Estudio del potencial hidrológico de la cuenca Cuitzmala

Costa Suroeste de Jalisco, México

Fátima Maciel Carrillo González
Víctor Manuel Cornejo López
María Elena González Ruelas
Julio César Morales Hernández
María del Rocío Meza Becerra
Virginia Martínez Hernández

Universidad de Guadalajara

Estudio del potencial hidrológico de la cuenca Cuitzmala

Costa Suroeste de Jalisco, México

Estudio del potencial hidrológico de la cuenca Cuitzmala
Costa Suroeste de Jalisco, México

Fátima Maciel Carrillo González
Víctor Manuel Cornejo López
María Elena González Ruelas
Julio César Morales Hernández
María del Rocío Meza Becerra
Virginia Martínez Hernández

Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de la Costa

Primera edición, 2015

D.R. © 2015 Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de la Costa
Av. Universidad 203, Delegación Ixtapa
48280 Puerto Vallarta, Jalisco

ISBN: 978-607-742-154-2

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Índice

Agradecimientos 9

Introducción 11

Antecedentes 15

Objetivo. 19
Objetivo general 19
Objetivos específicos 19

Zona de estudio y sus características 21
Calidad del agua 24
Información significativa cuenca conjunta río San Nicolás-Cuitzmala . 25
Datos disponibles 37

Metodología 41
Procesamiento de datos de precipitación y mapas de isoyetas . . . 43
Cálculo del volumen de escurrimiento anual natural 43
Método para calcular la evapotranspiración en época de lluvia . . . 44
Volumen concesionado de agua subterránea 52
Descripción de la dinámica atmosférica que propicia
los fenómenos antes descritos 52

Resultados 55
Resultado del cálculo de agua que entra por precipitación 55
Calculo de la evapotranspiración en época de lluvia. 59
Resultado de volumen anual de escurrimiento natural 62
Volumen concesionado de agua subterránea 65
Resultado total 65

Discusiones 67

Conclusiones 71

Recomendaciones 73

Referencias 75

Anexo 1. Vértices de los puntos que delimitan la cuenca Cuitzmala (*DOF*-04-01-2008). 79

Anexo 2. Relación detallada de la base de datos disponibles 80

Anexo 3. Datos de las subcuencas de la cuenca Cuitzmala, coeficientes de escurrimientos y volumen escurrido 84

Anexo 4. Dinámica atmosférica en la zona costera Suroeste de Jalisco 90
Flujos de vientos en la zona de Cuitzmala 97

Anexo 5. Mapas mensuales de temperatura [°C] 103

Anexo 6. Mapas mensuales de evapotranspiración [mm] 105

Anexo 7. Proyecciones del crecimiento de la población y demanda de la cantidad de agua. 111

Agradecimientos

Se agradece profundamente el apoyo institucional que hemos recibido de Cecytjal, UdeG-CUCosta, Programa Pifi, Promep Integración de Redes Temáticas de Colaboración Académica, al grupo RedesClim-Conacyt.

A todas las personas que participaron en el desarrollo de este trabajo, en especial al ingeniero José Miguel Cano Chapa y compañeros de trabajo. Nada de esto hubiera sido posible sin su ayuda.

Introducción

El presente estudio tiene como objetivo cuantificar la disponibilidad de agua en la cuenca Cuitzmala, la cual se encuentra en la región denominada Costa Alegre del estado de Jalisco. Este estudio pretende corroborar lo ya reportado al respecto por diversas autoridades como Semarnat,[1] CNA[2] y CEA-Jalisco.[3] Es importante hacer notar que en lo reportado en distintos periodos de tiempo y por diferentes autoridades, así como lo calculado en este estudio, se apreciaron valores diferentes pero siempre coincidentes en el orden cuantitativo. Mediante el balance hidrológico se demostrará que la cantidad de agua que entra a la cuenca es muy elevada, en comparación al aprovechamiento que se hace de ella.

El balance hidrológico es una ecuación muy simple en la que se cuantifican las entradas y salidas de agua en un sistema o cuenca hidrológica. Para la cuenca del río Cuitzmala, la principal entrada de agua es la precipitación, la cual en algunos lugares de la parte alta de la cuenca llega a alcanzar un promedio anual superior a 1900 mm (SPP, 1975; ERICIII-IMTA 2006), descendiendo paulatinamente con respecto a la altitud, hasta los puntos más bajos de la cuenca, donde el promedio de la precipitación anual es de aproximadamente 750 mm (Bullock, 1986 y EBCC).[4] La salida principal de agua es la evapotranspiración y, en menor medida, el escurrimiento superficial del río Cuitzmala y el agua comprometida de los aprovechamientos dentro de la cuenca (CNA).

---

1. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).
2. Comisión Nacional del Agua (CNA).
3. Comisión Estatal del Agua en Jalisco (CEA-Jalisco).
4. Estación Biológica Chamela Cuitzmala (EBCC).

