan sobre la superficie rocas volcánicas. El

subsuelo presenta una textura arcillosa, y su estructura es cúbica (Simmons et al., 1959).

5.9 Balance

La forma adecuada para cuantificar la potencialidad de un acuífero, es comparando los volúmenes totales de recarga y de la extracción de las aguas subterráneas de forma temporal (anual), con el fin de determinar las reservas potenciales reguladoras, sin tomar en cuenta las reservas permanentes (Castany, 1975).

La ecuación fundamental del balance hídrico se basa en el principio de la conservación de masa. Su establecimiento se fundamenta en un procedimiento de la contabilidad del agua para un sistema hidrológico dado, mediante el uso de la ecuación de continuidad. La forma más general de esta ecuación es la siguiente:

$$E - S = \Delta A \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

E = Entradas

S = Salida

ΔA = cambio en el almacenamiento.

Garavito (2010) propone el balance hídrico climático como una primera aproximación, para determinar la recarga de un acuífero.

Herrera (1995) expresa que el balance se puede realizar por diferentes métodos, pudiendo ser el balance general, que consiste en determinar la precipitación en la cuenca, y deducir las pérdidas por escurrimiento y evaporación. Además sugiere que el método de balance hídrico de suelos genera buenos resultados.

5.9.1 Balance hídrico climático

El Balance Hídrico Climático (BHC) según la metodología de Thornthwaite se construye a partir de la evapotranspiración potencial (ETP) y la precipitación (P) medias mensuales para un período de años (Garavito, 2010).

5.9.2 Balance hídrico de suelo

El balance hídrico de suelos se basa en el método de Penman, considerando dos formas para estimar la evapotranspiración real con respecto a la evapotranspiración potencial. En la cual considera que las plantas siempre tienen la misma capacidad de extraer agua del suelo independientemente de la cantidad presente en el mismo y variación lineal, cuyo criterio es que cuanto más se acerque el contenido del suelo a su punto de marchitez, mayor es el esfuerzo de las plantas hacen para obtener agua, motivo por el cual cierran sus estomas, para retener la humedad disminuyendo así la evapotranspiración (Orozco, 2004).

$$ETR = ETP * (HF + P_i - PMP) / (CC - PMP) \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real (mm)

ETP = Evapotranspiración potencial (mm)

HF = Humedad del suelo al final del mes anterior

P_i = Facción de la precipitación que se infiltró en el mes

CC = Humedad en capacidad de campo del suelo (mm)

PMP = Humedad en punto de marchitez del suelo (mm)

5.9.2.1 Evapotranspiración real

La evapotranspiración es el resultado de la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Estos dos factores son muy variables y difíciles de medir (Custodio y Llamas, 1983).

5.9.2.2 Evapotranspiración potencial

La dificultad de poder medir la evapotranspiración real, hace que se maneje el concepto de evapotranspiración potencial, el cual se define como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua (Orozco, 2009). Otra definición es la de Herrera (1995), la evapotranspiración representa toda el agua que desaparece de cualquier área (con o sin cobertura vegetal) por efecto del clima, por lo que se considera un factor muy importante, ya que influye en la recarga de los acuíferos.

Para calcular la evapotranspiración existen métodos directos e indirectos, los más utilizados son los indirectos. Estos métodos generalmente se basan en las variables: Temperatura, radiación solar y humedad relativa. Además existen algunas ecuaciones complejas; pero precisas, como la de Penman, siendo su limitante el gran número de variables que debe de ingresarse. En nuestro medio se recomienda el uso del modelo de Hargreaves, ya que ha tenido resultados satisfactorios a nivel de Mesoamérica (Orozco, 2009).

Según Cabrera citado por Orozco (2004), los valores de evapotranspiración potencial varían entre 1 a 3 mm/día para los climas templados, de 5 a 8 mm/día en los trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/día en regiones áridas.

Herrera (1995) expone que la evapotranspiración se considera como el 80% de la evaporación media en el evaporímetro tipo A. Otros investigadores como Penman citado por Orozco (2005) consideran como un buen factor 0.75.

5.9.2.3 Fracción de lluvia que se infiltra en el suelo

La precipitación pluvial es uno de los componentes más importantes en la recargar acuíferos. Al momento en que la precipitación hace contacto con el suelo

se divide en dos, la parte que escurre y la parte que se infiltra, esta última es la que nos interesa para recargar acuíferos.

Existen varios factores que interfieren en la determinación de la fracción de precipitación que se infiltra en el suelo, entre ellos podemos mencionar los principales: Intensidad de la precipitación, velocidad de infiltración en el suelo, cobertura vegetal y topografía (Herrera, 1995). Según Orozco (2009) existen varios métodos para determinar la fracción de agua que se infiltra, siendo uno de estos el método de Schosinsky y Losilla.

Schosinsky y Losilla (2000) establecieron el modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual, el modelo se basa en una ecuación producto de la correlación estadística de los hietogramas con la velocidad de infiltración del suelo, siendo este último factor el que condiciona la cantidad de precipitación que logra infiltrarse. Esta ecuación depende de las características físicas del suelo: Textura, estructura, compactación y el contenido de humedad, las cuales son independientes a cualquier lugar donde se halla extraído el suelo. El modelo es el siguiente:

$$P_i = (1 - k_i) * C_i * P \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

P_i = Precipitación que se infiltra en el suelo (mm/mes)

C_i = Coeficiente de infiltración

K_i = Valor de la retención vegetal.

P = Precipitación mensual

El coeficiente de infiltración se calcula de la siguiente forma

$$C_i = K_{Fc} + K_v + K_p \quad \text{Ec. 11}$$

Según Schosinsky y Losilla (2000) para utilizar el modelo se deben de tomar en cuenta las siguientes restricciones, si la precipitación mensual es menor o igual a 5 mm, la precipitación es igual a la retención y si la precipitación mensual es mayor a 5 mm la precipitación que se infiltra en el suelo se basa en la siguiente ecuación:

Este método fue elaborado bajo las condiciones climáticas de Costa Rica; pero asido utilizado en distintas partes de Centro América, los cuales han tenido resultados satisfactorios. Esto debido a que las condiciones climáticas de Mesoamérica son similares; pero cabe resaltar que su uso sea con precaución.

La infiltración es el proceso por el cual el agua se mueve desde la superficie hasta el suelo. La velocidad con que ocurre este hecho se llama tasa de infiltración y está determinada por el tipo y particularidades texturales del suelo, así como por la humedad inicial de éste (Custodio y Llamas, 1983). Esta tasa cambia con el tiempo a medida que los poros del suelo se llenan de agua, hasta llegar a un punto donde la tasa de infiltración se vuelve constante recibiendo el nombre de infiltración básica.

Según Schosinsky y Losilla (2000) la ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo con la intensidad de lluvia es la siguiente:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(F_c) - 0.000154 F_c - 0.723 \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

K_{fc} = Factor de infiltración de agua en el suelo e intensidad de lluvia

$\ln$ = Logaritmo natural

F_c = Valor de infiltración básica (mm/día)

Los valores del factor pendiente propuestos por Schosinsky y Losilla (2000) se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Coeficiente de pendiente según el porcentaje de pendiente.

Valor en porcentaje de la pendiente del terreno	Coeficiente de pendiente
0.02 – 0.06	0.30
0.3– 0.4	0.20
1 – 2	0.15
2 – 7	0.10
> 7	0.06

Fuente: Schosinsky, 2006.

Dependiendo de la cobertura vegetal del área de estudio, así serán los valores que tome el factor cobertura vegetal, estos valores se seleccionan de acuerdo al cuadro 2.

Cuadro 2. Coeficiente de cobertura vegetal según el tipo de cobertura.

Tipo de cobertura vegetal	Coeficiente de cobertura vegetal
Zacate o matorrales (<50%)	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Pastizales	0.18
Bosques	0.20
Zacate o matorrales (<75%)	0.21

Fuente: Schosinsky, 2006.

El coeficiente de retención varía según la cobertura del suelo, Linsley et al. citado por Schosinsky (2006) propone un coeficiente de retención del 20 % en bosques de copas frondosas y Butler citado por Schosinsky (2006) expresa que el coeficiente de retención de la lluvia en el follaje es del 12 %, otros coeficientes de retención son del 0.5 para techos y 0.8 para calles (Schosinsky, 2006).

5.10 Contaminación

En Hidrogeología, se entiende la alteración de la calidad natural del agua subterránea, física, química o biológica, ya sea como consecuencia directa o indirecta de la actividad del hombre o por razones naturales (Rodríguez, 2003).

5.10.1 Fuentes de contaminación

El sitio de origen de los contaminantes se denomina fuente, esta puede ser Potencial o Activa dependiendo si está o no generando lixiviados. La sola presencia de elementos o sustancias contaminantes en una fuente no implica que estos estén migrando hacia el acuífero. Una fuente inactiva, como un relleno sanitario, es potencial, ya que pueden darse las condiciones para que posteriormente si pueda generar lixiviados (Rodríguez, 2003).

Se diferencian las fuentes por su temporalidad. Si constantemente producen solutos se les denomina continua. Si la producción está supeditada a la presencia de excesos de humedad que favorezcan infiltraciones serán intermitentes (un gran basurero urbano en una zona semi-árida, solo genera lixiviados cuando se percola agua de precipitación durante los periodos de lluvia). Cuando ocurre una contingencia (accidentes químicos, derrames) que produce percolaciones, se produce una entrada única al sistema acuífero, entonces se dice que la fuente es un pulso (Rodríguez, 2003).

Dado que existen procesos antropogénicos y naturales las fuentes también se clasifican por su origen de la misma manera. El origen es importante dadas las implicaciones que tiene en los mecanismos de transporte y de ser el caso, en los programas de remediación (Rodríguez, 2003).

Cuadro 3. Clasificación de las fuentes contaminantes

Actividad	Activa o potencial
Origen	Natural o antropogénico
Geometría	Lineal, puntual o difusa
Temporalidad	Constante, intermitente, pulso

Fuente: Rodríguez, 2003

La alteración de la calidad no se da únicamente con elementos o sustancias que pudieran afectar la salud humana. Los flujos subterráneos pueden incorporar excesos de elementos no normados o que pueden rebasar valores de referencia sin que su consumo provoque afectaciones adversas a la salud. Pero cuando se hace referencia a contaminantes por lo general se trata de sustancias cuya toxicidad, puede poner en riesgo la salud de quien consume ese tipo de agua por periodos continuos y prolongados (Rodríguez, 2003).

5.10.2 Normas para el agua de consumo humano

El establecimiento de normas para el agua de consumo humano, esto es la concentración máxima permisible cuya ingesta no provoca afectaciones adversas a la salud, requiere de complicados estudios y ensayos in vitro, bioensayos dosis-respuesta en diferentes especies y datos epidemiológicos (Rodríguez, 2003). En Guatemala existe la Norma COGUANOR NGO 29001, esta norma regula el uso del agua para consumo humano (COGUANOR, 1975).

VI. Metodología

El trabajo comprendió de cuatro etapas: recopilación de datos, fase de campo, análisis de la información y elaboración del documento final.

6.1 Recopilación de datos

Consistió en la obtención de información que se encontraba dispersa en diferentes instituciones gubernamentales, municipalidad de Monjas e iniciativa privada, la cual se reunió para tener una mejor visualización y documentar la investigación. Entre la información que se buscó se encuentran los mapas: topográficos, geológicos, hidrogeológicos, climatológicos, de suelo, uso de la tierra de la zona.

Se utilizó información geográfica para obtener un modelo de elevación digital tridimensional, la información fue obtenida del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

La información climatológica e hidrológica de la zona se obtuvo de las estaciones del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), siendo estas La estación meteorológica la Ceibita y la estación hidrométrica Casa de Tablas.

La información geológica del valle de Monjas se obtuvo de los mapas geológicos y de los perfiles estratigráficos de los pozos perforados por el INSIVUMEH y la municipalidad de Monja.

Se revisó la información hidrogeológica existente de la zona, así como los datos de los pozos perforados por el INSIVUMEH en el valle de Monjas, entre la información que se obtuvo esta: ubicación, profundidad, litología, nivel estático, nivel dinámico, pruebas de bombeo y régimen de explotación.

6.2 Fase de campo

Se realizó una visita para corroborar la información obtenida de fuentes secundarias.

- a) La geología se obtuvo por medio de cortes de taludes, ríos y por la estratigrafía de los pozos perforados, con esto se pudo definir la estratigrafía superficial para los pozos excavados.
- b) La hidrología superficial se identificaron los cauces de la zona, para poder establecer si tienen influencia con el acuífero, base de datos hidrológicos de las estaciones Casa de Tablas y los datos meteorológicos de la estación La Ceibita.
- c) La permeabilidad de la zona de estudio sirvió para identificar las zonas potenciales de recarga superficial al acuífero. Para esto se elaboraron pruebas de infiltración, mapas de textura de suelo, densidad aparente, humedad de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.
- d) Se realizó un recorrido de la zona para realizar el mapa de uso de suelo, además se identificaron los posibles focos de contaminación de las aguas subterráneas.
- e) Con el uso del mapa base se ubicaron geográficamente los pozos existentes en el valle de Monjas (perforados y excavados), con su altitud sobre el nivel del mar, se estableciendo el tipo de uso, la profundidad total y su nivel estático y dinámico.
- f) Se tomaron en cuenta los registros de las pruebas de bombeo existentes de los pozos de la zona, así como los parámetros hidrogeológicos de transmisividad (T), coeficiente de almacenamiento (S) y conductividad hidráulica (K).

- g) Se revisaron los estudios de calidad fisicoquímica del agua realizados en la estación Casa de Tablas, el Pozo perforado la Ceibita y La Laguna del Hoyo.

6.3 Análisis de la información

La información recabada fue agrupada y analizada según sus características temáticas:

- a) Con la información geológica se elaboraron mapas geológicos de superficie, distribución de las unidades geológicas, tectónica preferencial del valle y perfiles estratigráficos representativos del valle.
- b) Se establecieron los parámetros hidrogeológicos de la zona de estudio, y con la información de niveles piezométricas se elaboraron isolíneas de flujo de aguas subterráneas y se definió la red de flujo del agua subterránea.
- c) Se revisaron y analizaron los valores de temperatura, porcentaje de humedad relativa, precipitación pluvial, evaporación y evapotranspiración media de la zona de estudio, estos valores se calcularon por medio del registro meteorológico del INSIVUMEH.
- d) Se realizaron cuatro pruebas de infiltración, en distintos puntos del valle de Monjas, estos fueron seleccionados de acuerdo a las series de suelos presentes en el valle.
- e) Se realizó el balance hídrico, utilizando los métodos de INSIVUMEH y Schosinsky y Losilla.

- f) Con base a la recarga del acuífero y la extracción de agua, se estableció el potencial del mismo.
- g) Los resultados de calidad del agua (física y química) se mostraron a través de cuadros y diagramas de Piper para obtener clasificaciones hidroquímicas de las aguas subterráneas y superficiales del valle de Monjas.

VII. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca Alta del Río Ostúa, entre las coordenadas 14° 35' 0" – 14° 27' 0" Latitud Norte y 89° 58' 0" – 89° 49' 0" Longitud Oeste. Las coordenadas Tranversa Mercator Guatemala (GTM) son 1594000 –1612000 Norte y 552000 - 573000 Oeste (Figura 7) y tiene una extensión de 113 Km².

La Administración-política del valle de Monjas, está dada por los municipios: Jalapa, San Pedro Pínula, San Manuel Chaparrón, Santa Catarina Mita, El Progreso Achuapa y Monjas (Figura 8). Siendo el municipio de Monjas el que posee la mayor área del valle, seguido por Santa Catarina Mita (Cuadro 4).

Cuadro 4. Distribución de la administración política del valle de Monjas.

Municipio	Área que ocupa en km²
Monjas	81.5
Santa Catarina Mita	15.76
Jalapa	6.31
El Progreso Achuapa	5.95
San Manuel chaparrón	2.98
San Pedro Pínula	0.11

Fuente: Elaboración propia

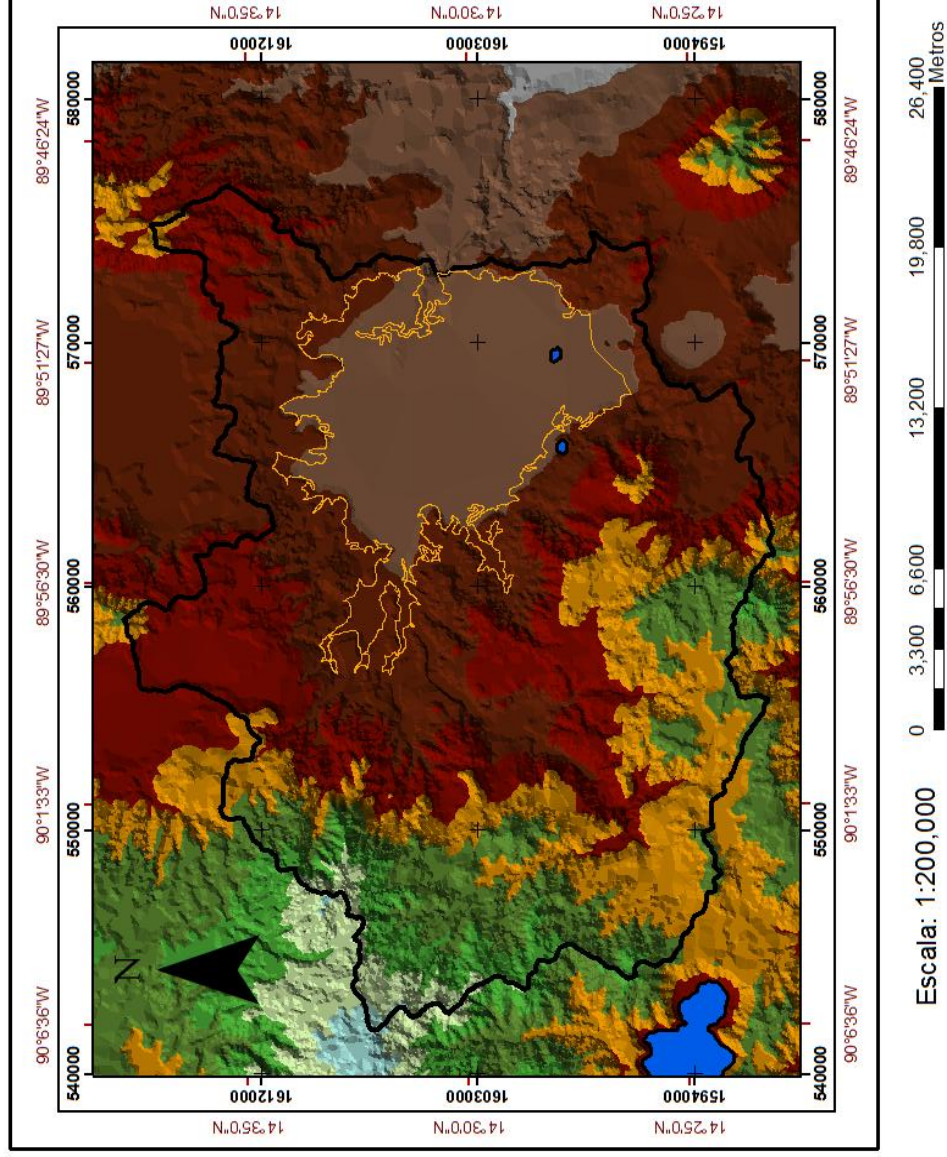


Figura 7. Mapa de ubicación del Valle de Monjas dentro de la cuenca Alta del río Ostúa