Para alcanzar el objetivo de este trabajo se estudiaron y consideraron diversos y numerosos datos disponibles (CNA, IMTA,[5] SMN,[6] INIFAP,[7] EBCC-UNAM,[8] mediciones topográficas e información verbal) de la zona de investigación y lugares cercanos. La cantidad de agua que entra a la cuenca por precipitación es muy grande; sin embargo, la permeabilidad también lo es por existir geológicamente en la cuenca roca caliza y secuencia volcanosedimentaria, por ello el gasto o flujo corriente del río no es considerable ni duradero, así como tampoco favorece la formación o mantenimiento de cuerpos de agua. Por ello, aunque los valores de evaporación son muy altos —como lo muestran los registros de la CNA— y siendo más precisos en el concepto de evapotranspiración, de acuerdo con los tres métodos utilizados en este trabajo para determinarlo, en donde a veces rebasan los valores de precipitación, éstos sólo indican el poder evaporante de la atmósfera y no así el agua que escapa a la misma, pues al no haber agua disponible en la superficial (a excepción de dos lagunas perennes denominadas Tule y Tulecillo en la parte baja de la cuenca, véase Figura 1) no se evapora. En consecuencia, el agua es almacenada en el subsuelo y fluye subterráneamente hacia las partes bajas de la cuenca. Esto se observa en las mediciones de los niveles de los mantos freáticos de los pozos en la parte baja de la cuenca. Incluso en temporada de estiaje, los niveles dinámicos se mantienen de 3 a 6 msnmm.[9] Lo anterior indica que en el Acuífero Subterráneo Miguel Hidalgo (denominado así por la CNA como la zona geohidrológica de la Región Costa Suroeste de Jalisco), el resto del agua no es aprovechada y termina escurriéndose hacia el mar, pues el acuífero no tiene posibilidad de almacenar una mayor cantidad. Lo anterior coincide con trabajos ya realizados en esta zona (Bourguet, 1972).

5. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
6. Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
7. Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP).
8. Estación Biológica Chamela-Cuitzmala de la Universidad Nacional Autónoma de México (EBCC-UNAM).
9. Metros sobre el nivel medio del mar.

Figura 1. Vista de la parte baja de la cuenca Cuitzmala (Google Earth, 20 de diciembre de 2003). Flujo no saturado a través del suelo y flujo de agua subterránea o flujo saturado a través de los estratos de suelo y roca.

Antecedentes

La política ecológica nacional actual reconoce que cualquier opción de desarrollo debe garantizar, elevar y perpetuar a largo plazo la calidad de vida de la población y de los sistemas naturales en los cuales se desarrolla. Esto a partir de un análisis del ámbito físico-espacial, en el que confluyen y se condicionan lo social y lo natural (Cervantes-Borja y Alfaro Sánchez, 1998). De forma que el ordenamiento ecológico requiere de un análisis espacial integral que permita evaluar las condiciones del medio biofísico y socioeconómico, para luego permitir el desarrollo en ambos aspectos, sin sacrificar alguno de ellos. Debido a esto, la delimitación tiene que ser adecuada. CNA-FAO (1991) sugieren utilizar a las cuencas hidrológicas como unidades espaciales, debido a que funcionan como un sistema complejo, dinámico y permanente entre los sistemas físicos (recursos naturales), bióticos (flora y fauna) y socioeconómicos (usuarios).

El balance hidrológico es un elemento fundamental para poder evaluar el grado de deterioro y la disponibilidad real del recurso agua, así como para determinar la fragilidad de las unidades hidrológicas de una cuenca. Para ello se requiere de una correcta evaluación de cada uno de los términos que en él intervienen y comprender el ciclo en sus diferentes fases, como lo son la forma en que se recibe el agua por precipitación y se reparte entre los procesos de evapotranspiración, escorrentía, infiltración, extracción, etc. Aunque la ecuación de balance hidrológico es una expresión muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente muy complicada, por la falta de mediciones directas y por la variación espacial y temporal de cada una de las variables. Sin considerar aún las pérdidas profundas en acuíferos y las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

El río Cuitzmala nace en las inmediaciones del cerro Camalote, localizado a 15 km al Noroeste del poblado de Villa Purificación, a una elevación de 1,500 msnmm; durante todo su recorrido de 85 km conserva una dirección predominante Sur-Suroeste. La cuenca cubre una superficie de aproximadamente 1,055 km^2 y desemboca en el océano Pacífico en un punto situado a 5 km al Suroeste de Punta Farallón (Szekely, 2003). Aunque es muy abundante en el periodo de lluvias, así como cuando se aproxima alguna tormenta tropical, la corriente superficial no sobrevive a la temporada seca debido a la gran infiltración en toda la cuenca. A un lado de la cuenca, muy cerca de donde desemboca el río Cuitzmala, está la laguna de Corte y Manzanillera, que están sujetas a inundaciones periódicas; estas lagunas conforman los humedales que tienen una gran riqueza en flora y fauna y son alimentadas por un pequeño canal que se surte de las aguas superficiales disponibles del río Cuitzmala durante todo el año, como puede apreciarse en la fotografía de satélite (figura 2). Parte de la cuenca Cuitzmala corresponde a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuitzmala, donde existe una Estación Biológica del Instituto de Biología de la UNAM, un importante centro de investigación y conservación.

Una buena alternativa para determinar el balance hídrico es emplear modelos matemáticos. Éstos son una herramienta muy poderosa en la toma de decisiones, ya que pueden relacionar diversas variables virtuales o reales para proporcionar información que servirá para entender la causa y hacer predicciones. Sin embargo, el grado de complejidad de un modelo de simulación depende principalmente de las variables que se incluyan, del tipo de problema que se desea resolver y la precisión que se busque o necesite. Que el modelo sea lo más cercano a la realidad dependerá de la cantidad de los datos, así como de la precisión que éstos tengan.

El balance hidrológico depende principalmente de dos tipos de factores: los meteorológicos y los característicos del lugar (FAO, 1998). Algunos de los factores meteorológicos que intervienen son: la temperatura, la radiación solar, la velocidad del viento, la humedad del aire y la dinámica atmosférica que los condicionan o determinan. Los principales factores locales se pueden resumir en el concepto de albedo, que es la proporción entre la energía reflejada y la energía que absorbe la superfi-

cie dependiendo de las características de la misma, ya sea por el tipo de vegetación, tipo de suelo, urbanización, cambios de uso de suelo, etcétera (Delegido *et al*., 1991). Una de las alternativas en las nuevas tecnologías por su factibilidad de abarcar mayores extensiones de terreno y que asegura mejores análisis es la teledetección, se ha utilizado en el cálculo de diversas variables, de una manera global y económicamente factible para grandes áreas (Kustas y Norman, 1996; Brena y Sanvicente, 1999), especialmente en la aplicación de nuevos métodos basados en la medida de balances hídricos, entre ellos la evapotranspiración, ampliamente usados para estimar los efectos del cambio climático (Hatfield, 1983; McKenney y Rosenber, 1993).

Figura 2. Vista de la parte baja de la Cuenca Cuitzmala. Fuente: *Wēb* RBCC-UNAM.

Objetivo

Objetivo general

Realizar el balance hidrológico de la cuenca Cuitzmala, para determinar su potencial hídrico mediante la norma NOM- 011- CNA-2000.

Objetivos específicos

- Recabar la información hidrológica y meteorológica disponible de la cuenca Cuitzmala y de las zonas aledañas.
- Identificar y clasificar la información obtenida dentro de los términos a considerar en el balance hidrológico.
- Analizar la base de datos obtenida para el cálculo del balance hidrológico.
- Describir los principales fenómenos meteorológicos, así como la dinámica atmosférica que condicionan las características de la cuenca Cuitzmala.
- Cuantificar los términos que involucra la ecuación de determinación de agua disponible, de acuerdo con la NOM- 011- CNA-2000.
- Proponer recomendaciones a partir de los resultados, a fin de que conlleven al desarrollo solidario de todas las partes involucradas en la zona.

Zona de estudio y sus características

La región de estudio es la cuenca hidrológica Cuitzmala (denominada igualmente como Cuixmala), desde el nacimiento del río Cuitzmala en la sierra Cacoma hasta su desembocadura en el océano Pacífico, con orientación preferente al Suroeste. Ubicada al Suroeste del estado de Jalisco, se encuentra parcialmente en el municipio de la Huerta y Villa Purificación. Administrativamente la cuenca Cuitzmala pertenece a la Región Hidrológica 15 (RH15) de la costa de Jalisco (CNA). La región está integrada por tres grupos: A) R. Chacala-Purificación, B) R. San Nicolás-Cuitzmala y C) R. Tomatlán-Tecuán.

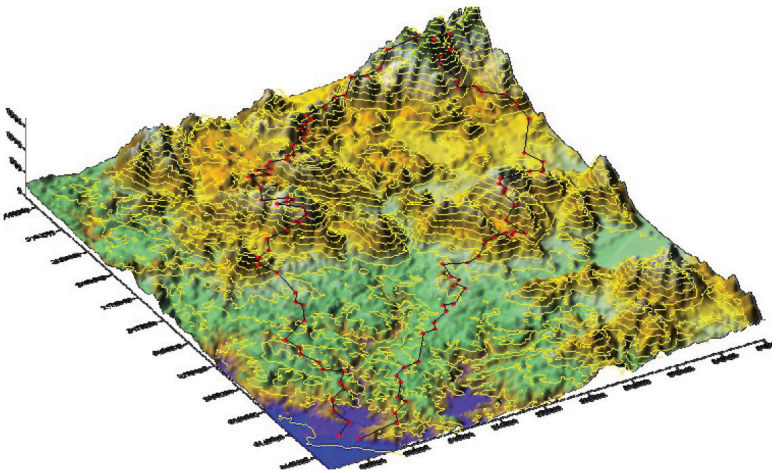


Figura 3. Superficie de la cuenca en perspectiva.

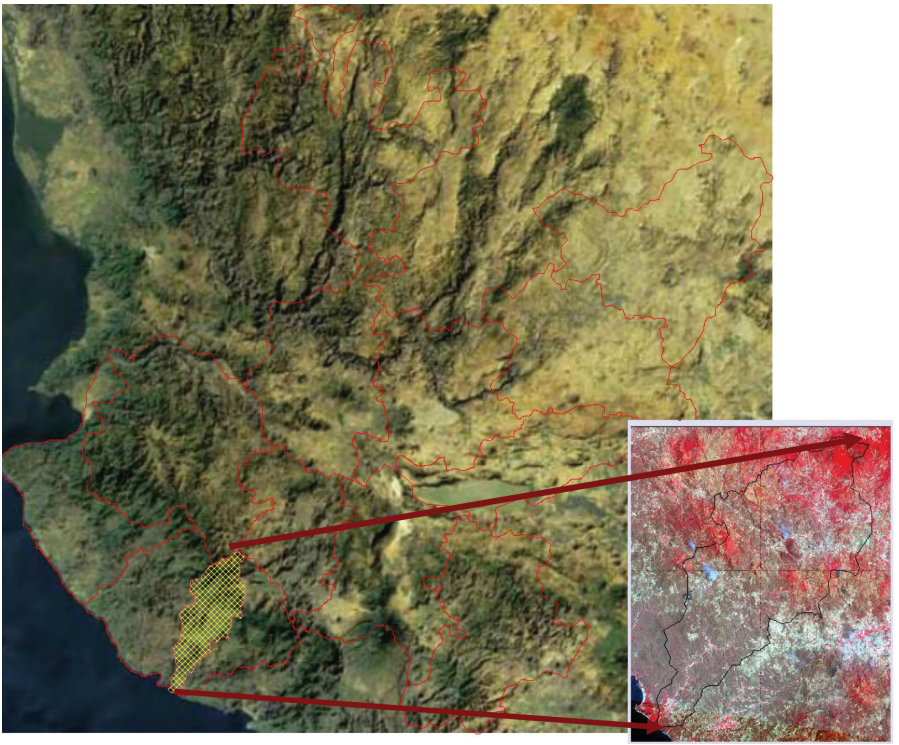


Figura 4. Ubicación de la cuenca Cuitzmala.