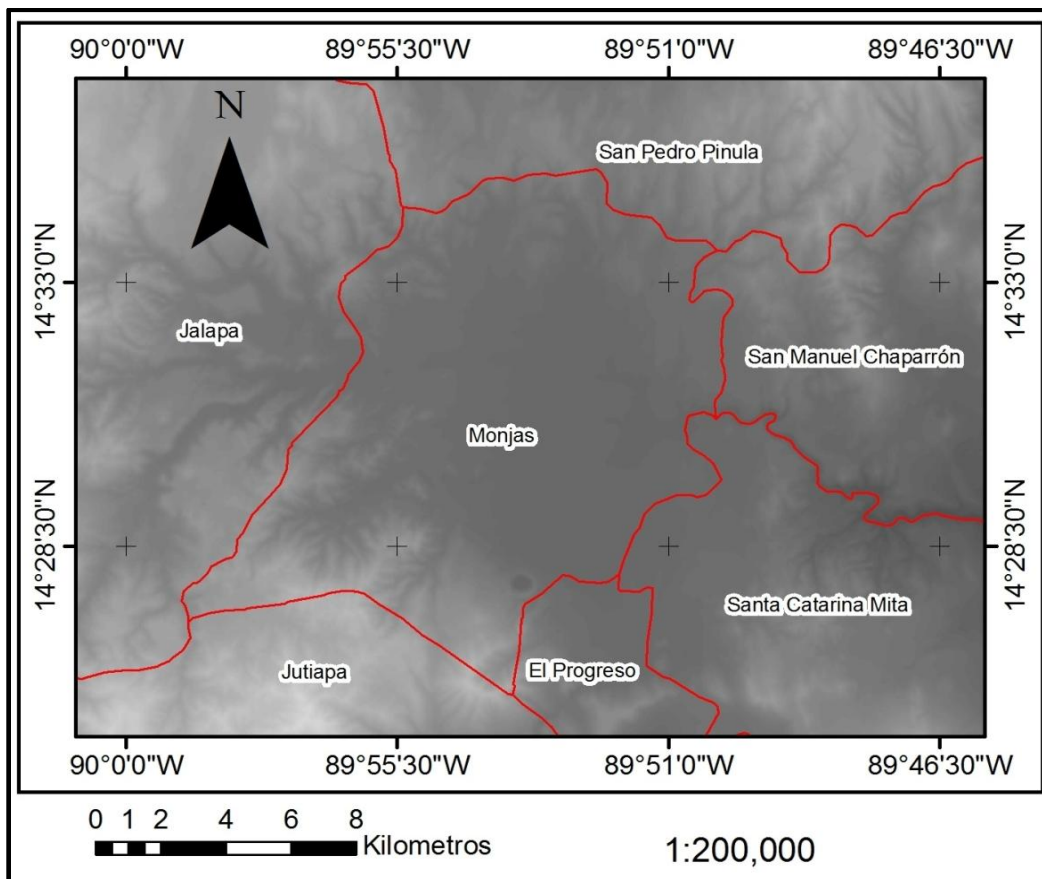


Figura 8. Distribución político-administrativa del valle de Monjas

VIII. Características fisiográficas y geológicas del valle de Monjas

8.1 Fisiografía

Fisiográficamente el valle de Monjas se encuentra delimitado por el macizo montañoso de los municipios de San Carlos Alzatate y Jalapa, al suroeste por la laguna del Hoyo y el volcán Tahual, al sur por la laguna de Retana, al sureste por los cerros Tierra Colorada y Mataltepe y el volcán Suchitán, al este hay una pequeña depresión que es causada por el Río Ostúa y es considerada como la salida del Valle, al norte por los cerros Cuajilote, Cipresal y Güistepeque.

8.2 Geomorfología

Geomorfológicamente el valle de Monjas pertenece a una depresión y llanura de sedimentación. Este tipo de superficies son formadas por desplazamientos verticales, laterales de bloques tectónicos, que dan como resultado, depresiones con superficies de acumulación de sedimentos. Debido a la intensa erosión, que están asociadas con sus ríos de baja pendiente hidráulica, consecuentemente poseen alta energía solamente ante la presencia de lluvias intensas. Se caracterizan por depositar en sus márgenes convexas (meandros) sedimentos finos (arenas y gravas), alternados con sedimentos gruesos como guijarros, cantos rodados y bolos. Además de tener en las orillas del valle la presencia de laderas con pendientes escarpadas que facilitan el transporte de sedimentos a las partes bajas.

Estas morfologías tienen importancia debido a la acumulación de aguas subterráneas que constituyen acuíferos libres.

8.3 Geología

Geológicamente el valle de Monjas está formado por aluviones, producto de la erosión de las partes altas y sedimentación de los ríos. El aluvión se extiende alrededor de 113 km².

Los materiales aluviales del valle presentan una profundidad variable (entre 88 y 230 m) (Cuadro 2), que se encuentran en relación con el cauce del río Ostúa, alcanzando el mayor desarrollo en la parte de la cabecera municipal de Monjas y los mínimos por las zonas de las aldeas San Juancito y el ovejero. Estos materiales junto con la estructura del valle, juegan un papel muy importante en los intercambio del río y del acuífero, el cual puede ser cuantificado por aforos diferenciales.

Los depósitos aluviales y coluviales en los valles jóvenes de los ríos son de edad Holocénica y están compuestos por guijarros, suelos arenosos y arcillosos, arenas angulares, etc.

Este tipo de depósitos recientes, al estar constituidos por materiales de granulometría gruesa y bien organizada resultan ser buenos acuíferos, ya que crean buena permeabilidad.

Los límites del valle vienen dados por los mantos externos de la formación Padre Miguel, que forman los límites impermeables del sistema acuífero y por la formación Trifinio 3, que forma una zona semipermeable con la cual podría tener intercambio hidrodinámico.

8.4 Estratigrafía del valle de Monjas

La estratigrafía del valle varía a lo largo y ancho del mismo, por contener diferentes materiales que han sido transportados y depositados por la erosión o por fenómenos cataclísmicos. La granulometría de los materiales presentes suele ser de media a gruesa (gravas y arenas), esto permite una adecuada circulación del agua, también existen capas de material muy finos (arcillas) que dificultan el paso del agua a otros estratos, permitiendo así la formación de acuíferos someros dentro del valle (Figura 9).

Todo el valle de monjas está formado por la unidad geológica de aluvión reciente y las unidades volcánicas Sedimentarias y Flujos Piroclásticos, y debajo de él se encuentra el basamento que es considera como la capa impermeable del acuífero y esta es la formación Padre Miguel.

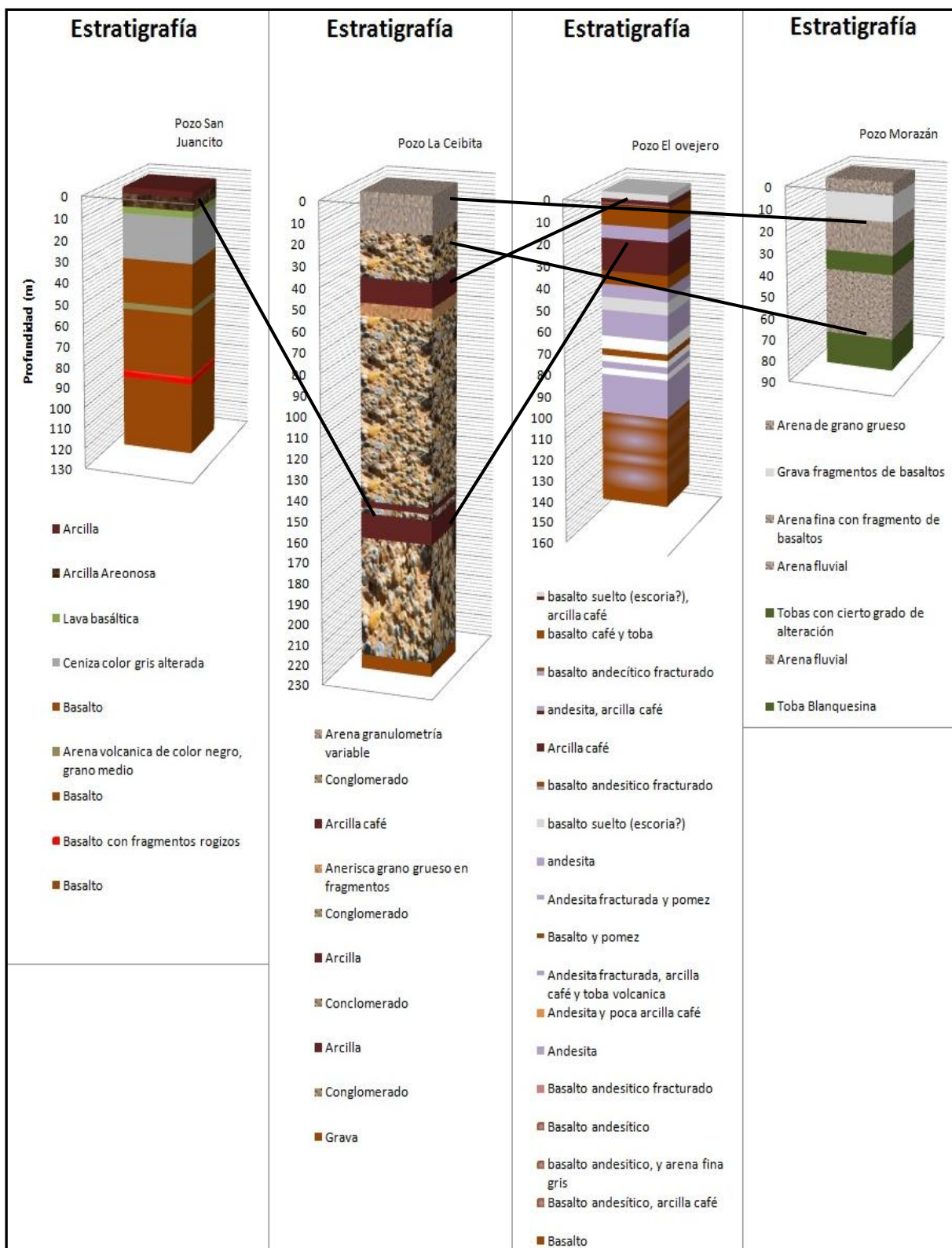


Figura 9. Estratigrafía de los pozos perforados en el valle de Monjas.

8.5 Ubicación de pozos excavados y perforados

El valle de Monjas tiene 4 pozos perforados contabilizados; pero solamente se tiene información técnica de tres. Durante la visita de campo se pudo constatar que existen un mayor número de pozos perforados, estos no tienen registros de su capacidad y parámetros hidráulicos. Además existen 53 pozos excavados que los pobladores de la zona utilizan para abastecerse de agua. Su uso es variable, algunos los utilizan para riego como es el caso de los pozos de la aldea la Campana y otros para usos domésticos (Figura 10).

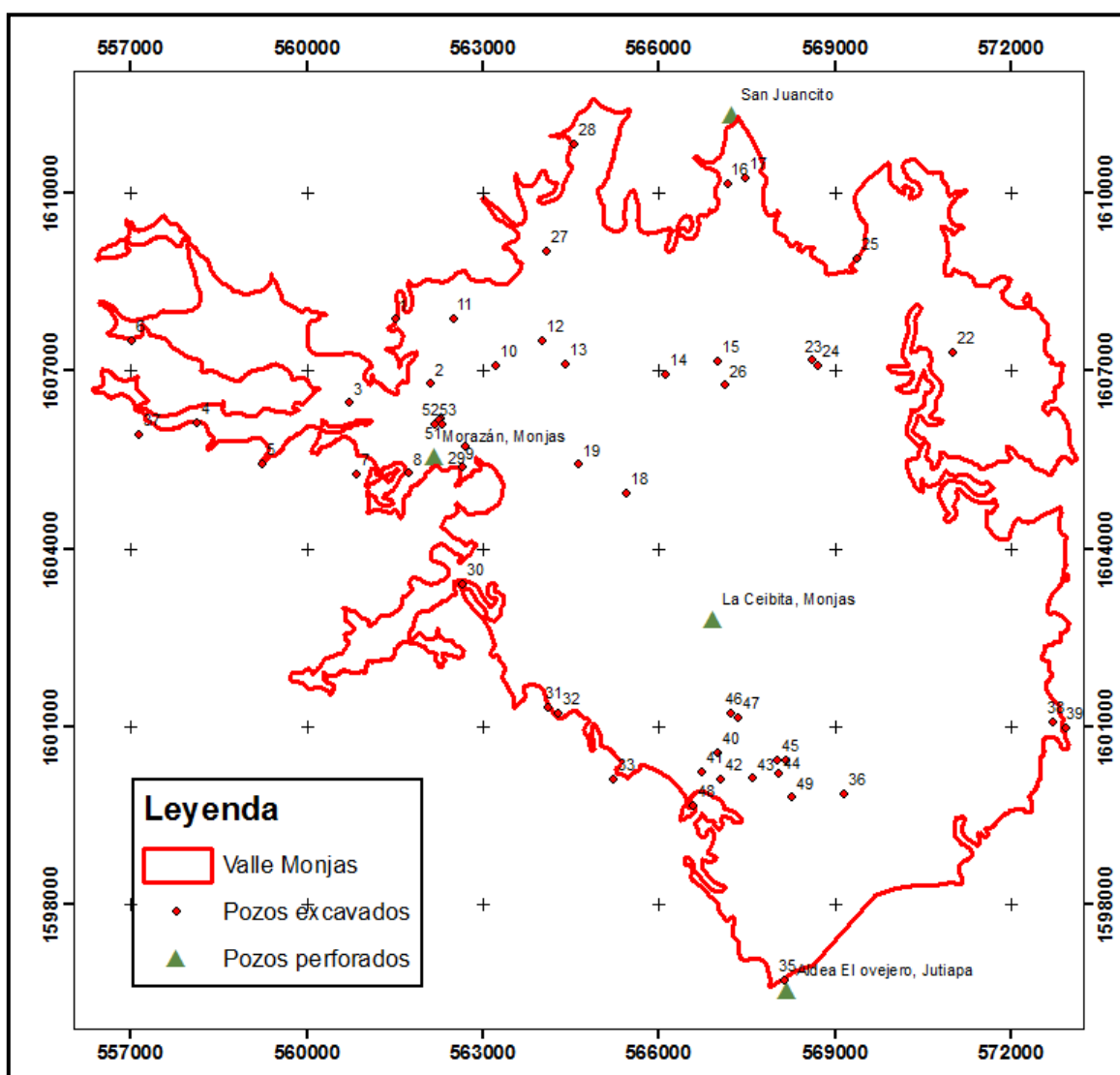


Figura 10. Distribución de los pozos excavados y perforados en el valle de Monjas.

8.6 Propiedades hidrogeológicas

Los parámetros analizados en el valle de Monjas fueron la transmisividad (T), el coeficiente de almacenamiento (S) y la capacidad específica (Sy). Estos parámetros fueron obtenidos mediante el análisis de pruebas de bombeo de corta y larga duración correspondiente a los pozos La Ceibita, Ovejero y San Juancito, estas pruebas de bombeo fueron practicadas por el INSIVUMEH y DAHO POZOS.

Según los estudios realizados por JICA (1988) e INSIVUMEH (1990), el valle de Monjas se divide en cuatro zonas con diferentes valores de transmisividad. Para el área de San Pedro la transmisividad es de $104 \text{ m}^2/\text{día}$, en el área de Mojarritas de $6 \text{ m}^2/\text{día}$ (Cuadro 11), en los alrededores del pozo La Ceibita con $1003 \text{ m}^2/\text{día}$ y en los alrededores del pozo San Juancito de $813 \text{ m}^2/\text{día}$ (Cuadro 12).

En estudios realizados en el valle de Monjas han definido que el coeficiente de almacenamiento va de los 0.15 a 0.97 (cuadro 5 y 6), los valores de coeficientes de almacenamiento indican que se trata de un sistema de acuíferos libres o someros según la clasificación realizada por Custodio y Llamas (1983).

El valle de monjas presenta una capacidad específica que varía de 38 a $995 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$, esta propiedad es importante, ya que sirve para el análisis de pozos parcialmente penetrantes en el acuífero. Además que el agua subterránea del valle de Monjas es captada por pozos excavados y perforados, los cuales se encuentran a distintas profundidades y con diferentes diámetros, algunas perforaciones penetran parcialmente en el acuífero, otros perforan varios acuíferos.

Cuadro 5. Propiedades hidráulicas en el valle de Monjas

Zona	Capacidad específica (Sy) m ³ /día/m	Transmisividad m ² /día	Coeficiente de Almacenamiento
Área de Mojarritas	125 - 623	6	3.6×10^{-1}
Área de San Pedro	890	104	9.7×10^{-1}
Alrededores del Güirila y Ostúa	38 - 190		

Fuente: JICA, 1988.

Cuadro 6. Propiedades hidráulicas de los pozos perforados en el valle de Monjas.

Pozo	Capacidad específica M3/día/m	Transmisividad M2/día	Coeficiente de almacenamiento
San Juancito	995	812.7	1.55×10^{-1}
La Ceibita	523	1002.7	5.68×10^{-1}

Fuente: INSIVUMEH

El abatimiento de un pozo durante una prueba de bombeo es un buen indicador del rendimiento del mismo. Los pozos perforados en La ceibita y San Juancito presentan un abatimiento entre 1.5 a 3 metros, con un caudal entre 62 a 65 m³/hr, esto por encontrarse sobre materiales aluviales de alta porosidad, ya que el material geológico es considerado como un buen productor de agua (Cuadro 7).

Mientras el abatimiento del pozo El Ovejero es de 57 m con un caudal menor al de La Ceibita y San Juancito, esto por encontrarse cerca de la unidad hidrogeológica de acuíferos fracturados, los que presentan un menor rendimiento comparados con los acuíferos porosos.

Cuadro 7. Rendimiento de los pozos perforados en el valle de Monjas

Pozo	Caudal m ³ /hr	Prueba de bombeo	
		Abatimiento M	Tiempo min
San Juancito	65.88	2.84	960
La Ceibita	62	1.59	170
El Ovejero	53.14	57.01	1440

Fuente: INSIVUMEH y DAHO

8.7 Determinación de isofreáticas

Las medidas de profundidad del nivel freático registradas en los pozos permitieron generar el mapa piezométrico del acuífero y nos ha permitido definir la dirección de flujo principal de las aguas subterráneas. Hay que tener en cuenta que en algunos pozos únicamente fue posible medir un dato de nivel y en otros existen hasta diez lecturas por cada pozo inventariado (Cuadro 1A y 2A) y que estos fueron medidos a lo largo de los años 1984 a 1990. A su vez hay que considerar que las cotas a partir de los cuales se ha calculado el nivel piezométrico fueron medidas con metro convencional en pozos excavados y con sonda eléctrica en pozos perforados.

Para evitar la variación por efecto de la topografía, se determinaron los niveles estáticos con respecto al nivel del mar, dando como resultado que los niveles de agua subterránea se encuentren entre los 1150 a 900 m.s.n.m., El abanico aluvial del río Ostúa en la estación Casa de Tablas presenta un nivel freático de 1040 m.s.n.m. y en la salida del valle el nivel freático es de 940 m.s.n.m. El mapa de isofreáticas generado se puede observar en la figura 11.

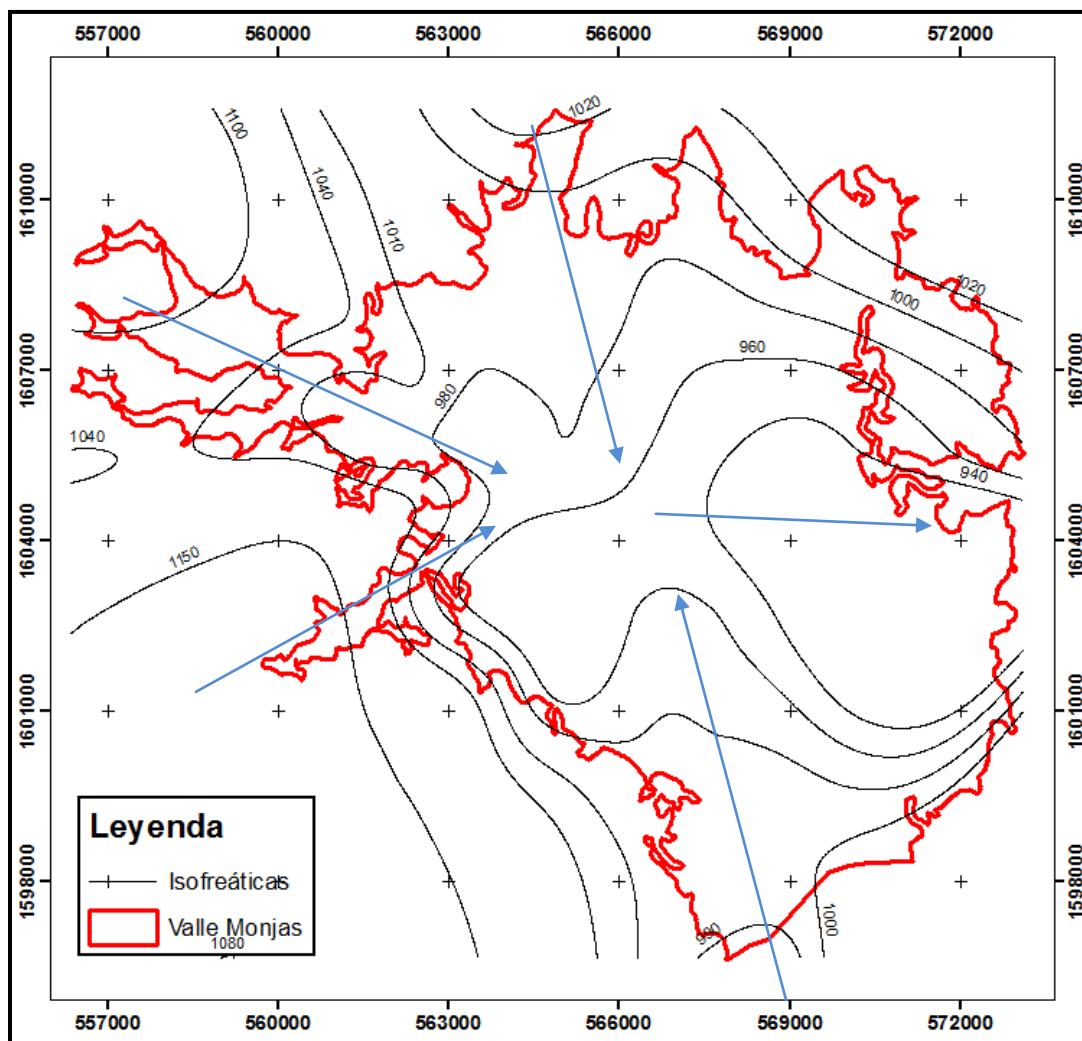


Figura 11. Mapa de isofreáticas generado para el acuífero somero del Valle de Monjas.

En el mapa de isofreáticas generado para el acuífero aluvial del valle de Monjas, podemos observar que la dirección principal de flujo es hacia el Este, siguiendo la dirección del río principal Ostúa.

En la zona de estudio, se presentaron niveles de aguas subterráneas muy superficiales, generalmente en las partes bajas y cerca de la laguna el Hoyo (Aldea La Campana).

En términos generales, se puede decir que el movimiento de las aguas subterráneas a nivel regional, sigue el patrón de circulación de acuerdo a las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica, es decir, los niveles de las aguas subterráneas varían de acuerdo con las características topográficas de la cuenca superficial.

IX. Climatología e hidrología

El valle de Monjas presenta un clima templado y esta caracterizado por los siguientes factores:

9.1 Temperatura

La Temperatura es uno de los factores que influye en la evaporación y evapotranspiración. El valle de Monjas presenta una variación multianual de la temperatura, siendo en 1983 y 1984 los años con la menor temperatura de su registro histórico (Figura 12). En los últimos años la temperatura media anual se ha mantenido en 23.5 °C con tendencia a mantenerse. La temperatura media multianual del valle de Monjas es de 22.8 °C.

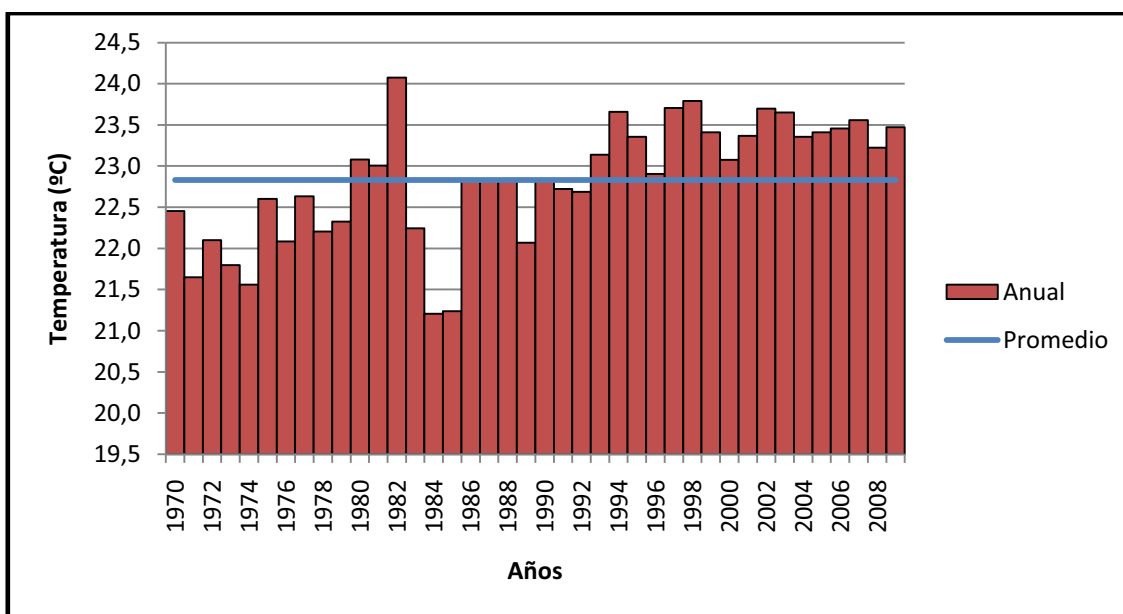


Figura 12. Comportamiento histórico de la temperatura en la estación La Ceibita.

La temperatura varía a lo largo del año, siendo diciembre y enero los meses con la menor temperatura, y los meses de abril y mayo los que presentan la mayor temperatura (Figura 13).

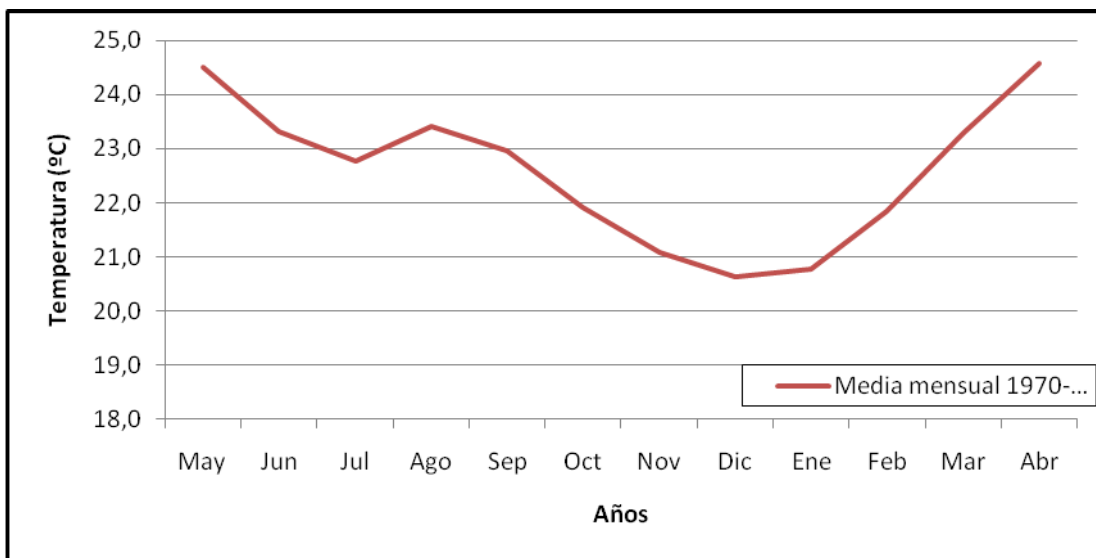


Figura 13. Comportamiento de la temperatura media mensual en el valle de Monjas.

9.2 Humedad relativa

La humedad relativa es un factor climático que se encuentra muy relacionado con la evapotranspiración, y muchos modelos de evapotranspiración lo consideran como una variable independiente para su cálculo. En la figura 14, se muestra la humedad relativa promedio anual, la cual es muy variable durante el registro histórico.

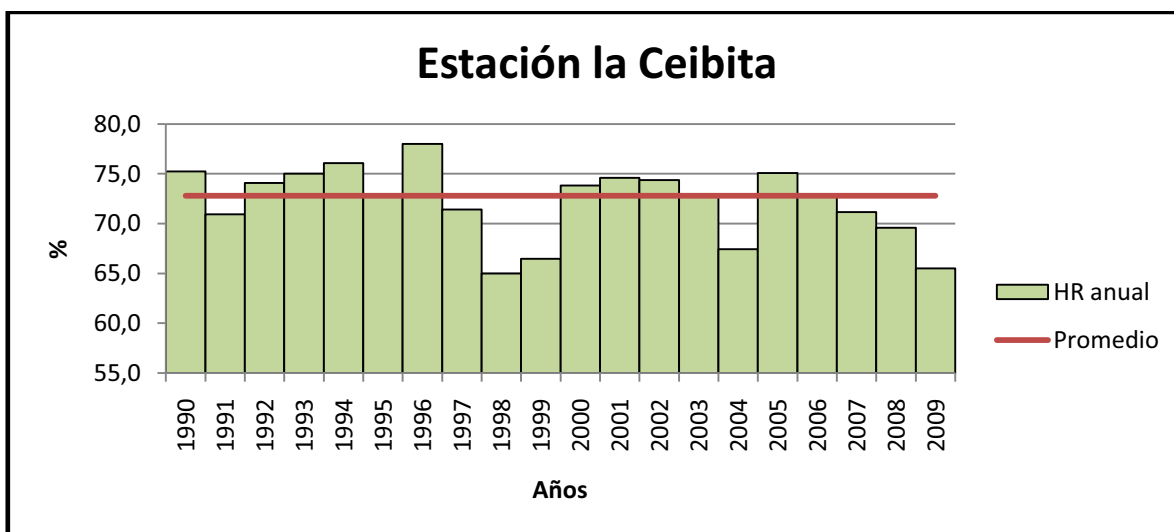


Figura 14. Comportamiento de la Humedad relativa durante su registro histórico.

El contenido de humedad media mensual en la atmósfera, se representa en la figura 15, donde se muestra la distribución de los promedios mensuales de la humedad relativa.

En estas figuras se puede apreciar que los valores más altos de la humedad relativa, en la estación La Ceibita seleccionada para dicho análisis, se encuentran distribuidos en dos períodos. Uno en el mes de Junio, con un valor del 74% y otro en el mes de Septiembre con un valor de 80%, respectivamente. Estos meses, son los más lluviosos del año en el valle de Monjas, debido principalmente, a que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se encuentra en su posición más al Norte y a un debilitamiento de los vientos alisios del Este.

En la misma figura, se observa una disminución de la humedad relativa entre Diciembre y Abril, con valores que van desde 76% hasta 50%. Además, se observa una disminución menos marcada en el mes de Julio, con valores entre el 76% y 72% en la localidad estudiada, los cuales coinciden con la Canícula, que afecta a toda la región centroamericana en esta época del año.

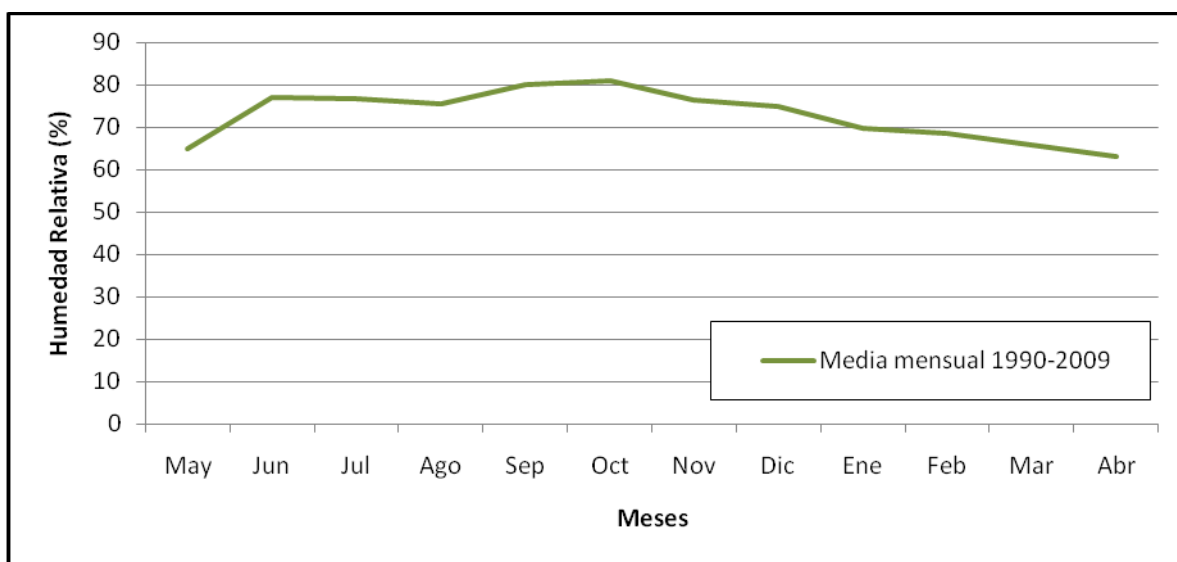


Figura 15. Comportamiento de la Humedad relativa media mensual en el valle de Monjas.

9.3 Lluvia

Las condiciones pluviométricas del valle de Monjas fueron establecidas a partir de los datos de la estación La Ceibita, la cual se encuentra ubicada dentro del valle. Está estación pertenece al INSIVUMEH y es una de las estaciones en la zona que presenta 44 años de registro históricos.

La precipitación en la estación La Ceibita ha sido variable a lo largo su registro histórico (Figura 16), presentando una media anual de 991.8 mm. Además se tiene una gran variabilidad de las precipitaciones mensuales y esto hace que la recarga potencial del acuífero y la escorrentía sean variables, según el año hidrológico.

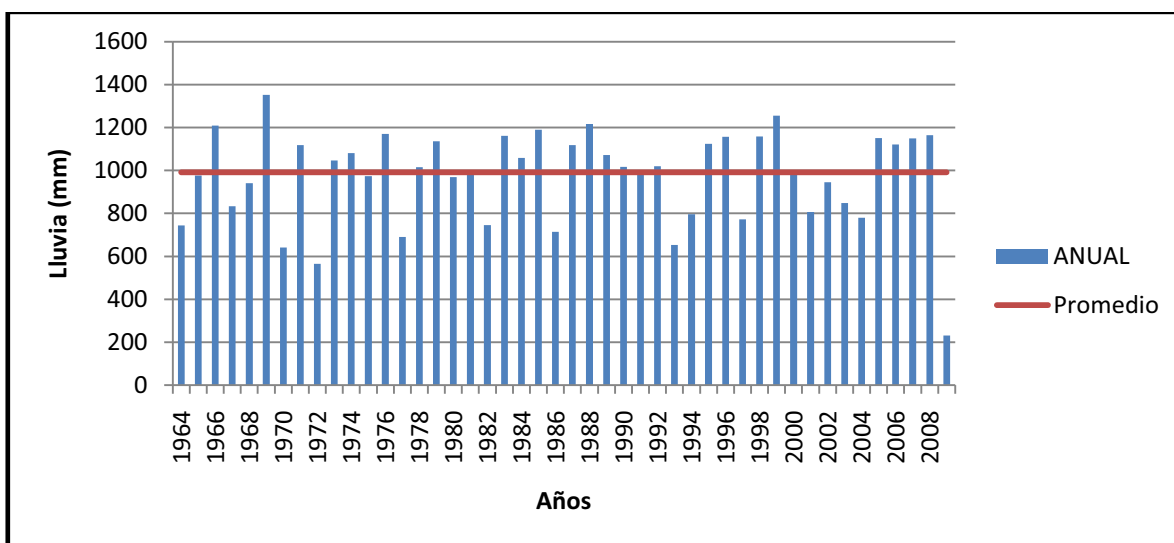


Figura 16. Comportamiento histórico de la precipitación anual en la estación La Ceibita.

En la zona hay dos épocas con tasas de precipitación diferentes, la época lluviosa que va del mes de mayo a octubre y la época seca que corresponde de noviembre a abril. La época lluviosa se caracteriza por presentar picos en la precipitación en los meses de junio y septiembre, que suelen ser de 215 mm y 185 mm de lluvia. En la figura 17 se muestran la precipitación media mensual de todo el registro histórico.