De acuerdo con lo publicado por la Semarnat (*DOF*-04-01-2008), donde se define la cuenca hidrológica río Cuitzmala (anexo 1), la cual tiene una superficie de aportación de 1,071.18 km^2. La cuenca se encuentra delimitada al Norte por la cuenca hidrológica río San Nicolás A, al Sur por la cuenca hidrológica río Purificación y el océano Pacífico, al este por la cuenca hidrológica río Purificación y al Oeste por la cuenca hidrológica río San Nicolás B.

En la cuenca existió una estación hidrométrica, ubicada en el cauce del río, que reportó un volumen medio anual de 58,023.05 Mm^3 (Millones de metros cúbicos) para el periodo de 1994 a 1995. Actualmente en la cuenca no existen aprovechamientos significativos (Est. Hid. Jal. 2001).

La desembocadura de la cuenca es una planicie con abundante agua. Estas llanuras costeras están compuestas por sedimentos fluviales conglomerados, limos y arcillas de edad Cuaternaria y reciente (Barrera Rodríguez y Zaragoza Vargas, 1999). En esta llanura se encuentran la laguna de Corte y Manzanillera, que están sujetas a inundaciones periódicas. Las aportaciones hidráulicas se realizan principalmente a través del arroyo El Limbo y del río Cuitzmala. En esta área se han construido dos lagunas artificiales que funcionan como vasos reguladores y de saneamiento (Székely, 2003).

Tabla 1

Datos generales de las estaciones hidrométricas en el estado de Jalisco

Nombre	*El Chiflón*	*Cuitzmala*	*Higuera Blanca*
Corriente	Río Purificación	Río Cuitzmala	Río San Nicolás
Cuenca	Río Purificación	Río Cuitzmala	Río San Nicolás
Área drenada km^2	324	1080	2315
Vol. medio anual Mm^3	8,054.266	58,023.054	194,529.12
Gasto medio anual m^3/seg.	3.050	22.094	73.720
Máximo m^3/seg.	19.157	161.049	347.914
Mínimo m^3/seg.	0.033	2.025	4.344
Periodo	1994	1995	1995
Aparato	EML	EML	EML

*EML: Escala Molinete Limnígrafo.

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Subgerencia de Operación Técnica, 1996.

Mapa digital de elevación, obtenido a partir de la interpolación de la información INEGI y con la ayuda de los programas Surfer e Idrisi Kilimanjaro:

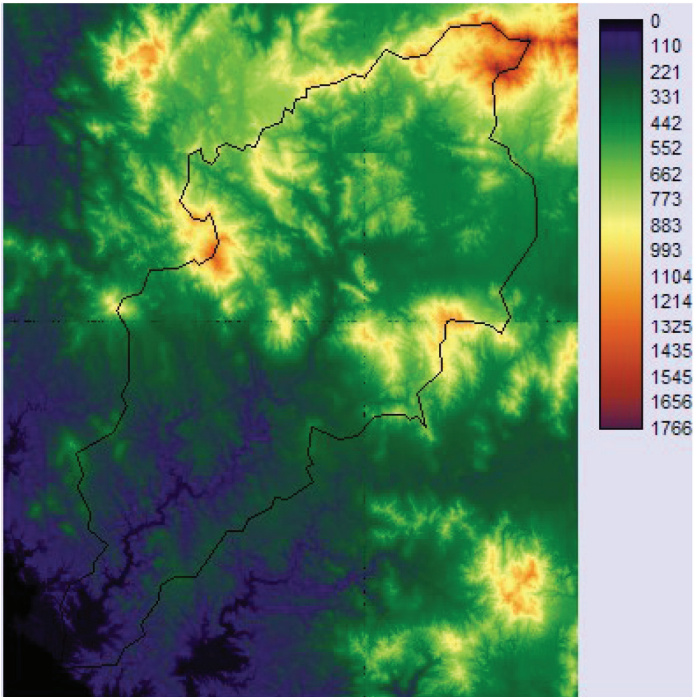


Figura 5. Modelo digital de elevación, obtenido a partir del mapa topográfico 1:50,000. Altura en metros [msnm]. Fuente INEGI.

Calidad del agua

Según la clasificación de Wilcox, la calidad del agua para riego es C1-S1 (agua con salinidad y sodio bajos); el agua de baja salinidad puede usarse en la mayor parte de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. El agua baja en sodio puede utilizarse en el riego de suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiables; no obstante, los cultivos sensibles

—como algunos frutales y aguacates— pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio (Est. Hid. Jal. 2001).