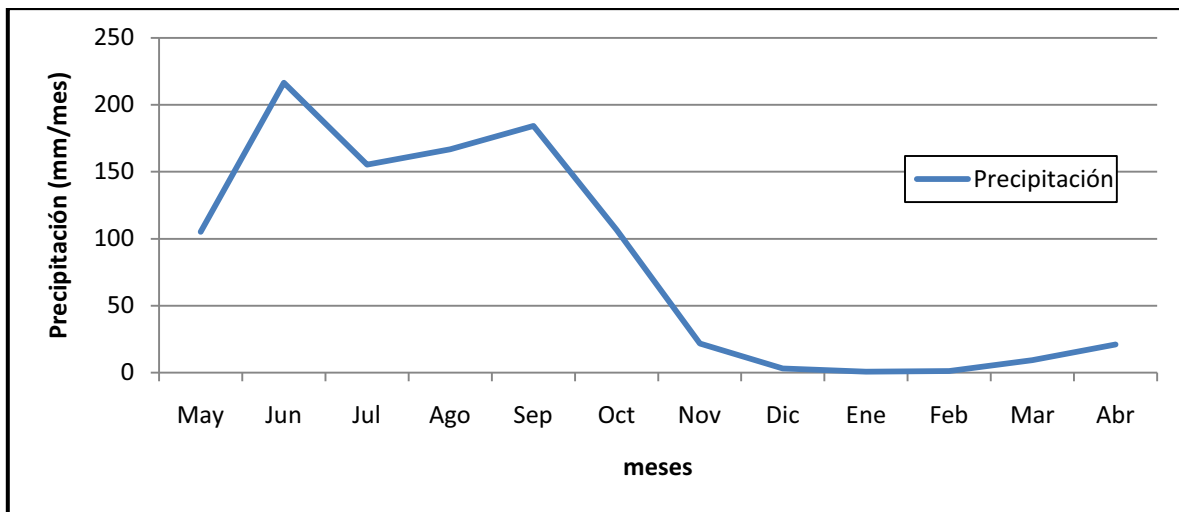


Figura 17. Comportamiento de la precipitación media mensual en el valle de Monjas.

9.4 Evaporación

En las figuras 18 y 19, se muestra el comportamiento de la evaporación multianual y media mensual, respectivamente, en el valle de Monjas. En las mismas se observa que los valores máximos de este parámetro se presentan en los meses que corresponden a la época seca (Diciembre - Abril), teniendo sus picos más altos en los meses de Marzo a Abril, con valores que oscilan entre los 5.9 mm/día y 6.3 mm/día en el evaporímetro de tanque, mientras en el evaporímetro Pichi oscilan entre 5.3 mm/día y 5.2 mm/día.

En la misma figura, se nota que la evaporación empieza a disminuir al inicio de la época lluviosa (Mayo), presentando sus valores mínimos en los meses de Septiembre y Octubre, (que son los meses en que ocurre mayor nubosidad y los más lluviosos de dicho período), con valores que van de 4.1 mm/día a 3.9 mm/día en el evaporímetro de Tanque, mientras que en el evaporímetro Pichi los valores se mantiene en 2.1 mm/día. Se puede deducir que, el comportamiento general de este parámetro meteorológico manifiesta una fluctuación simple, con sus máximos en la época seca y mínimos en la época lluviosa.

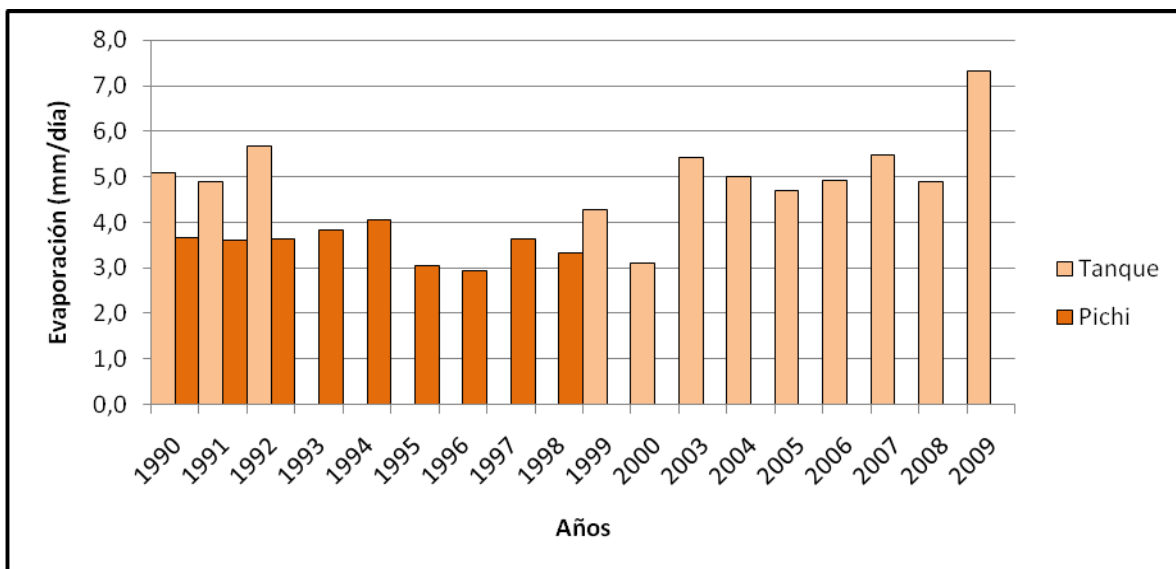


Figura 18. Comportamiento de la evaporación durante el registro histórico de la estación La Ceibita.

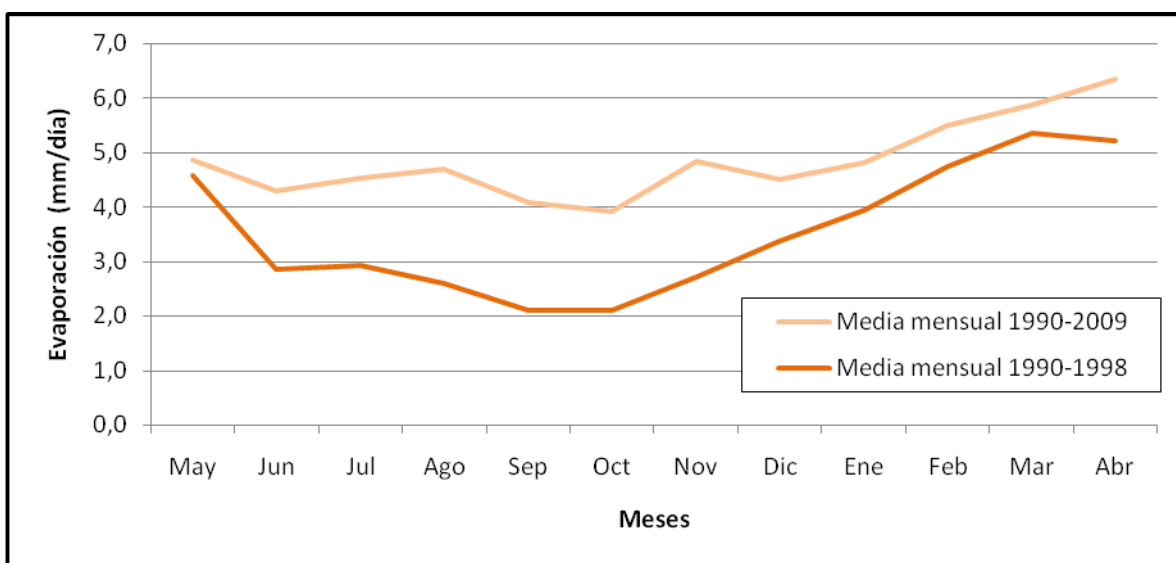


Figura 19. Distribución de la evaporación media mensual en el valle de Monjas durante el año hidrológico.

9.5 Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial en el valle de Monjas varía de 2.5 a 4.3 mm/día, el mes de abril presenta la mayor evapotranspiración potencial, mientras que el mes de diciembre presenta el menor valor.

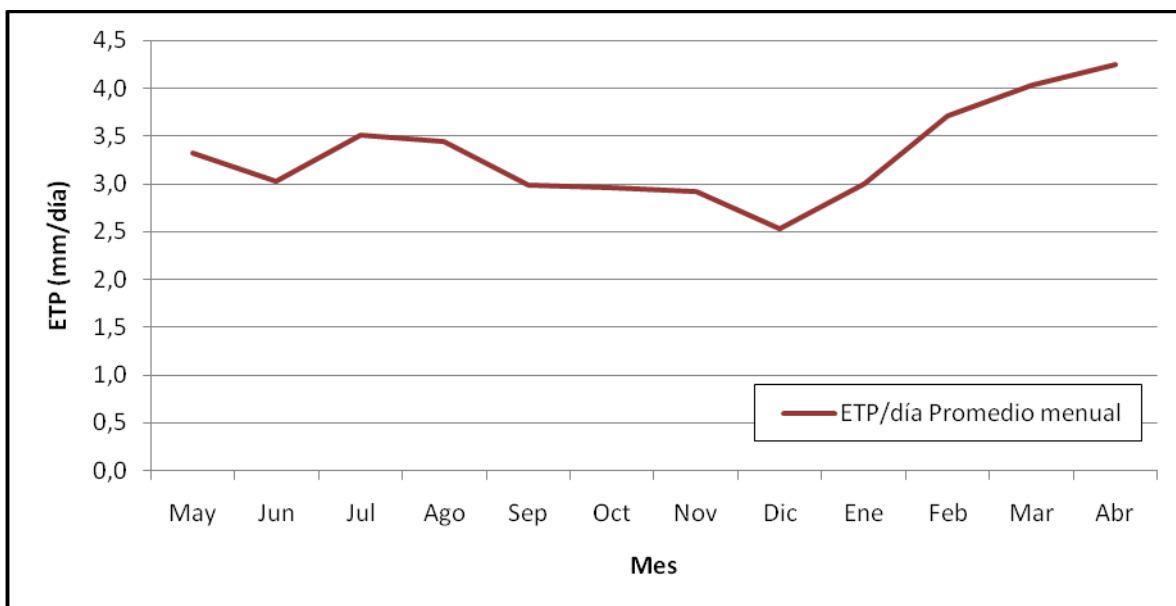


Figura 20. Comportamiento de la evapotranspiración potencial media mensual en el valle de Monjas.

9.6 Caudales

El área del presente estudio, no constituye una cuenca hidrológica cerrada. Al noreste ingresa el río Ostúa que proviene de su cuenca alta pasando por la aldea Casa de Tablas en donde inicia el abanico aluvial del valle de Monjas. Utilizando la información recabada por la estación hidrométrica de nombre homónimo al de la aldea, se estimó el flujo base proveniente de la cuenca alta hasta llegar a la estación Casa de Tablas. A partir de aquí el valle aluvial se extiende por la mayor parte del municipio de Monjas, y en menor proporción por los municipios Santa Catarina Mita, Progreso Achuapa, Jutiapa y Jalapa (Figura 21).

Para determinar el volumen promedio de agua que entra al valle a través del río Ostúa en la estación Casa de Tablas, se determinó por medio de los registros de caudales promedios diarios por un periodo de trece años (1967-1982).

Con los promedios diarios de caudales de la estación Casa de Tablas se elaboró la curva de duración de caudales del río Ostúa, y se estimó el caudal base que aporta el valle.

El caudal base de la estación Casa de Tablas se estimó como el 70% del tiempo de la curva de duración de caudales, esto por el período corto de la época lluviosa. Siendo el caudal base de $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ disminuyendo hasta alcanzar $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal base promedio es de $0.625 \text{ m}^3/\text{s}$, que representa aproximadamente un volumen de $19.71 \times 10^6 \text{ m}^3$ al año.

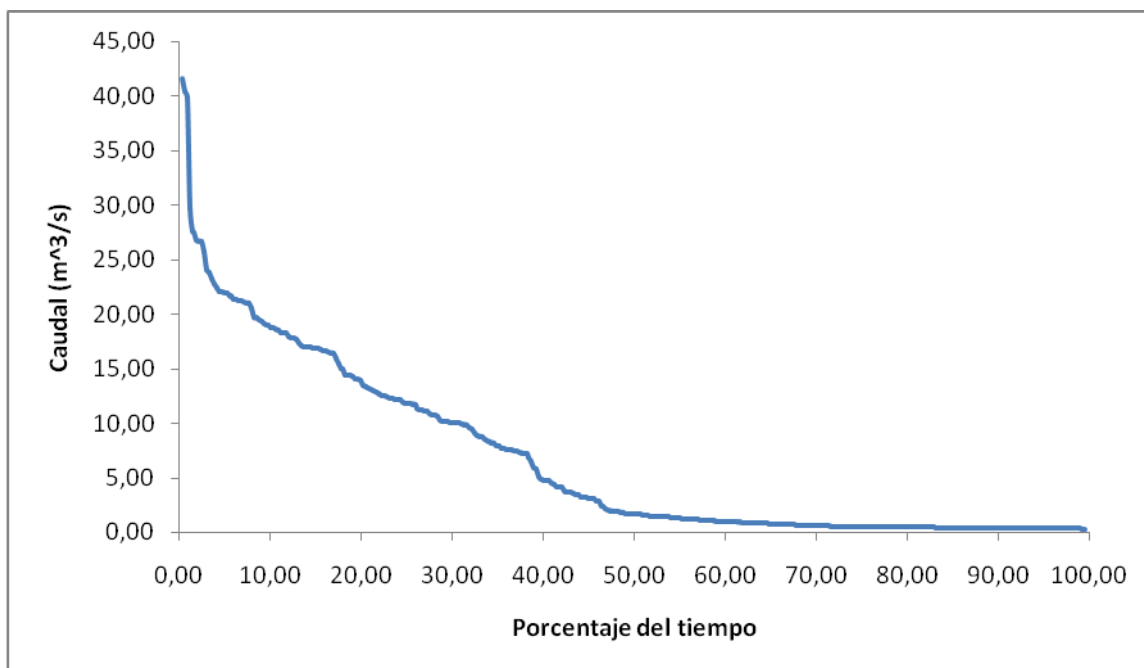


Figura 21. Curva de duración de Caudales para la estación Casa de Tablas

X. Balance hídrico

10.1 Balance hídrico climático

El balance climático es un método que únicamente toma como entrada la precipitación y como salida la evapotranspiración potencial del área de estudio, este método es utilizado para determinar el potencial de una zona de forma rápida; pero es un método muy superficial. La precipitación del valle de Monjas es de 991.8 mm por año, mientras que la evapotranspiración potencial es de 1734.6 mm por año. Siendo el almacenamiento promedio de 115.9 mm por año en el valle (Cuadro 8).

Cuadro 8. Balance hídrico climático del valle de Monjas.

mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	Nov	dic	anual
Etp/mes	122.4	127.0	163.4	175.1	181.9	152.5	156.2	159.5	139.5	128.8	115.8	112.5	1734.6
lluvia	0.8	1.2	9.5	21.0	105.1	216.5	155.3	166.8	184.2	106.6	21.7	3.1	991.8
Bhclimat	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.0	0.0	7.3	44.7	0.0	0.0	0.0	115.9

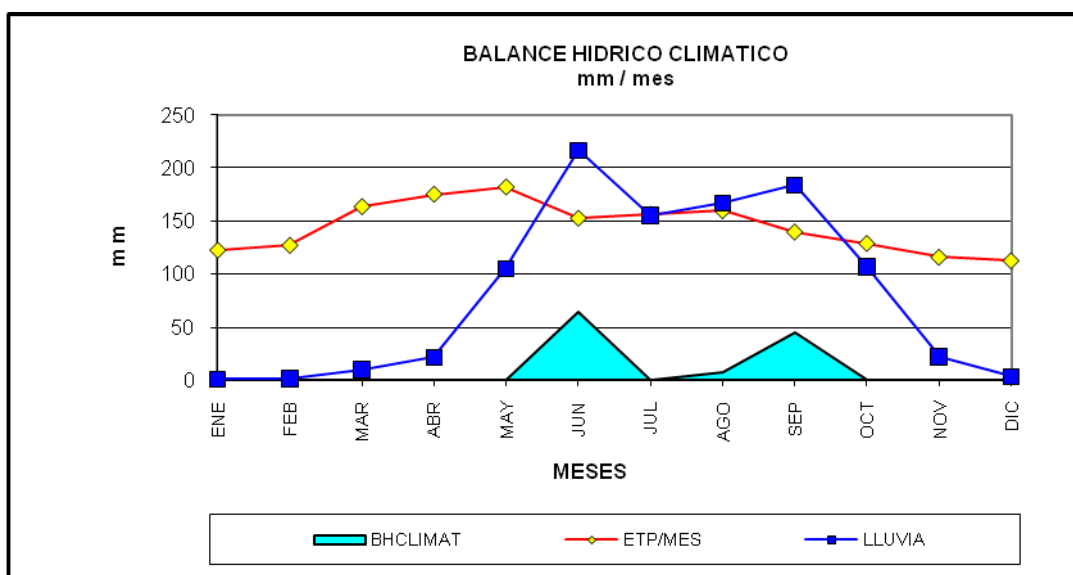


Figura 22. Balance climático del valle

10.2 Balance hídrico de suelo

10.2.1 Factor de infiltración de agua en el suelo

Para determinar este factor se realizaron cuatro pruebas de infiltración, de las que se obtuvo la infiltración básica.

Cuadro 9. Ubicación y datos de infiltración básica del valle.

No.	Coordenadas GTM		Infiltración básica	
	X	Y	mm/Hr	mm/día
Prueba 1	563129	1607296	7	160
Prueba 2	562626	1605499	4.6	110.4
Prueba 3	567336	1603197	4.2	100.8
Prueba 4	567623	1600034	4	96

Fuente: Elaboración propia.

Con la información de infiltración básica obtenida durante las pruebas, se procedió a construir un mapa de la distribución del factor de la infiltración en todo el valle aplicando la ecuación 12. Los valores de K_{fc} obtenidos para el valle de Monjas se muestran en la figura 20.