Tabla 2
Calidad del agua para riego

Aprovechamiento	*Río*	*Río*	*Río*	*Presa*	*Río*
Nombre	Purificación	Cuitzmala	San Nicolás	Cajón de Peña	Purificación
Localidad	Agua Caliente	Reserva de la Biosfera	Puente Quemaro	Tomatlán	Purificación
Conductividad mmhos/cm^2	0.5448	0.0962	0.0709	0.1114	0.1114
RAS*	1.45	0.37	0.51	0.82	0.61
Calidad del agua de riego	C2-S1	C1-S1	C1-S1	C1-S1	C1-S1
Coordenadas	19°21' 104°53'	19°25' 104°58'	19°39' 105°11'	19°59' 105°12'	19°38' 104°33'

*RAS: Relación de Absorción de Sodio.
Fuente: Est. Hid. Jal., INEGI 2001

Información significativa cuenca conjunta río San Nicolás-Cuitzmala

De acuerdo con el estudio hidrológico (INEGI, 2001), para la cuenca río San Nicolás-Cuitzmala, se cuantificó un escurrimiento anual de 504.95 Mm^3; procedentes de un volumen medio precipitado de 4,488.51 Mm^3 por año y un coeficiente de escurrimiento de 11.25%. En cuanto a las estimaciones calculadas por la CNA, donde se reporta una disponibilidad de agua de 1,737 Mm^3, es decir, su balance hidrológico resulta positivo, lo que indica que hay abundancia de agua.

Clima

El clima es cálido-subhúmedo de menor humedad, que se caracteriza por una temperatura media anual de 24.5 °C, los valores promedios máximos mensuales son equiparables (29.1 °C a 32.0 °C) y los mínimos muestran

un cambio estacional significativo (14.8 °C a 22.9 °C), de acuerdo con el estudio de Bullock (1986). Los vientos locales son fuertes en la estación seca. Los ciclones tropicales se mueven paralelamente a la costa (Cornejo López, 2005). Existe una marcada estacionalidad, con periodos de lluvias (junio-octubre) y de secas (noviembre-mayo) bien definidos (para mayor referencia, véase anexo 4).

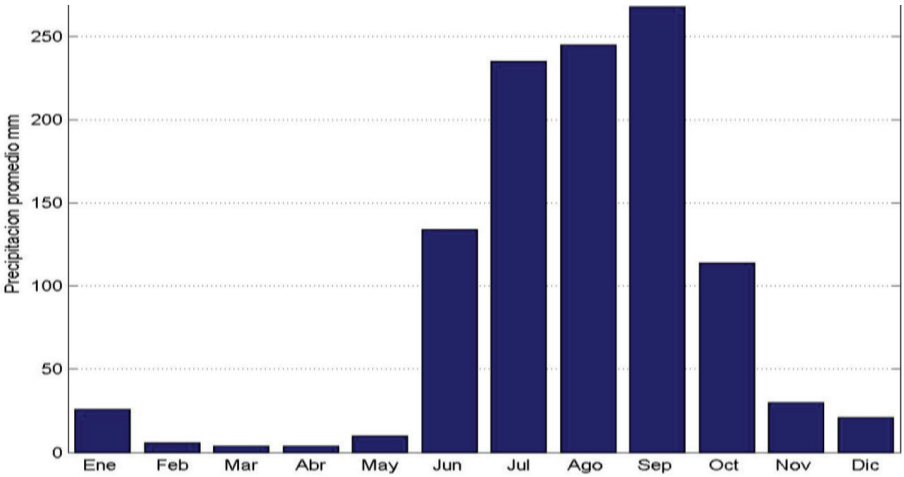


Figura 6. Precipitación promedio mensual de todas las estaciones de la cuenca Cuitzmala y zonas aledañas.

Precipitación

La precipitación promedio anual ponderada de toda la cuenca es de 1,173mm; presentando valores de 750 mm en la parte baja (EBCC; Bullock, 1986, Gómez-Pompa, 1987) hasta alcanzar 1,700 mm en la parte alta de la cuenca, cerca de la población de Purificación (ErikIII-IMTA). Más de 80% de la precipitación se presenta de julio a noviembre, aunque en ocasiones se presentan lluvias en otros meses del año (Figura 6) como consecuencia de tormentas tropicales y ciclones (Bullock, 1986).

La cuenca del río Cuitzmala es influenciada por dos periodos fuertemente marcados. El periodo seco, que va de noviembre a mayo, y el periodo húmedo, que va de junio a octubre, donde diversos sistemas

meteorológicos favorecen la ocurrencia de precipitaciones en forma no homogénea sobre la cuenca. Es necesario mencionar que durante el periodo húmedo, el paso por la zona de eventos hidrometeorológicos —depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes— aporta cantidades adicionales de lluvia aun cuando no impacte en la zona, la cual no es aprovechada y se va al mar (para mayores referencias, véase anexo 4).

Las isoyetas sobre la cuenca de Cuitzmala son aproximadamente paralelas a la línea costera, las mayores pendientes se observan hacia el extremo noreste donde una pequeña porción es limitada por la isoyeta 2000 mm; gradualmente las isoyetas descienden hasta el valor de 700 mm, en general se puede apreciar que la mayor superficie está por encima de los 1,000 mm anuales.

Figura 7. Mapa de las isoyetas de precipitación (1:1'000,000), resultado de los datos obtenidos de 1921 a 1975, publicado por la antigua Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), tarea actualmente a cargo del INEGI.