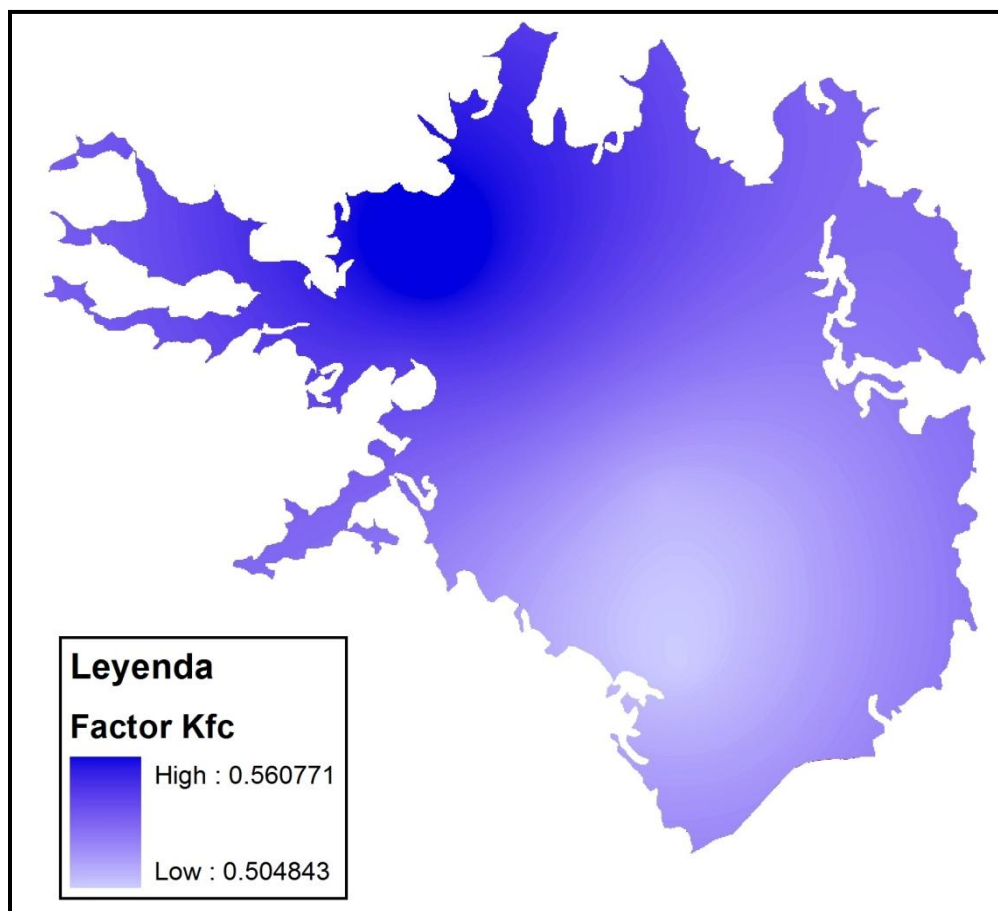


Figura 23. Distribución del factor de infiltración de agua en el suelo para el valle de Monjas.

10.2.2 Factor de pendiente del terreno

Con el modelo de elevación digital, se obtuvieron las pendientes del valle, posteriormente fueron reclasificadas de acuerdo al cuadro 1.

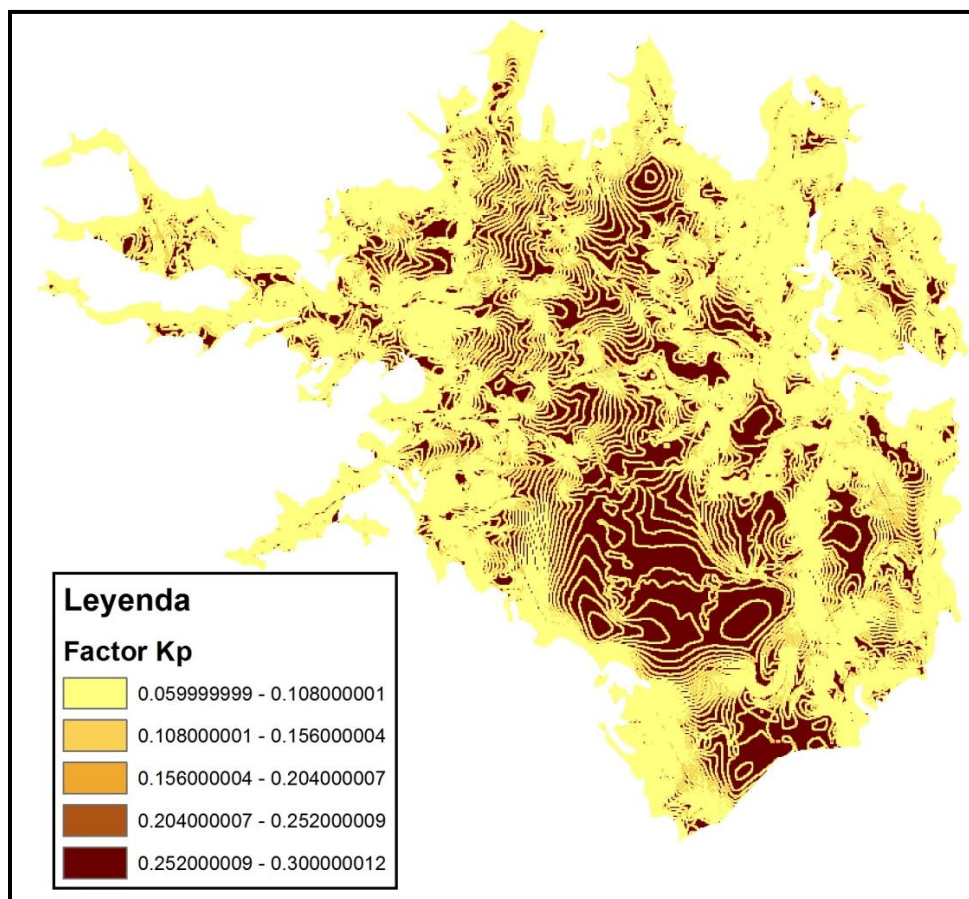


Figura 24. Distribución del factor de pendiente para el valle de Monjas.

10.2.3 Factor de cobertura vegetal

Este factor se determinó en base a la cobertura vegetal existente en el valle de Monjas, la cual fue agrupada según las categorías del cuadro 2. Esto para poder definir el coeficiente de cobertura vegetal (Figura 25).

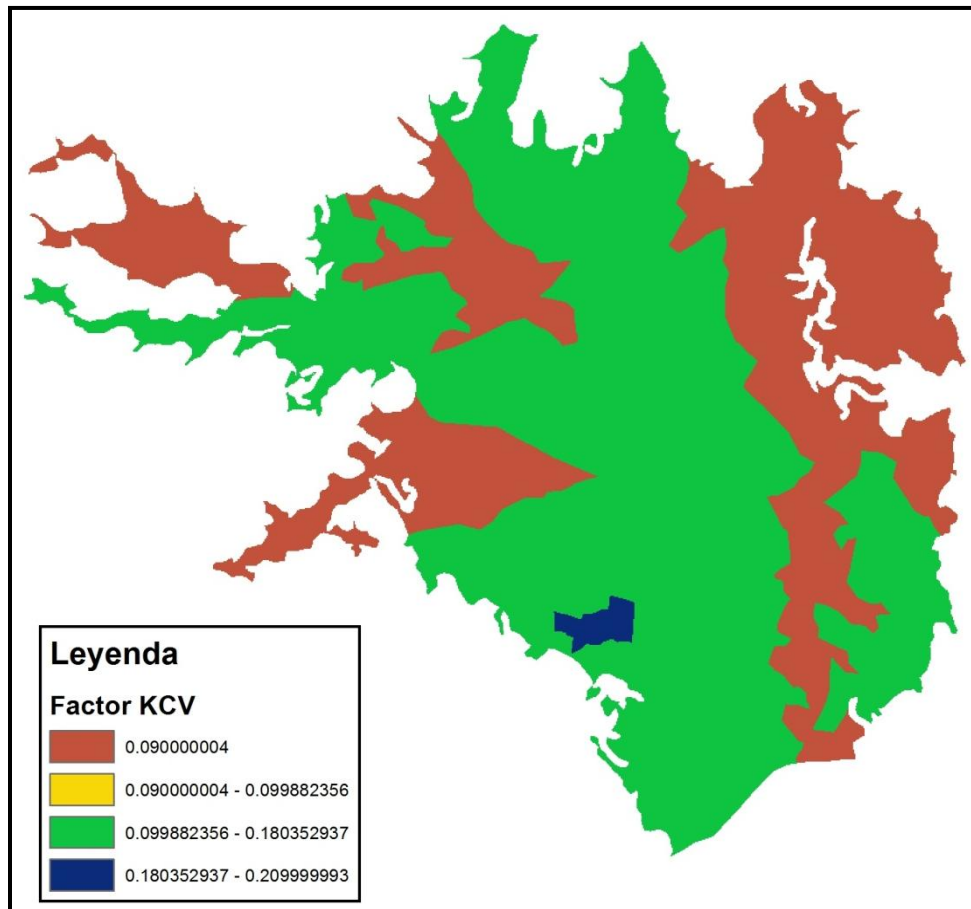


Figura 25. Distribución del factor de cobertura vegetal para el valle de Monjas.

10.2.4 Precipitación que se infiltra en el suelo

El coeficiente de infiltración ponderado para el valle de Monjas, se obtuvo a partir de la ecuación 11.

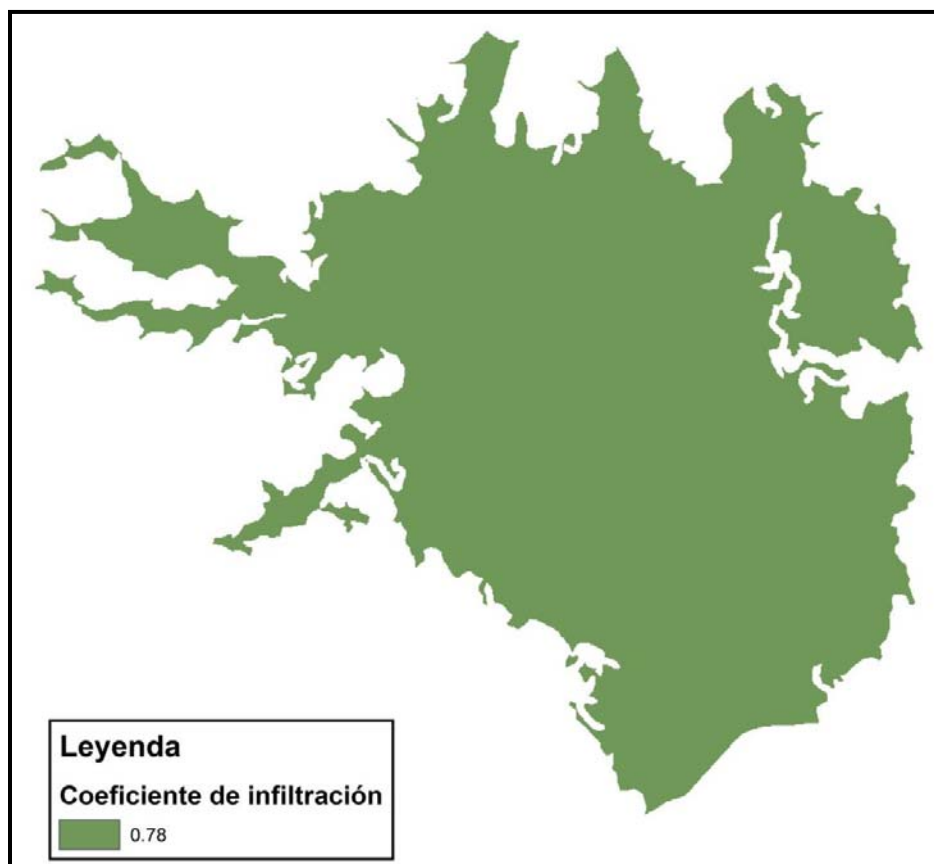


Figura 26. Coeficiente de infiltración ponderado para el valle de Monjas.

Para el valle de Monjas se obtuvo un coeficiente de retención ponderado, siendo este del 12%.

La precipitación que se infiltra anualmente en el valle de Monjas es de 677.3 mm (Cuadro 10), pero este valor no llega directamente a recargar el acuífero, ya que una porción es aprovechada por las plantas y otra es evaporada, la restante percola hasta alcanzar el acuífero.

Cuadro 10. Precipitación que se infiltra en el valle de Monjas

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	anual
PP	105.1	216.5	155.3	166.8	184.2	106.6	21.7	3.1	0.8	1.2	9.5	21	991.8
Ret	12.6	26.0	18.6	20.0	22.1	12.8	2.6	3.1	0.8	1.2	1.1	2.5	123.5
Ci	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Pi	72	148.6	106.6	114.5	126.4	73.2	14.9	0	0	0	6.5	14.4	677.3

Fuente: Elaboración propia

Durante las pruebas de infiltración se tomaron muestra de suelo, a las que se les determino sus constantes de humedad. Estas se presentan en el cuadro 11.

Cuadro 11. Valores de las constantes de humedad del suelo.

Punto de muestreo	Textura	Densidad	CC	PMP
Prueba 1	Arcillosa	1.28	31	18
Prueba 2	Arcillosa	1.25	33	17
Prueba 3	Arcillosa	1.25	34	17
Prueba 4	Arcillosa	1.21	36	15

Fuente: elaboración propia

Para determinar el uso del suelo, se elaboró un mapa base a partir de fotografías aéreas. Dentro del área se encontró cultivos, área de pastizales, matorrales, bosque y áreas urbanas (Figura 27). Estas áreas fueron distribuidas según las pruebas de infiltración, separándolas en cuatro secciones.

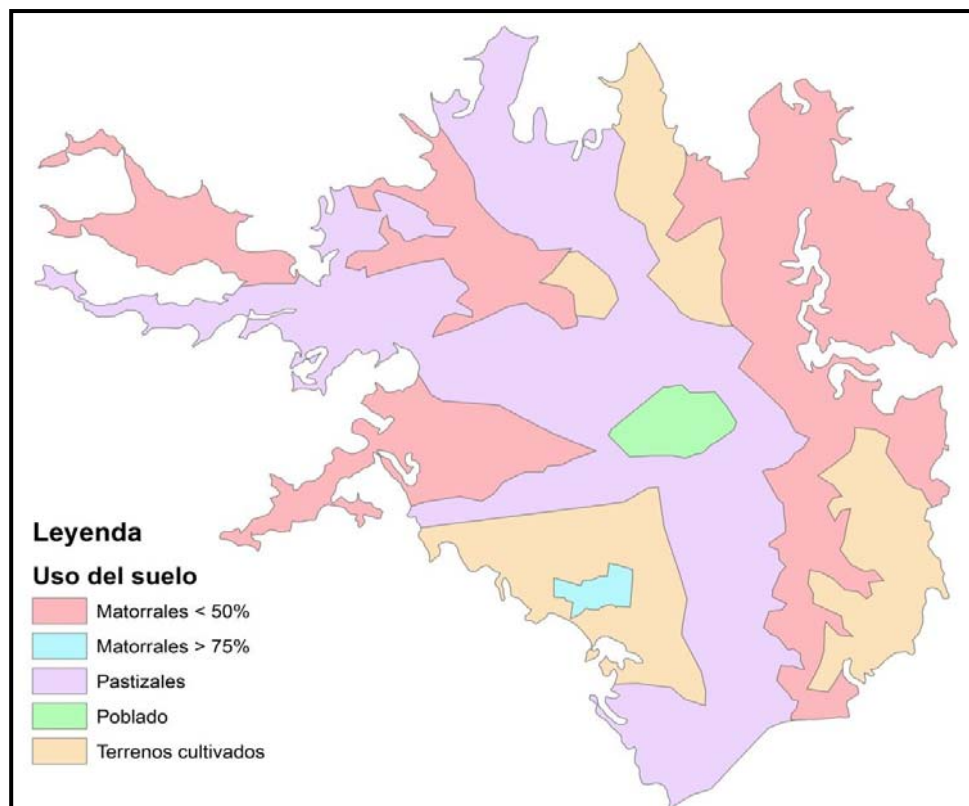


Figura 27. Uso del suelo para el valle de Monjas

Para estimar la profundidad efectiva de las raíces de acuerdo a la cobertura vegetal, se determinó según el criterio de Schosinsky (2006), esta clasificación se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12. Profundidad efectiva según la cobertura vegetal.

Uso	Cultivos anuales	Hortalizas	Coníferas	Pastizales
Profundidad (cm)	50	40	200	30-60

Fuente: Schoinsky, 2006

10.2.5 Recarga natural

El cálculo de la recarga natural al acuífero, se realizó dividiendo el área del valle en cuatro, esto según la serie de suelo y la geología. En las que se realizaron pruebas de infiltración, los valores de precipitación y evapotranspiración potencial corresponden a la estación La Ceibita. También se extrajeron muestras de suelos, a los que se les determinó su textura y las constantes de humedad.

Al fin de realizar el cálculo de la recarga al acuífero en forma detallada, se tuvieron que hacer 14 cálculos, en los que se determinó la recarga en función del uso de suelo y de la unidad de infiltración, estos se detallan en el cuadro 13.

Cuadro 13. Cálculo de la recarga natural del acuífero en el valle de Monjas.

Cobertura	Área (Ha)	Recarga (m ³ x 10 ³)	Escorrentía (m ³ x 10 ³)	Precipitación (m ³ x 10 ³)	Retención (m ³ x 10 ³)	ETR (m ³ x 10 ³)
Matorrales < 50%	607.22	504.78	1057.29	6022.41	802.99	3657.10
Pastizales	1146.45	1704.77	1109.31	11370.49	1516.07	7039.20
Terrenos cultivados	370.64	335.13	613.48	3676.01	490.13	2237.11
Matorrales < 50%	1003.05	244.04	2534.81	9948.25	1326.43	5842.87
Pastizales	877.07	632.28	1537.94	8698.78	1159.84	5368.72
Terrenos cultivados	16.45	4.32	40.16	163.15	21.75	96.92
Matorrales < 50%	2223.39	341.74	6054.74	22051.58	2940.21	12714.90
Pastizales	1589.14	667.44	3098.19	15761.09	2101.48	9893.51
Poblado	218.21	16.13	800.83	2164.21	145.83	1201.33
Terrenos cultivados	813.02	145.37	2144.18	8063.53	1075.14	4699.09
Matorrales < 50%	362.85	50.40	1026.43	3598.75	479.83	2013.82
Matorrales > 75%	82.85	20.76	135.96	821.71	171.50	490.47
Pastizales	961.54	359.81	1976.16	9536.55	1271.54	5884.62
Terrenos cultivados	989.02	160.32	2712.78	9809.10	1307.88	5588.56
Total	11260.9	69836.72	352846.79	1563598.49	209532.69	929098.57

El acuífero se recarga $69.83 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (620 mm/año) por precipitación, y no se consideran otros factores de recarga, como lo es flujo base proveniente del río Ostúa, el flujo de agua subterránea que le transmite el acuífero fracturado que se encuentra en la laguna de Retana.

La recarga por lluvia en el valle de Monjas es de $69.83 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (620 mm/año), el que corresponde al 63 % de la precipitación media anual del valle de Monjas.

10.2.6 Potencial del recurso hídrico subterráneo

Como se observa en el cuadro 14, existe una diferencia pequeña entre las entradas y las salidas de agua al valle de Monjas. Este error relativo corresponde al 0.15%, por lo que es considerado como aceptable, mostrando que el balance hídrico de suelos es correcto y la metodología aplicada se adapta a la zona de estudio.

Cuadro 14. Balance hídrico de suelos del valle de Monjas, Jalapa.