Agua superficial

De acuerdo con lo publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el día viernes 04 de enero de 2008, cuando da a conocer los resultados de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas de la Región Hidrológica XV, en la cual se encuentra la cuenca del río Cuitzmala. Reporta la siguiente información:

Tabla 3
Datos de los cálculos de la Semarnat para determinar
la disponibilidad de agua en la cuenca Cuitzmala (*DOF*-040108)
en millones de metros cúbicos

VMA	Escurrimiento natural	235.72
VMA	Escurrimiento cuenca aguas arriba	0.00
VA	Extracción agua superficial	3.99
VA	Retornos	0.63
VA	Importaciones	0.00
VA	Exportaciones	0.00
VA	Evaporación en embalses	0.00
VA	Variación almacenamiento embalses	0.00
VMA	Escurrimiento cuenca aguas abajo	232.36
VA	Comprometido aguas abajo	0.00
Disponibilidad		Disponible

* Volumen medio anual (VMA). Volumen anual (VA)

Agua subsuperficial

El agua subsuperficial o flujo no saturado fluye por debajo de la superficie terrestre, este flujo se convierte en humedad del suelo. El flujo es no saturado cuando el medio poroso todavía tiene algunos de sus vacíos ocupados por aire. En la cuenca baja de Cuitzmala el flujo saturado a partir del nivel freático, que es la superficie donde el agua se encuentra a presión atmosférica en un medio saturado, se encuentra aproximadamente a 8.00 msnmm en temporada de lluvias y desciende hasta 5.37

msnmm en época de secas (como lo demostrarán los datos de las tablas 5, 6 y 7).

Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. De acuerdo con la figura 2.2 del *Estudio hidrológico del estado de Jalisco* (INEGI, 2001), el grado de permeabilidad en la zona es de alta a media, favorecida porque la geología regional consiste en caliza del Cretácico Inferior y suelo aluvial del Cuaternario, este último material clástico producto del intemperismo y erosión de las rocas mencionadas, conforma el acuífero, el cual tiene un espesor aproximado de 75 m (INEGI, 2001).

Evaporación

Tradicionalmente, la Comisión Nacional del Agua —antes Secretaría de Recursos Hidráulicos— ha medido la evaporación en los puntos de observación (enumerados más adelante). Esto mediante tanques evaporimétricos. Se interpolaron estos datos para trazar un mapa de evaporación, obteniéndose un promedio de evaporación de 1,662 mm. Sin embargo esto no significa que se evapore esa cantidad de agua, debido a que no hay cuerpos de agua, es decir, no hay agua disponible para evaporarse. Así que esto indica sólo el potencial evaporante de la atmósfera, no así el agua que en realidad se evapora. De hecho, en diversos estudios de disponibilidad de agua se considera la evaporación de la cuenca igual a cero, por no haber cuerpos de agua. En el presente trabajo se hace un estudio de evapotranspiración mediante tres métodos diferentes e igualmente aprobados por los especialistas en esta área.

Aguas subterráneas y zonas geohidrológicas

Existe una gran cantidad de manantiales en el estado de Jalisco, distribuidos en toda su superficie. La mayoría de régimen perenne e intermitente, generalmente de buena calidad para uso potable y algunos de ellos con excelentes caudales. Éstos se aprovechan para abastecer de agua a nume-

rosas poblaciones con fines domésticos o para el desarrollo de actividades agropecuarias; sin embargo, muchos manantiales carecen de uso, sobre todo en la región de la costa, donde alimentan a corrientes superficiales y finalmente terminan en el océano (*Est. Hidrol. Edo. Jal.*, INEGI, 2001).

La zona geohidrológica la Huerta se ubica en la porción Suroeste del estado; fisiográficamente corresponde a la provincia Sierra Madre del Sur. La geología regional consiste en caliza del Cretácico Inferior; toba e ignimbrita ácidas y dacita del Cretácico Indiferenciado, intrusionadas por granito de la misma edad; toba ácida e ignimbrita del Terciario Superior y suelo aluvial del Cuaternario; este último material clástico producto del intemperismo y erosión de las rocas mencionadas conforma el acuífero, el cual tiene un espesor aproximado de 75 m (*Est. Hidrol. Edo. Jal.*, INEGI, 2001). Es posible que estas características las comparta la cuenca Cuitzmala, ya que se encuentra dentro de la misma región.

En esta zona geohidrológica denominada acuífero Miguel Hidalgo se inventariaron 90 aprovechamientos: 58 pozos y 32 norias, en los que los niveles estáticos fluctúan entre 4 y 30 m de profundidad, con abatimiento medio anual de 0.10 m. Es excelente la calidad química del agua para uso potable, inferior a 278 ppm (partes por millón) de sólidos totales disueltos.

De acuerdo con el *Estudio hidrológico de Jalisco* (INEGI, 2001), en el que estima la recarga es de 57 Mm^3 y las extracción mediante bombeo es de 11 Mm^3, de acuerdo con los datos de la CNA. Es importante señalar que en la base de datos proporcionada en mayo 2008 se reporta 4.9 Mm^3 de agua comprometida por concesiones de agua subterráneas. A pesar de ello, el estudio hidrológico indica que el acuífero se encuentra en estado de subexplotación. Del volumen extraído, 91% se destina a la agricultura, 6% al uso público-urbano y 3% en actividades industriales, domésticas y de abrevadero. En esta zona se tiene la presencia de acuíferos confinados (*Est. Hidrol. Edo. Jal.*, INEGI, 2001). Aunque es importante señalar que la ecuación de balance hidrológico no considera la proyección.

Características socioeconómicas

Las poblaciones de la región de Cuitzmala y Careyes forman parte del municipio de la Huerta, Jalisco, con una densidad de población actualmente de 5,223 habitantes. Localidades ubicadas en el acuífero Miguel

Hidalgo. Las actividades principales que se desarrollan en esta zona son la agrícola, ganadera y turística (INEGI, Censo 2005).

Tabla 4
Ubicación de las poblaciones y número de habitantes

Población	*Longitud*	*Latitud*	*Altitud**	*Núm. habitantes*
Cuitzmala	-104.585	19.230	20	300
Chamela	-105.042	19.314	20	1,239
La Chililla	-104.381	19.310	270	139
Emiliano Zapata	-104.576	19.226	10	1,223
Ejido la Fortuna	-105.064	19.355	10	771
El Francés	-104.355	19.301	250	147
Francisco Villa	-104.581	19.231	10	802
Pueblo Careyes	-105.013	19.264	20	726
El Convento de Cuitzmala	-104.581	19.244	60	22
Playa Chamela	-105.045	19.316	5	26
Estación de Biología (UNAM)	-105.024	19.296	80	80
Restaurante la Viuda	-105.041	19.315	20	14
Subestación Eléctrica Chamela	-105.051	19.342	20	20
			Población total	5,223

*msnm: metros sobre el nivel medio del mar.
Fuente INEGI, Censo 2005.

Escurrimiento

El INEGI (1983) elaboró un método indirecto para cuantificar el escurrimiento de un área específica. Éste involucra los elementos fundamentales que intervienen en el ciclo hidrológico superficial: la permeabilidad de suelos y rocas, la densidad de la cubierta vegetal, la distribución de lluvia y la pendiente del terreno; todo ello permite obtener un coeficiente de escurrimiento que muestra el porcentaje de agua precipitada que escurre o se acumula superficialmente. Las unidades de escurrimiento se representan porcentualmente.

Permeabilidad

La permeabilidad es un factor fundamental en el comportamiento del escurrimiento; con base en el análisis de las características físico-químicas de los suelos y rocas, se clasifica según su capacidad de infiltración. Los suelos aluviales que rellenan los principales valles intermontanos y planicies costeras son de permeabilidad variable que va de media a alta, debido a que las partículas que los constituyen son principalmente del tamaño de la arena, grava y arcilla. Para la realización de este trabajo se utilizó el mapa de escurrimiento reportado por el Inifap. Junto a la permeabilidad, la precipitación es el factor de mayor interés en los procesos de escurrimiento, ya que de su intensidad, frecuencia y distribución depende la rapidez de saturación del suelo con el subsecuente inicio de escurrimiento. En Jalisco el régimen de lluvias es en verano; la precipitación más abundante se debe a las tormentas o chubascos. Por lo tanto, este análisis permite considerar incidencia de la concentración estival en cuanto a las avenidas, así como el impacto de los periodos con déficit de agua; la distribución espacial de los promedios de temperatura y precipitación hace posible reflexionar respecto a la importancia hidrológica que tiene la evapotranspiración real como registro de la pérdida de agua (INEGI, 2001).

Cubierta vegetal

La cubierta vegetal es un factor considerado en la evaluación de las unidades de escurrimiento; su correcta clasificación permite obtener resultados confiables en la aplicación del método respectivo. La densidad y tipo de cubierta vegetal intervienen en la cantidad de escurrimiento. La diversidad de vegetación existente en el estado de Jalisco se encuentra ligada a la variabilidad climática y a los cambios de altitud. Hay tres rangos de densidad: alta, media y baja. La vegetación de alta densidad está representada por los bosques de oyamel, pino, encino y pino-encino, distribuidos al centro-Suroeste de la entidad, en las sierras de Cacoma (donde nace el río Cuitzmala, es decir la parte alta de la cuenca del mismo nombre), Manantlán, Tapalpa, la Primavera y Volcán de Tequila. Además, se considera a la

cubierta vegetal que corresponde a la selva baja caducifolia, distribuida al Suroeste y Noroeste de la entidad (INEGI, 2001).

Comparativo de los niveles

Durante la elaboración del presente trabajo, se estuvieron realizando sondeos en los pozos ubicados en Careyes para determinar con precisión la fluctuación de los niveles estáticos y dinámicos. Es decir, durante el periodo el bombeo y sin bombeo de cada pozo (para mayor información de los pozos, véase la tabla 9). Los datos reportados en las tres siguientes tablas son valores negativos —para evitar repetición no se pusieron todos los signos (–) negativos—. Los valores reportan la distancia en metros del nivel natural del terreno (NTN) al espejo de agua.

Tabla 5

Comparativos de los niveles de los pozos localizados en la región de Cuitzmala, de los pozos 1 y 2 de la playa Careyes para los meses de abril a septiembre del 2008. (Sondeos realizados por Playa Careyes, SA de CV) Todos los valores son negativos, pues se mide del NTN al espejo de agua

Fecha		*Pozo 1 Playa Careyes*		*Pozo 2 Playa Careyes*	
		Bombeando	*Sin bombear*	*Bombeando*	*Sin bombear*
Abril 2008	6		4,80	5,70	
	7		4,80		
	8	6,24			4,60
	11				
	12		4,90	5,80	
	15	6,24			5,00
	20				
	21	6,24			5,00
	24		5,10	6,00	
Mayo	12	6,50			5,00
	13	6,80			5,00
	14	6,80			4,50
	15		5,20	4,50	
	16		5,50	6,20	
	17	6,50			5,00
	18	6,80			4,60
	19	6,70			4,90
	20		5,30	5,60	
	21		5,50	6,00	
	22	6,60			5,00
	23	6,60			5,10
	24	6,60			5,20
	25	6,80			5,00
	26	6,80			5,00
	27	6,40			5,00
	28		5,00		5,00
Junio	3		5,00	6,10	
	11	6,40			5,10
	16	6,90			5,40
	25		5,60	6,30	