Entrada		Salidas	
Factor	(x 10 ³ m ³ /año)	Factor	(x 10 ³ m ³ /año)
Precipitación	1563598.49	Retención	209532.69
		Evapotranspiración real	929098.57
		Escorrentía superficial	352846.79
		Recarga	69836.72
Total	1,563,598.49		1,561,314.77

Fuente: Elaboración propia

La recarga al acuífero de Monjas calculada a partir del balance hídrico de suelo es de 69.8×10^6 m³/año, aunque es el medio por el cual constituye el mayor aporte anual a las aguas subterráneas en el área de estudio, no es la única. Como se mencionó anteriormente.

Cuadro 15. Extracción de agua del acuífero del valle de Monjas

Pozos excavados		Extracción de Agua	
Uso	No. Pozos	Caudal (m ³ /día)	m ³ /año
Riego	10	5	18,250
Riego	10	10	36,500
Riego y doméstico	5	3	5,475
Doméstico	4	2.5	3,650
Doméstico	15	1.2	6,570
Doméstico	10	1.5	5,475
Pozos perforados		16 Hr x día	
	1	65.88 m ³ /Hr	384,739.2
	1	62 m ³ /Hr	362,080
	1	53.14 m ³ /Hr	310,337.6
Total			1133076.8

Fuente: Elaboración propia

Al comparar la recarga natural anual del acuífero de Monjas y las extracciones de agua subterránea de los pozos, nos indica que las extracciones de aguas subterráneas representa el 2% de la recarga por precipitación. Esto nos dice que el valle de Monjas tiene un buen potencial de agua subterránea para explotar de forma sostenible, para que el recurso permanezca por tiempo indefinido.

Al observar el cuadro 16, podemos ver que la recarga anual del acuífero de Monjas es mayor que las salidas de agua, lo que indica que el valle de Monjas tiene un buen potencial para la explotación del recurso, ya que actualmente se está aprovechando aproximadamente un 2% del mismo. Esto no quiere decir que se puede explotar el recurso en forma indiscriminada.

Cuadro 16. Valores de recarga del acuífero y extracciones de agua subterránea en el valle de Monjas.

Entradas		Salidas	
Factor	(x 10 ⁶ m ³ /año)	Factor	(x 10 ⁶ m ³ /año)
Recarga	69.84	Extracción de agua por pozos	1.13
		Flujo Base	19.7
Total	69.84		20.83

Fuente: Elaboración propia.

XI. Calidad de agua en el valle de Monjas

El INSIVUMEH (2007) realizó muestreos en las aguas superficiales y subterráneas que pasan por el valle de Monjas, estos muestreos se realizaron en la Laguna del Hoyo, la estación Casa de tablas y pozo perforado La Ceibita, durante nueve meses (Figura 28, Cuadro 17, 3A y 4A). Las características físico-químicas de las aguas del valle de Monjas fue importante analizarla, ya que de sus propiedades depende el uso que se les dé.

Con los datos básicos de los análisis químicos se analizó la calidad de las aguas a través de un diagrama triangular de Piper, para cada uno de los puntos muestreados en el Valle.

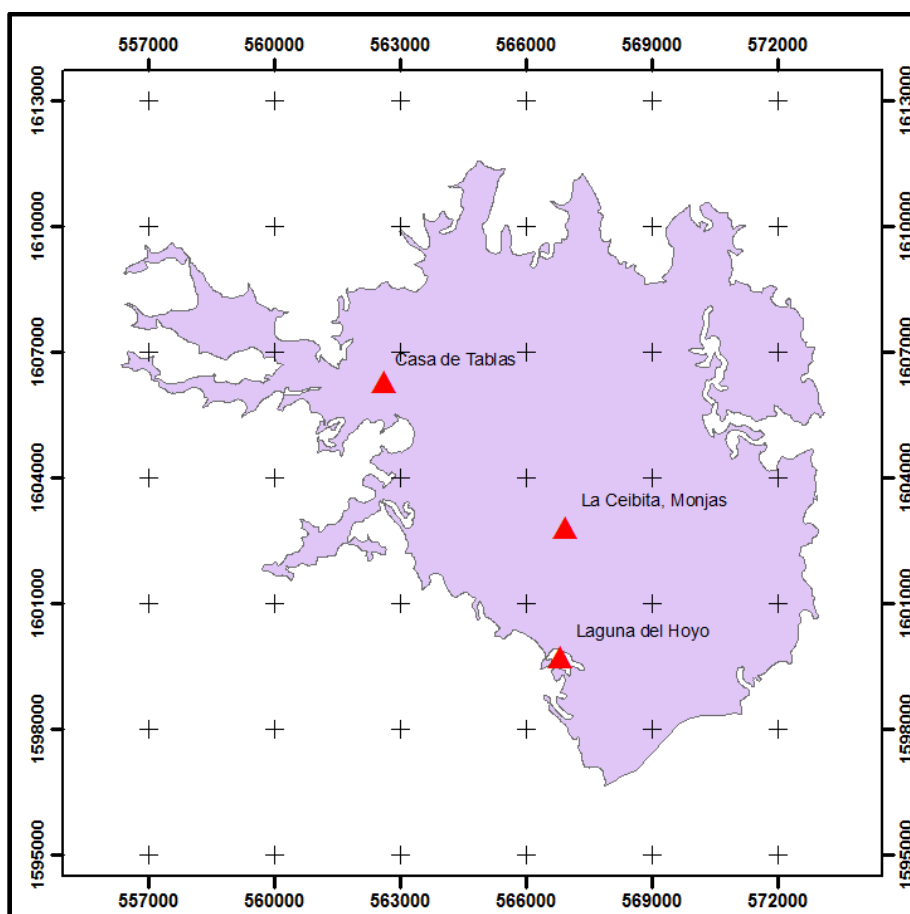


Figura 28. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad de agua del valle de Monjas, Jalapa.

Cuadro 17. Resumen de los resultados de calidad de agua realizados en las aguas del valle de Monjas

No.	Fecha	pH	C.E. µS/cm	Temp. °C	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Na mg/L	Cl mg/L	HCO ₃ mg/L	NO ₃ mg/L	CO ₃ mg/L	SO ₄ mg/L	SiO ₂ mg/L	NH ₄ µg/L	NO ₂ µg/L	PO ₄ µg/L	Cr µg/L	Cu µg/L	Fe µg/L	Mn µg/L	O ₂ µg/L	F µg/L
1	30/01/2007	9.04	181	27.2	16	4	3.9	9.75	4.2	58.03	1.5	27.41	35	90.2	36	21	68	19	<50	235	78	6.1	0.1
2		7.67	251	28.8	21	12	4.8	17.95	2.6	165.73	<1	0	<20	61.45	27	<20	115	<10	<50	13	10	4.6	0.15
3		7.75	78	22.4	10	2	2.9	4.5	3.7	42.52	<1	0	<20	26.98	<10	<20	<60	<10	<50	96	72	5	<0.1
1	13/02/2007	8.7	195	26.6	20	4	3.2	11.2	2.6	74.78	<1	12.22	51	49.39	33	<20	151	<10	<50	235	78	5.9	0.16
2		7.73	249	30.3	22	10	4.7	17.9	<2.5	160.31	<1	0	32	88.38	26	<20	113	<10	<50	<10	36	4.5	0.18
3		7.44	78	22.7	7	2	2.7	5.9	2.7	42.55	<1	0	<20	27.2	40	<20	<60	<10	<50	45	53	4.6	<0.1
1	10/07/2007	8.72	151	28.1	18	3	4.3	9.07		55.48	<0.9	11.94	20	44.2	38	30	30	11	<20	277	91	5	0.17
2		7.56	248	29.3	21	11	13	17.9		163.78	<0.9	0	<5	85	<13	<30	100	<10	<20	108	<10	4.8	0.2
3		8.23	79	28.8	9	2	3.4	5.65		42	<0.9	0	<5	26.4	32	30	<30	16	<20	109	113	4.4	<0.1
1	07/08/2007	7.42	98	24.1	12	3	3.7	5.51		44.99	1.7	0	32		120	120	60	25	<20	460	80	3.5	0.15
2		7.25	249	28.5	18	11	6.4	16.4		159.19	<0.9	0	15		<13	<30	150	10	<20	16	<10	2.6	0.16
3		8.45	82	27.8	7	2	3.6	5.94		39.02	<0.9	5.17	20		140	140	<30	58	<20	129	102	3.3	<0.1
1	04/09/2007	7.5	77	23.4	11	2	3.3	4.75		46.07	3.1	0	21		24	70	190	11	<20	431	343	4.1	0.12
2		7.54	246	28.4	17	9	6.1	18.55		163.49	<0.9	0	<5		22	30	120	<10	<20	55	<10	4.5	0.27
3		8.41	72	29.1	6	2	3.2	5.69		38.7	<0.9	4.04	<5		34	0	170	<10	<20	107	<10	5.5	0.14

Fuente: Carl, 2009

11.1 Características físicas

Según la norma de agua potable de COGUANOR NGO 29001 para el parámetro de turbiedad se acepta como límite máximo 5 UNT, y solamente el agua proveniente del pozo La Ceibita cumple con la norma, ya que presenta un valor de 0.8 UTM. Mientras que el agua superficial del valle sobre pasa la norma, siendo de 32.88 UTM para la laguna del Hoyo y de 279.56 para la estación Casa de Tablas.

11.2 Características químicas

El pH de las aguas superficiales varía desde 7.9 a 8.3, mientras que el agua subterránea proveniente del pozo perforado de La ceibita es de 7.6. Siendo el valor de pH de las aguas superficiales ligeramente alcalina a alcalina y el valor de las aguas del acuífero neutro a ligeramente alcalino. Según la norma de agua potable de COGUANOR NGO 29001 se encuentran dentro del rango establecido del pH.

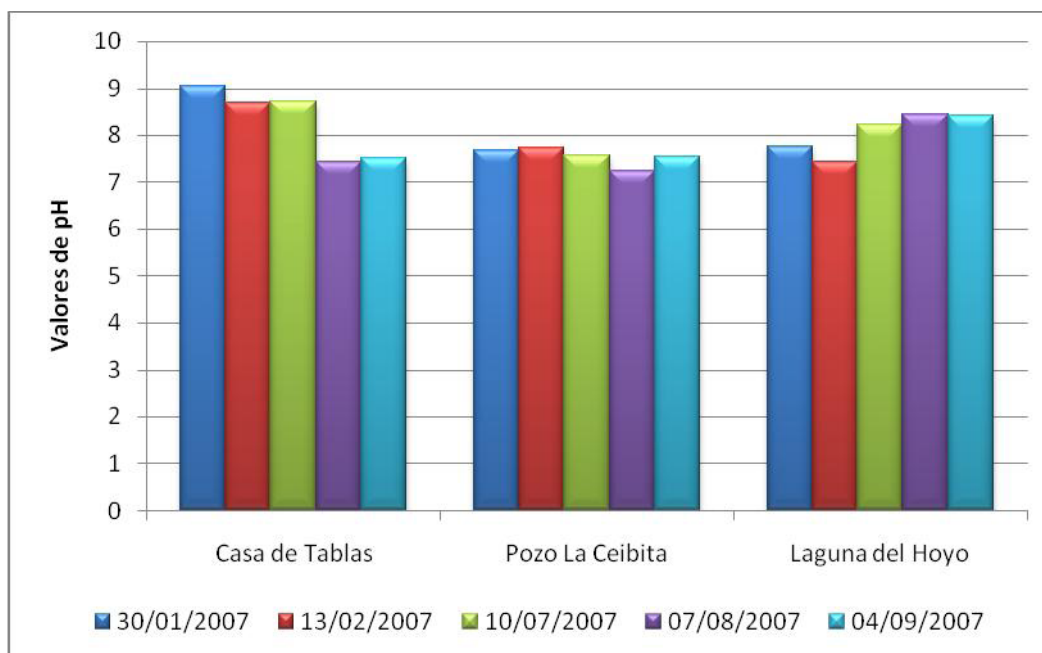


Figura 29. Comportamiento del pH en los tres sitios de muestreo.

La conductividad eléctrica de las aguas superficiales del valle de Monjas son variables, presentando un valor de 164 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación Casa de Tablas, mientras que en la Laguna del Hoyo es de 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mientras que el pozo La Ceibita presenta el mayor valor de conductividad eléctrica, siendo de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además en algunos pozos excavados del valle se presentan valores de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y otros valores de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 30), esto debido a que tienen una composición bicarbonatada-cálcica, magnésica y sódica definida por el diagrama de Piper (Figura 31), y media cantidad de sales disueltas, esto por encontrarse en sedimentos de origen volcánico. Además se observa que la conductividad eléctrica aumenta a lo largo del flujo a través del valle en dirección oeste – este.

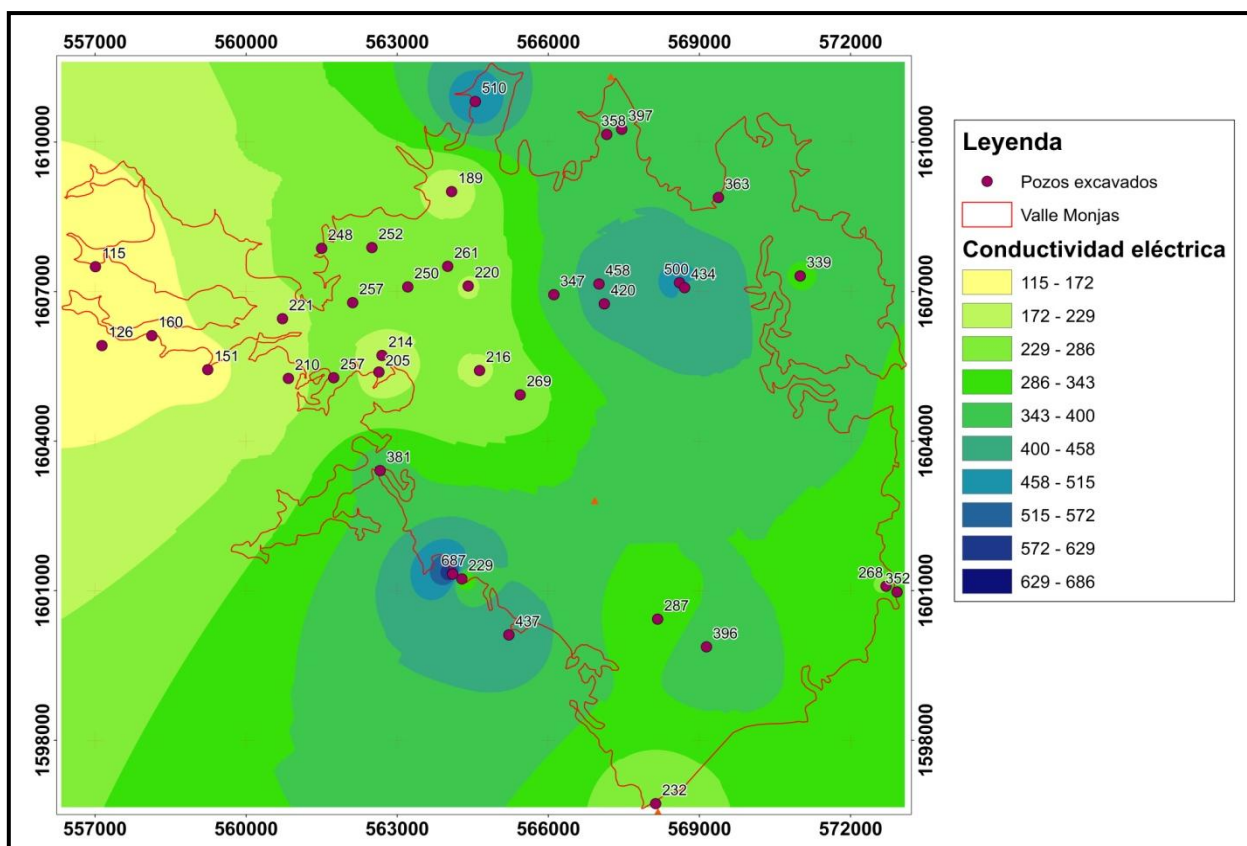


Figura 30. Distribución de la conductividad eléctrica en pozos excavados en el valle de Monjas.

Las aguas superficiales del valle tienen una composición bicarbonatada cálcica, medianamente alcalina, posee baja concentración de sales.

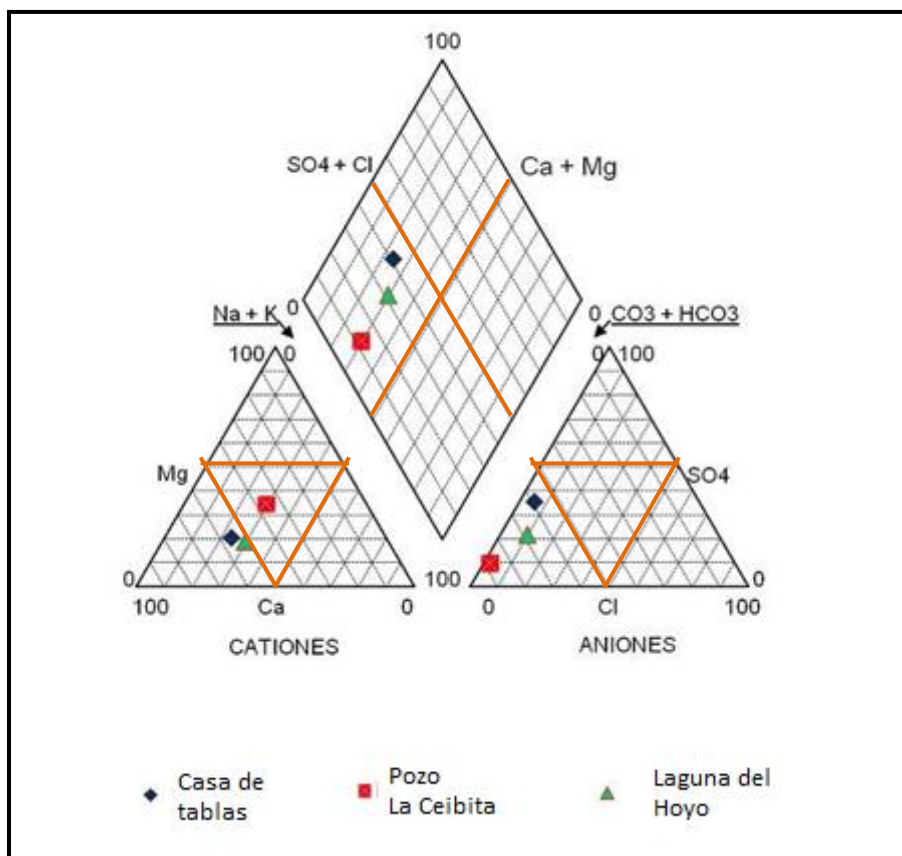


Figura 31. Diagrama de Piper de las aguas del valle de Monjas.

La dureza del agua es caracterizada comúnmente por el contenido de calcio y magnesio, la que se expresa como carbonato de calcio equivalente.

En el Cuadro 18 se muestra una clasificación de la Dureza, expresada como CaCO_3 .

Cuadro 18. Clasificación de los cuerpos de agua según su dureza total

Dureza total (CaCO_3 mg/L)	Clasificación
0 – 75	Agua suave
75 – 150	Agua poco dura
150 – 300	Agua dura
> 300	Agua muy dura

El agua superficial del valle es clasificada como agua blanda, mientras las aguas provenientes del pozo La Ceibita son aguas poco duras (Figura 36).

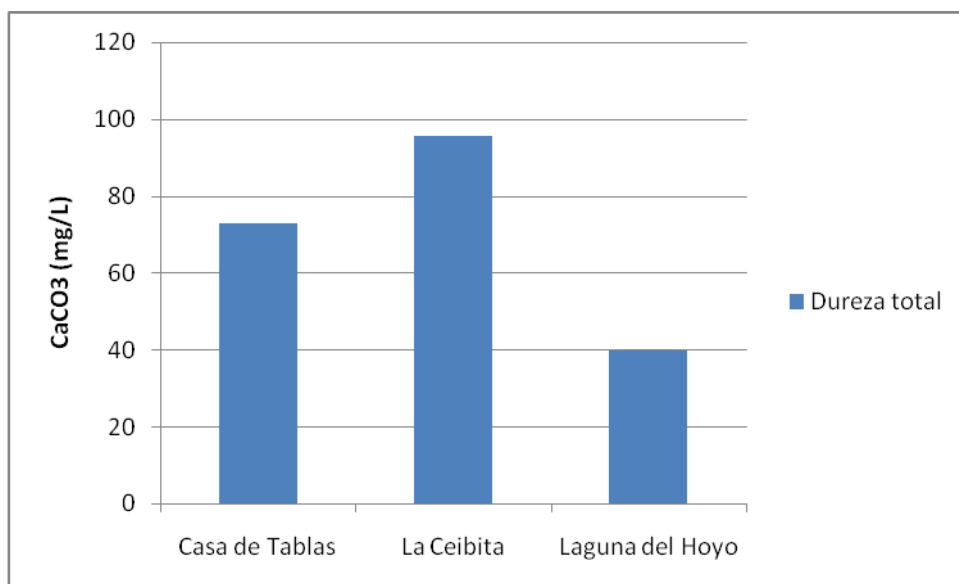


Figura 32. Concentraciones de carbonato de calcio en las aguas del valle de Monjas.

En estudios limnológicos, los parámetros de nitrógeno y fósforo son indicadores de contaminación de las corrientes y cuerpos de agua. Además Stimson citado por CTPT (2009) considera que concentraciones elevadas de nutrientes (Nitratos y fosfatos) son indicadores de contaminación antropogénica. El presenta valores de concentraciones para aguas subterráneas, para nitratos mayores a 3 mg/L y fosfatos mayores de 0.5 mg/L.

Las concentraciones de nitratos en el agua subterránea no sobre pasaron de 1 mg/L y en las aguas superficiales el mayor valor fue de 2.9 mg/L en la estación Casa de Tablas, esto nos indica que el agua proveniente del acuífero no presenta contaminación antropogénica, sin embargo, las aguas superficiales provenientes del río Ostúa, presentan alto riesgo de contaminación antropogénica, por ser ahí a donde van a dar todos los desechos sólidos de las

comunidades del valle de Monjas y de la cuenca que se encuentra aguas arriba. Ya que las urbanizaciones no cuentan con los tratamientos adecuados de aguas servidas.

La concentración de fosfatos no sobrepasó los límites establecidos por Stimson citado por CTPT (2009). La máxima concentración de fosfatos fue en el pozo de La Ceibita con 0.15 mg/L y en el agua superficial fue de 0.17 mg/L.

El contenido de sílice (SiO_2) es un indicador del tiempo de residencia del agua en el acuífero, donde las aguas de mayor edad poseerán altas concentraciones de sílice. La solución depende de la cinética de reacción de disolución de los minerales silicatados. Al comparar los resultados de los tres puntos de muestreo, observamos que el agua del pozo La Ceibita presenta los mayores valores, siendo estos de 88.38 y 85 mg/L. También en la estación Casa de Tablas se presenta un valor de 90.2 mg/L. y los valores medio de la concentración de Sílice en el agua subterránea de Monjas es de 66.97 mg/L, en el agua superficial varía entre 22.11 a 45.18 mg/L. Por lo que indica mayores tiempos de residencia de las aguas subterráneas.

Las concentraciones de cobre, hierro, cloruros, cromos, nitritos y cianuros dentro de las aguas del valle de Monjas, cumplen con los límites aceptables según la norma COGUANOR NGO 29001.

XII. Contaminación del acuífero

Estudios realizados sobre la contaminación del acuíferos en el valle de Monjas, reporta presencia de residuos de plaguicidas organofosforados en época seca y lluviosa (Cuadro 19 y 20). La mayor concentración de residuos de plaguicidas se encontró en las aguas de los pozos excavados en la aldea La Campana. Estos pozos tienen la característica de que su nivel freático se encuentra cerca de la superficie terrestre, menos de un metro (Cuadro 14A), y en esta zona se encuentran los campos de cultivos del área de Monjas, siendo alrededor de 400 Ha. El motivo por el cual todos los productos agroquímicos con persistencia en el suelo, son transportados a través de los flujos de agua que se producen cuando se aplica el riego.

El agua de riego que se infiltra en el suelo es el principal vehículo de contaminación al acuífero. Este problema se vuelve serio al transcurrir el tiempo, ya que las concentraciones de agroquímicos van aumentando en el acuífero y se van esparciendo por el mismo; a través del flujo subterráneo, hasta alcanzar otros pozos, deteriorando la calidad del agua. Otro medio de contaminación que se encontró durante la visita de campo, fue el mal manejo de los desechos de agroquímicos, ya que se encontraron envases de plaguicidas dentro de pozos. Además del mal cuidado de los mismo, ya que la mayoría de los pozos se encuentra a cielo abierto (Figura 33).



Figura 33. Manejo de algunos pozos en el acuífero de Monjas

Las concentraciones de Fenitrontion van de 0.214 a 2 mg/L en época seca, y en época lluviosa reporta concentración de 0.18 a 1.8 mg/L. Estas concentraciones fueron encontradas en el 80% de los pozos de la aldea La Campana.

Las concentraciones de Metamidofos varían de 0.04 a 0.8 mg/L en época seca, mientras que en época lluviosa se reportan concentración de 0.006 a 0.9 mg/L. Las mayores concentraciones se alcanzan en los pozos 3 tanto en época seca como en época lluviosa.

La norma COGUANOR NGO 29001 establece como límite máximo permisible de productos organofosforados en general valores de 0.1 mg/litro, A excepción del producto Etil paration, ya que por su grado de toxicidad no permite la presencia de este en el agua. Al observar el cuadro XX y XX, vemos que existe presencia del producto Etil paration en los pozos de la aldea La Campana.

Dentro de los plaguicidas que sobrepasan los límites establecidos por la norma COGUANOR están: Metamidofos y Fenitrontion.

La presencia de productos agroquímicos en los pozos de la aldea La Campana es un factor de vulnerabilidad para el acuífero del valle de Monjas, ya que el flujo de aguas subterráneas se da de oeste a este, dispersando la contaminación por todo el acuífero.

Cuadro 19. Residuos de plaguicidas organofosforados en pozos de la Unidad de Riego de la Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa en época seca

Pozo	Metamidofos (µg/l)	Fenitrothion (µg/l)	Malatión (µg/l)	Metil paratión (µg/l)	Profenofos (µg/l)	Etil paratión (µg/l)	Diazinon (µg/l)	Fentoato (µg/l)	Dimetoato (µg/l)	No IDEM
1	4.83	244.7	0.27							4
2	35.24	214	1.98	2.2	2.97					5
3	826.38	796.45		5.87	7.43	2.02	0.71			7
4	42.6	257.91		2.57	4.21	1.3	0.13			5
5		1996	10.49	13.91	14.61		0.109			5
6	98.29	1950	1.21							8
7		1136		5.52	8.17			3.93		2
8	6.46	1950		8.47	13.87		2.97			7
9	58.3			0.25			0.02			1
10									0.26	1

Fuente: Sandoval, 1991.

Cuadro 20. Residuos de plaguicidas organofosforados en pozos de la Unidad de Riego de la Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa en época húmeda

Pozo	Metamidofofos (µg/l)	Fenitrontion (µg/l)	Malatión (µg/l)	Metil paratión (µg/l)	Profenofos (µg/l)	Etil paratión (µg/l)	Diazinon (µg/l)	Fentoato (µg/l)	Dimetoato (µg/l)	No IDEM
1	16.34	186.95	0.83		3.52				0.34	3
2	62.95	192.4	2.4	3.8	1.54					2
3	932.4	802.33		5.9	15.66	3.4	1.8			6
4	35.9	238.75		2.3	5.2	1.5	0.6			4
5	17.65	1814.4	9.25	15.45	15.35		0.3			7
6	17.65	1825.32	2.33			9.48				7
7	117.35	1230		3.86	9.45			2.54		3
8		1746.25		10.2	11.39		2.8	3.68		6
9	6.46		0.7	4.32		2.45				2
10				1.2				1.75		1

Fuente: Sandoval, 1991.

XIII. Conclusiones

1. El material geológico que constituye al valle de Monjas es de origen aluvial cuaternario que varía en su espesor de 80 a 230 m, este se encuentra sobre la formación Padre Miguel que es considerado como la capa impermeable del acuífero o el que constituye el basamento. Desde el punto de vista hidrogeológico el coeficiente del almacenamiento varía de 0.15 a 0.97, lo que permite clasificarlo como un acuífero libre. La transmisividad del valle es variable, siendo de 6 m²/día a 1003 m²/día. Además la capacidad específica del valle varía de 38 a 995 m³/día/m siendo este parámetro el indicador para pozos que penetran parcialmente el acuífero. Con estas características el acuífero presente en el valle es considerado un buen productor.
2. El valle de Monjas tiene un clima templado, presentando una temperatura media de 22.8 °C, siendo los meses de abril y mayo los de mayor temperatura. La humedad relativa del valle anda alrededor 75%. La lluvia media anual del valle es de 991.8 mm, siendo los meses de junio y septiembre los que presentan los mayores valores de lluvia. La evaporación del valle oscila entre 5 a 7 mm/día.
3. El balance hídrico de suelo realizado para el valle Monjas presenta un error relativo de 0.15 %, teniendo un potencial de $69.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua (620 mm/año), mientras las extracciones de agua subterránea en los pozos del valle es aproximadamente del 2% de la recarga anual por precipitación. Al realizar el balance hídrico subterráneo observamos que únicamente se utiliza el 2% del potencial del acuífero del valle de Monjas.

4. El pH del acuífero está alrededor de 7.6, el agua es considerada como ligeramente alcalina, la concentración de la conductividad eléctrica oscila entre 115 a 686 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aumentando de oeste a este, este parámetro se relaciona con el flujo subterráneo, según los diagramas de Piper el agua del acuífero obtuvieron valores de 2, 6 y 10, lo que indica que tiene una composición bicarbonatada-cálcica, magnésica y sódica, son considerada aguas semiduras por presentar valores entre 75 a 150 mg/L de carbonato de calcio, esto por el contenido de sales provenientes de las rocas volcánicas. El agua subterránea del valle presenta un alto contenido de sílice, siendo este valor de 88 mg/L, el cual está relacionado con el tiempo de almacenamiento de las aguas subterráneas en el acuífero.
5. El riesgo de contaminación del acuífero es alta en el área de producción agrícola, ubicado en la aldea La Campana. Ya que en estudios realizados en esta área se encontraron residuos de productos organofosforados en el agua, provenientes de las aplicaciones de plaguicidas a los diferentes cultivos. Dentro de los plaguicidas que sobre pasaron los límites máximos permisibles de la norma COGUANOR NGO se encuentran los productos Metamidofos, Metil partión y Fenitrotrion. Presentando valores mayores a 0.1 mg/L.

XIV. Recomendaciones

1. Para definir de mejor forma los límites del acuífero del valle de Monjas, se recomienda realizar sondeos eléctricos.
2. Realizar pruebas de bombeo en pozos perforados que no cuenten con registro, esto para caracterizar el valle de acuerdo a sus propiedades hidrogeológicas.
3. Realizar un monitoreo de las calidades de agua en los pozos someros del valle de Monjas, para determinar si la contamina que se produce por organofosforados se distribuyó por todo el valle.

XV. Bibliografía

1. Amisial, R.; Jegat, H. 1978. Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas. Centro de documentación e información agrícola. Venezuela. 75 p.
2. Brassington, R. 1988. Field hydrogeology, John Wiley y Sons, NY. 175 p.
3. Castany, G. 1975. Prospección y exploración de aguas subterráneas. Ediciones Omega. Barcelona, España. 738 p.
4. Chávez, A. 2005. Modelación hidrogeológica en quebrada los Choros, comuna la Higuera, región IV. Ch. 175p.
5. CEPIS.1987. Contaminación de aguas subterráneas (en línea). Consultado: 16 abr 2010. Disponible: <http://www.cepis.org.pe/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/rep046.html>
6. COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas, GT). 1975. Características y especificaciones físicas y químicas para agua potable. Guatemala. 15 p.
7. CPTP (Comisión Trinacional del Plan Trifinio). 2009. Desarrollo Sostenible del Medio Ambiente y Recursos Hídricos en la Cuenca Alta del Río Lempa (en línea). Consultado 10 ago 2010. Disponible: http://www.4shared.com/account/document/HPsVMqNd/Informe_final_proyecto_RLA_803.html
8. _____. 2009. Documento final: Agenda hídrica participativa de la región del trifinio área el salvador y la recopilación, sistematización e interpretación de datos sobre calidad de agua de la cuenca alta del río Lempa (CARL) (en línea). Consultado 15 ago 2010. Disponible: http://www.4shared.com/account/document/t_IIRu-e/Tercer_Informe_Consultoria_Act.html
9. Custodio, E.; Llamas, R. 1983. Hidrología subterránea. 2da. Ed. Tomo I y II. Ediciones Omega, Barcelona, ES. 2100p.
10. DAHO (Perforación de pozos, GT). 1990. Perfil estratigráfico del Pozo 01190. Aldea El Ovejero, El Progreso, Jutia, GT. 2 p.
11. DIRYA (Dirección de Riego y Avenamiento, GT). 1990. Plan maestro de riego y drenaje: Hidrogeología. Tomo 2. MAGA, GT. 71 p.

12. Elorza, JF; Nita, R; Florez, F; Paredes, C; Vives, L; Ruiz, E; Sánchez, X; Carrera, J; Martín, S; Muñoz, A; De Vicente, G; Vela, A; Bajos, C. 2003. Simulación hidrogeológica estocástica en medios geológicos fracturados (en línea). Consultado 10 may 2010. Disponible: <http://www.geoma.uji.es/#indice>.
13. Espinoza, C. 2004. Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento. Universidad de Chile, Ch. 250 p.
14. _____. 2007. Modelación de aguas subterráneas. Universidad de Chile, Ch. 49 p.
15. _____. 2007. Tutorial para visual MODFLOW. Universidad de Chile, Ch. 14 p.
16. Fetter, C. 2001. Applied hydrogeology. 4ta. Ed. Prentice Hall, NJ. 598 p.
17. Garavito, F. 2010. Balance climático. Consulta personal.
18. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1970. Mapa geológico de la república de Guatemala, Esc. 1:250,000.
19. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, meteorología e Hidrología, GT). 1984. Datos de censos de pozos excavados en la cuenca del Río Ostúa. Datos no publicados.
20. _____. 1985. Datos de censos de pozos excavados en la cuenca del Río Ostúa. Datos no publicados.
21. _____. 1988. Datos de censos de pozos excavados en la cuenca del Río Ostúa. Datos no publicados.
22. _____. 1990. Datos de censos de pozos excavados en la cuenca del Río Ostúa. Datos no publicados.
23. _____. 1990. Perfiles estratigráficos de los pozos perforados en la cuenca del Río Ostúa. Datos no publicados.
24. _____. 2007. Resultados de la calidad de aguas de las cuencas del Río Ostúa y Olopa. Boletín No. 10, GT. 30 p.
25. JICA (Agencia Internacional de Cooperación Japonesa). 1988. Feasibility study on the Monjas irrigation project final report. Monjas, Jalapa, Guatemala. Vol. I p. 9 - 31

26. Hernández, G. 2007. Introducción al modelo de flujo subterráneo Modflow. Universidad de Chile, Ch. 14 p.
27. Herrera, I. 1995. Manual de hidrología. Facultad de Agronomía, USAC, GT. 223 p.
28. Martín, M; Calvo, M; García, MA; García, E; Morcillo, JG; Reyero, C; Vidal, MP; Gómez, S; Esquinas, A; Alves, D. 2006. El ciclo del agua (en línea). Consultado: 20 sep 2010. Disponible: http://www.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/esc_sub_acuifero.html
29. Mateu, J; Morell, I. 2003. Geoestadística y modelos matemáticos en hidrogeología (en línea). Universitat Jaume I. Castellón de la Plana. ES.
30. Mijares, A. 2006. Estudio Hidrogeológico para la gestión de la cuenca del Río Guadalfeo (en línea). Trabajo de investigación tutelada, Universidad de Granada, ES. 175 p.
31. _____. 2008. Integración del caudal base en un modelo distribuido de cuenca: Estudio de las aportaciones subterráneas en ríos de montaña (en línea). Tesis Dr., Universidad de Granada, ES. p. 10 - 22
32. OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica); CTPT (Comisión Trinacional del Plan Trifinio). 2009. Mapa Geológico Trinacional de la Cuenca Alta del Río Lempa. Escala 1:100,000.
33. _____. 2009. Mapa Hidrogeológico Trinacional de la Cuenca Alta del Río Lempa. Escala 1:100,000.
34. Orozco, E. 2004. Potencial del recurso hídrico subterráneo y modelamiento matemático preliminar del sistema acuífero valle Aluvial del Río Guacalate desde Antigua Guatemala hasta Alotenango, Sacatepéquez, Guatemala. Tesis MSc., Universidad Rodrigo Facio, CR. 128 p.
35. Orozco F, EO. 2009. Curso de hidrología. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, USAC, GT.
36. _____. 2010. Flujo de medios porosos. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, USAC, GT.

37. Rodríguez, R. 2003. Curso de calidad de aguas subterráneas y su protección (en línea). Red de vulnerabilidad de acuíferos, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. Consultado 9 nov 2010. Disponible en <http://tierra.rediris.es/hidrored/apuntes/bolivia/cursolapaz/Ramirod1.html>
38. Sandoval, A. 1991. Evaluación de los niveles de contaminación de los acuíferos superficiales por productos biocidas agrícolas en comunidades de la unidad de riego de la Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. USAC. GT. 131 p.
39. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica América Central, 23: 43-55.
40. Schosinsky, G. 2006. Calculo recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica América Central, 34-35: 13-30.
41. Simmons, C.; Tarano y Pinto. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Ed. José de Pineda Ibarra. GT. 1000 p.
42. Suriano, A. 2004. Evaluación hidrogeológica del Valle de Esquipulas, Chiquimula. Tesis de grado, Geología, Cobán, Alta Vérapaz, GT. 104 p.
43. Tood, D.; Mays, L. 2004. Groundwater hydrology. 3ra. Ed. John Wiley y Sons, NY. 636 p.
44. UNESCO. 1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo, UY. p. 9 - 19
45. USGS. 2001. System an boundary conceptualization in ground-water flow simulation, Servicio de Geología de los Estados Unidos.
46. Villanueva, M; Iglesias, A. 1984. Pozos y acuíferos: técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España. 426 p.
47. Weight, W. 2004. Manual of applied field hydrogeology. McGraw-Hill. 550 p.

XVI. Anexos

Cuadro 1A. Variación de los niveles Freáticos de los Pozos de la Unidad de Riego de la Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa

Fecha	No. Pozos									
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
17/12/89	0.8	3.15	0.5	2.7	3.05	2.4	0.66	1.36	5.4	3.14
08/01/90	0.98	3.17	0.55	2.72	3.13	2.48	0.75	1.5	5.45	3.27
26/01/90	1	3.25	0.6	2.72	3.19	2.53	0.8	1.6	5.48	3.27
10/02/90	1	3.3	0.67	2.8	3.25	2.57	0.8	1.62	5.6	3.35
26/02/90/	1.12	3.37	0.75	2.94	3.25	2.68	0.9	1.65	5.75	3.4
12/03/90	1.25	3.5	0.83	3.1	3.3	2.88	1.07	1.7	5.78	3.42
30/03/90	1.5	3.59	0.87	3.1	3.4	3.08	1.24	1.7	6.0	3.47
23/04/90	1.8	3.76	0.95	3.28	3.45	3.28	1.4	1.88	6.05	3.59
10/05/90	2.06	4.5	1.46	4	4.38	3.84	1.5	2.44	6.18	4.35
23/05/90	1.82	4.05	1.06	3.45	3.81	3.43	1.68	2.15	6.34	3.95
11/06/90	2	4.35	1.13	3.5	3.99	3.58	1.85	2.27	7.02	4.28
27/06/90	1.9	4.15	0.55	2.82	4.2	3.48	1.75	2.30	6.41	4.07

Fuente: Sandoval, 1991.

Cuadro 2A. Variación de los niveles Freáticos de los Pozos del valle de Monjas, Jalapa

Pozo No.	1		Elevación del Brocal		1048.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	16.95	17.24	0.29	25.5	320	
15/04/1983	17.53	17.66	0.13	25	280	
29/02/1988	9.55	14.28	4.73	25.3	145	
Promedio	14.7	16.4	1.7	25.3	248.3	

Pozo No.	2		Elevación del Brocal		1000.6 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	22.52	22.79	0.27	27	250	
15/04/1983	22.62	23.59	0.97	28	240	
29/02/1988	21.75	23.59	1.84	28.6	282	
Promedio	22.3	23.3	1.0	27.9	257.3	

Pozo No.	3		Elevación del Brocal		1010.8 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	8.45	10.06	1.61	24	260	
15/04/1983	10.61	11.1	0.49	26	245	
29/02/1988	9.21	10.8	1.59	24.7	159	
Promedio	9.4	10.7	1.2	24.9	221.3	

Pozo No.	4		Elevación del Brocal		1050.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	4	5.66	1.66	22	160	
Promedio	4.0	5.7	1.7	22.0	160.0	

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	5		Elevación del Brocal		1050.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	9.93	10.71	0.78	24	145	
26/05/1983	10.84	11.33	0.49	25	160	
24/08/1988	10.52	11.4	0.88	24.1	147	
Promedio	10.4	11.1	0.7	24.4	150.7	

Pozo No.	6		Elevación del Brocal		1100.6 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	3.67	4.61	0.94	23	115	
25/05/1983	8.12	8.59	0.47	25	120	
29/02/1988	8.38	8.45	0.07	22.5	110	
Promedio	6.7	7.2	0.5	23.5	115.0	

Pozo No.	7		Elevación del Brocal		1050.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	8.95	9.98	1.03	25	225	
26/05/1983	9.71	10.65	0.94	26	220	
29/02/1988	10.2	10.51	0.31	24.8	186	
Promedio	9.6	10.4	0.8	25.3	210.3	

Pozo No.	8		Elevación del Brocal		1031.7 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	17.26	18.6	1.34	26	260	
26/05/1983	19.11	19.59	0.48	26	280	
29/02/1988	18.91	19.59	0.68	25.6	232	
Promedio	18.4	19.3	0.8	25.9	257.3	

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	9		Elevación del Brocal	1012.7 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	15.47	16.34	0.87	26	220	
16/04/1983	16.32	17.21	0.89	26	200	
27/02/1988	16.05	17.05	1	25.6	204	
14/11/1989	15.73	17.11	1.38	24.8	195	
Promedio	15.9	16.9	1.0	25.6	204.8	

Pozo No.	10		Elevación del Brocal	1000.6 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	19.33	19.6	0.27	27	260	
21/04/1983	20.71	20.84	0.13	28	240	
			0			
Promedio	20.0	20.2	0.1	27.5	250.0	

Pozo No.	11		Elevación del Brocal	1010.5 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	7.7	8.13	0.43	23	240	
21/04/1983	8.15	8.53	0.38	24	220	
29/02/1988	8.33	8.5	0.17	23.7	216	
17/11/1989	6.43	8.51	2.08	23.2	333	
Promedio	7.7	8.4	0.8	23.5	252.3	

Pozo No.	12		Elevación del Brocal	1000.8 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	12.02	12.4	0.38	25	245	
21/04/1983	13.1	13.34	0.24	26	220	
02/03/1988	13.23	13.78	0.55	25.3	317	
Promedio	12.8	13.2	0.4	25.4	260.7	

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	13	Elevación del Brocal		993.82	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
17/03/1983	9.61	9.94	0.33	25.5	280
23/04/1983	10.66	10.86	0.2	27	160
			0		
Promedio	10.1	10.4	0.2	26.3	220.0

Pozo No.	14	Elevación del Brocal		976.76	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
17/03/1983	2.28	4.06	1.78	22	370
23/04/1983	2.55	4.99	2.44	25	320
11/03/1988	5.94	6.22	0.28	21.5	350
Promedio	3.6	5.1	1.5	22.8	346.7

Pozo No.	15	Elevación del Brocal		971.42	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
15/03/1983	6.63	8.26	1.63	25	480
27/04/1983	7.83	8.66	0.83	26	420
01/03/1988	7.98	9.26	1.28	25.3	474
Promedio	7.5	8.7	1.2	25.4	458.0

Pozo No.	16	Elevación del Brocal		1000.7	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
15/03/1983	6.69	8.34	1.65	24.5	355
23/05/1983	6.05	6.76	0.71	25	350
01/03/1988	9.18	9.55	0.37	24.5	370
Promedio	7.3	8.2	0.9	24.7	358.3

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	17	Elevación del Brocal		1000.7	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
15/03/1983	2.68	4.65	1.97	23	360
23/05/1983	4.42	4.65	0.23	26	420
01/03/1988	3.88	4.25	0.37	22.7	412
Promedio	3.7	4.5	0.9	23.9	397.3

Pozo No.	18	Elevación del Brocal		988.09	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
18/03/1983	19.75	21.3	1.55	25.5	220
13/04/1983	20.46	22.16	1.7	26	180
26/02/1988	21.35	21.4	0.05	25.4	408
Promedio	20.5	21.6	1.1	25.6	269.3

Pozo No.	19	Elevación del Brocal		988.48	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
18/03/1983	10.84	11.51	0.67	24	250
20/04/1983	11.59	12.1	0.51	26	220
29/02/1988	11.62	12	0.38	23.8	178
Promedio	11.4	11.9	0.5	24.6	216.0

Pozo No.	20	Elevación del Brocal		1000.7	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
23/02/1983	8.95	9.55	0.6	26	240
21/05/1983	6	6.24	0.24	26	270
01/03/1988	9.4	9.69	0.29	24.1	243
Promedio	8.1	8.5	0.4	25.4	251.0

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	21	Elevación del Brocal		995.52	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
21/02/1983	16	18.22	2.22	26	400
21/05/1983	17	18.36	1.36	27	420
01/03/1988	16.17	18.97	2.8	25.7	335
Promedio	16.4	18.5	2.1	26.2	385.0

Pozo No.	22	Elevación del Brocal		1002.3	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
23/02/1983	20.88	22.2	1.32	26	340
21/05/1983	21.28	22.2	0.92	29	360
01/03/1988	21.1	22.23	1.13	30.2	316
Promedio	21.1	22.2	1.1	28.4	338.7

Pozo No.	23	Elevación del Brocal		965.5	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
23/02/1983	6.13	6.72	0.59	24	500
Promedio	6.1	6.7	0.6	24.0	500.0

Pozo No.	24	Elevación del Brocal		965.66	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
23/02/1983	8.36	8.83	0.47	25	460
21/05/1983	8.49	9.11	0.62	26	460
01/03/1988	8.47	9.02	0.55	25	382
Promedio	8.4	9.0	0.5	25.3	434.0

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	25		Elevación del Brocal	1013.5 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
23/02/1983	10.91	11.61	0.7	25	355	
21/05/1983	10.34	11.61	1.27	26	370	
Promedio	10.6	11.6	1.0	25.5	362.5	

Pozo No.	26		Elevación del Brocal	966.36 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	6.36	7.37	1.01	23	440	
27/04/1983	6.93	7.53	0.6	26	400	
Promedio	6.6	7.5	0.8	24.5	420.0	

Pozo No.	27		Elevación del Brocal	1002.6 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	15.15	16.4	1.25	25	190	
22/04/1983	16.57	16.72	0.15	25	190	
03/02/1988	16.91	17.32	0.41		187	
Promedio	16.2	16.8	0.6	25.0	189.0	

Pozo No.	28		Elevación del Brocal	1028.4 msnm		
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
17/03/1983	14.4	16.77	2.37	26	500	
22/04/1983	16.9	17.2	0.3	26	420	
02/03/1988	15.89	17.54	1.65	25.2	611	
Promedio	15.7	17.2	1.4	25.7	510.3	

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	29		Elevación del Brocal		1000.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
22/03/1983	18.72	14.04	-4.68	25.5	245	
13/04/1983	19.5	19.76	0.26	26	200	
27/02/1988	20.65	21.07	0.42	26	196	
Promedio	19.6	18.3	-1.3	25.8	213.7	

Pozo No.	30		Elevación del Brocal		1005.6 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
22/03/1983	17.78	17.89	0.11	24.5	450	
30/05/1983	18.66	18.74	0.08	25	470	
27/02/1988	21.04	21.3	0.26	24.9	386	
11/11/1989	17.07	18.83	1.76	24.8	219	
Promedio	18.6	19.2	0.6	24.8	381.3	

Pozo No.	31		Elevación del Brocal		1000.4 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
22/03/1983	11.1	14.63	3.53	25.5	915	
30/05/1983	12.11	15.37	3.26	26	1000	
26/02/1988	6.82	7.14	0.32	23.5	424	
10/11/1989	2.73	7.54	4.81	23.8	407	
Promedio	8.2	11.2	3.0	24.7	686.5	

Pozo No.	32		Elevación del Brocal		1000.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
22/03/1983	17.25	18.12	0.87	25	220	
31/05/1983	18.02	18.9	0.88	25	250	
26/02/1988	17.2	18.8	1.6	24.7	218	
Promedio	17.5	18.6	1.1	24.9	229.3	

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	33	Elevación del Brocal		1000.6	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
22/03/1983	4.55	5.19	0.64	23.5	420
31/05/1983	5.77	6	0.23	25	420
26/02/1988	3.52	6.85	3.33	23.3	472
Promedio	4.6	6.0	1.4	23.9	437.3

Pozo No.	34	Elevación del Brocal		985.2	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
01/06/1983	4.94	5.39	0.45	25	280
23/03/1988	3.9	5.5	1.6	22.8	294
Promedio	4.4	5.4	1.0	23.9	287.0

Pozo No.	35	Elevación del Brocal		1000.7	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
12/03/1983	15.11	15.7	0.59	25	315
27/05/1983	16.33	16.8	0.47	26	220
24/02/1988	16.05	17	0.95	25.1	194
10/11/1989	14.17	16.6	2.43	24.5	198
Promedio	15.4	16.5	1.1	25.2	231.8

Pozo No.	36	Elevación del Brocal		992.53	msnm
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.
12/03/1983	8.31	10.69	2.38	24	420
01/06/1983	9.25	11.51	2.26	25	400
23/02/1988	9.17	11.55	2.38	24.2	369
10/11/1989	8.08	11.55	3.47	23.9	
Promedio	8.7	11.3	2.6	24.3	396.3

Fuente: INSIVUMEH

Continuación del cuadro 2A

Pozo No.	37		Elevación del Brocal		1050.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
12/03/1983	6.4	7.65	1.25	23	135	
27/02/1988	5.8	7.65	1.85	24.1	116	
Promedio	6.1	7.7	1.6	23.6	125.5	

Pozo No.	38		Esp. Agua	T	C.E.	
Fecha	NF	NFP	Espesor del agua	Temperatura	C.E.	
12/03/1983	25.72	26.44	0.72	26	255	
23/02/1988	26.43	30	3.57	26.3	224	
10/11/1989	37.45	40	2.55	29.4	324	
Promedio	29.9	32.1	2.3	27.2	267.7	

Pozo No.	39		Elevación del Brocal		1005.5 msnm	
Fecha	NF	NFP	Esp. Agua	T	C.E.	
12/03/1983	35.72	36	0.28	27	380	
23/02/1988	37.49	38	0.51	27.68	323	
Promedio	36.6	37.0	0.4	27.3	351.5	

Fuente: INSIVUMEH

Cuadro 3A. Identificación de los puntos de muestreo

No.	Puntos de Muestreo
1	Estación Casa de Tablas
2	Pozo perforado La Ceibita
3	Laguna del Hoyo

Fuente: INSIVUMEH, 2007

Cuadro 4A. Características fisicoquímicas del agua superficial y subterránea en el valle de Monjas, Jalapa.

No.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	Max	Min
pH												
1	9.04	8.70	8.17		8.67	7.78	8.72	7.42	7.5	8.3	9.04	7.42
2	7.67	7.73	7.67		7.67	7.58	7.56	7.25	7.54	7.6	7.73	7.25
3	7.75	7.44	7.26		7.09	8.20	8.23	8.45	8.41	7.9	8.45	7.09
Temperatura °C												
1	27.2	26.6	19.8		27.3	26.5	28.1	24.1	23.4	25.4	28.1	19.8
2	28.8	30.3	25.4		29.3	29.0	29.3	28.5	28.4	28.6	30.3	25.4
3	22.4	22.7	21.2		25.3	28.1	28.8	27.8	29.1	25.7	29.1	21.2
Turbiedad UTN												
1	45.1	9.07	257		17.7	457	12.6	524	914	279.56	914	9.07
2	0.20	0.19	0.32		0.55	2.38	0.21	0.50	2.01	0.80	2.38	0.19
3	19.5	17.3	16.1		9.19	3.26	53.6	56.2	87.9	32.88	87.9	3.26
Conductividad eléctrica µS/cm												
1	181	195	229		243	137	151	98	77	164	2043	77
2	251	249	251		251	251	248	249	246	250	251	246
3	78	78	79		102	82	79	82	72	82	102	72

Fuente: INSIVUMEH, 2007

Continuación del cuadro 4A.....

No.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	Max	Min
Sólidos totales disueltos mg/L												
1	133	143	167		178	100	110	72	56	120	178	56
2	183	182	185		183	183	181	182	180	182	185	180
3	57	57	58		75	60	58	60	53	60	75	53
Calcio mg/L												
1	16	20	25		30	12	18	12	11	18	30	11
2	21	22	18		17	16	21	18	17	19	22	16
3	10	7	9		14	6	9	7	6	9	14	6
Cloruros mg/L												
1	4.2	2.6	3.5		3.5	4.6				3.7	4.6	2.6
2	2.6	----	----		2.6	----				2.6	2.6	2.6
3	3.7	2.7	4.0		5.3	2.9				3.7	5.3	2.7
Cobre												
1	----	----	----		0.05	----	----	----	----	----	0.05	----
2	----	----	----		----	----	----	----	----	----	----	----
3	----	----	----		----	----	----	----	----	----	----	----

Fuente: INSIVUMEH, 2007

Continuación del cuadro 4A.....

No.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	Max	Min
Dureza total												
1	64.26	87.47	91.04		91.04	119.6	53.55	39.27	37.49	72.96	119.6	37.49
2	87.47	94.61	96.39		103.53	101.75	94.61	92.82	92.82	95.50	103.53	87.47
3	26.78	35.70	28.56		55.34	92.82	28.56	26.78	24.99	39.94	92.82	24.99
Fluoruros mg/L												
1	0.1	0.16	0.1		0.12	----	0.17	0.15	0.12	0.13	0.17	0.1
2	0.15	0.18	0.12		0.14	0.11	0.20	0.16	0.27	0.17	0.27	0.11
3	----	----	----		----	----	----	----	0.14	0.14	0.14	0.14
Hierro												
1	0.33	0.24	0.38		0.25	0.307	0.277	0.46	0.431	0.333	0.46	0.235
2	0.01	----	0.014		0.066	0.055	0.108	0.016	0.055	0.047	0.108	0.01
3	0.1	0.05	0.049		0.351	0.045	0.109	0.129	0.107	0.116	0.351	0.045
Magnesio												
1	4	4	5		6	3	3	3	2	4	6	2
2	12	10	11		11	11	11	11	9	11	12	9
3	2	2	2		3	2	2	2	2	2	3	2

Fuente: INSIVUMEH, 2007

Continuación del cuadro 4A.....

No.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	Max	Min
Nitratos												
1	1.5	----	4.7		4.1	2.5	----	1.7	3.1	2.9	4.7	1.5
2	----	----	1.9		1.1	3	----	----	----	2	3	1.1
3	----	----	1.6		2.3	1.3	0.9	----	----	1.5	2.3	0.9
Nitritos (NO ₂) mg/L												
1	0.021	----	0.04		0.04	0.05	0.03	0.12	0.07	0.053	0.12	0.021
2	----	----	----		----	----	----	----	0.03	0.03	0.03	0.03
3	----	----	0.07		0.03	----	0.08	0.14	0.13	0.09	0.14	0.03
Cianuro liberado												
1	0.002	----	----		0.012	----	----		----	0.007	0.012	0.002
2	----	----	----		----	----	----		----	----	----	----
3	----	----	----		----	----	0.014		----	0.014	0.014	0.014
Cromos												
1	0.019	----	0.014		----	0.017	0.011	0.025	0.011	0.016	0.025	0.011
2	----	----	0.01		----	----	----	0.01	----	0.01	0.01	0.01
3	----	----	----		----	----	0.016	0.058	----	0.037	0.058	0.016

Fuente: INSIVUMEH, 2007

Este documento ha sido realizado e impreso gracias al apoyo de la Unión Europea a través del Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental -PREVDA- ALA/2005/017-550