Fecha		*Pozo 1 Playa Careyes*		*Pozo 2 Playa Careyes*	
		Bombeando	*Sin bombear*	*Bombeando*	*Sin bombear*
Julio	4	6,10			4,60
	15		3,60	5,50	
	22	5,30			4,20
	30		4,10	5,20	
Agosto	6	4,80			3,20
	11		3,50	4,70	
	19	4,70			3,30
	28		3,30	4,40	
Septiembre	3		3,20	3,35	
	9		3,40	3,90	
	10		3,50	3,80	
	11		3,20	4,10	
	12		3,20	4,15	
	13	4,90			3,40
	14	5,00			3,30
	15	5,00			3,30
	16	5,05			3,30
	17	5,05			3,30
	18	5,10			3,30
	19	5,10			3,30
	20	5,05			3,30
	21		3,20	4,10	
	22		3,20	4,10	
	23		3,20	3,90	
	24		3,20	4,10	
	25		3,20	4,10	
	26		3,20	3,90	
	27		3,20	4,10	
	28		3,20	4,10	
	29	4,80			3,30
	30	4,80			3,30

Tabla 6

Comparativos de los niveles de los pozos localizados en la región de Cuitzmala de los pozos 1 y 2 de la playa Careyes para los meses de octubre a noviembre de 2008. (Sondeos realizados por Playa Careyes, SA de CV) Todos los valores son negativos, pues se mide del NTN al espejo de agua

Fecha		*Pozo 1 Playa Careyes*		*Pozo 2 Playa Careyes*	
		Bombeando	*Sin bombear*	*Bombeando*	*Sin bombear*
Octubre	1	4,80			3,30
	2	4,80			3,30
	3	4,90			3,40
	4	4,90			3,40
	5	5,00			3,45
	6	5,00			3,45
	7	5,10			3,45
	8		3,40	5,00	
	9		3,40	5,00	
	10		3,40	5,10	
	11		3,45	5,10	
	12		3,45	5,10	
	13		3,45	5,15	
	14		3,45	5,15	
	15	5,20			3,50
	16	5,20			3,50
	17	5,20			3,50
	18	5,20			3,50
	19	5,20			3,50
	20	5,25			3,55
	21	5,25			3,55
	22		3,50	5,20	
	23		3,50	5,20	
	24		3,50	5,20	
	25		3,50	5,20	
	26		3,50	5,20	
	27		3,55	5,20	
	28			5,20	
	29	5,30			3,55
	30				

Fecha		*Pozo 1 Playa Careyes*		*Pozo 2 Playa Careyes*	
		Bombeando	*Sin bombear*	*Bombeando*	*Sin bombear*
Noviembre	1	5,30			3,55
	2	5,35			3,60
	3	5,40			3,65
	4	5,40			3,65
	5	5,40			3,70
	6		3,60	5,30	
	7		3,60	5,30	
	8		3,70	5,35	
	9		3,70	5,35	
	10		3,70	5,35	
	11		3,70	5,40	
	12		3,70	5,40	
	13	5,50			3,70
	14	5,50			3,70
	15	5,50			3,70
	16	5,55			3,80
	17	5,60			3,80
	18	5,60			3,80
	19	5,60			3,80
	20		3,80	5,50	
	21		3,80	5,50	
	22		3,80	5,50	
	23		3,80	5,50	
	24		3,85	5,60	
	25		3,85	5,60	
	26		3,85	5,60	
	27	5,70			3,85
	28	5,70			3,85
	29	5,75			3,90
	30	5,75			3,90

Tabla 7

Comparativos de los niveles de los pozos localizados en la región de Cuitzmala de los pozos 1 y 2 de la playa Careyes para los meses de diciembre 2008 a enero 2009. (Sondeos realizados por Playa Careyes, SA de CV) Todos los valores son negativos, pues se mide del NTN al espejo de agua

Fecha		*Pozo 1* *Playa Careyes*		*Pozo 2* *Playa Careyes*	
		Bombeando	*Sin bombear*	*Bombeando*	*Sin bombear*
Diciembre	1	5,75			3,90
	2	5,80			3,90
	3	5,80			3,90
	4		3,85	5,65	
	5		3,85	5,70	
	6		3,90	5,70	
	7		3,90	5,70	
	8		3,95	5,80	
	9		3,95	5,80	
	10		3,95	5,80	
	11	5,90			3,90
	12	5,90			3,90
	13	5,90			3,90
	14	5,85			3,80
	15	5,85			3,80
	16	5,90			3,90
	17	5,90			3,90
	18		3,85	5,80	
	19		3,85	5,75	
	20		3,90	5,75	
	21		3,90	5,80	
	22		3,80	5,80	
	23		3,85	5,70	
	24		3,90	5,80	
	25	5,95			3,90
	26	5,95			3,90
	27	5,90			3,80
	28	5,95			3,85
	29	5,95			3,90
	30	5,90			3,90
	31	5,95			3,90

Fecha		*Pozo 1* *Playa Careyes*		*Pozo 2* *Playa Careyes*	
		Bombeando	*Sin bombear*	*Bombeando*	*Sin bombear*
Enero 2009	1	5,95			3,90
	2	6,00			4,00
	3	6,00			4,00
	4	6,00			4,00
	5	6,05			4,05
	6	6,05			4,05
	7	6,05			4,05
	8	6,10			4,05
	9		3,90	5,90	
	10		4,00	5,90	
	11		4,00	5,90	
	12		4,00	5,90	
	13		4,05	5,95	
	14		4,10	6,00	
	15		4,20	6,00	
	16	6,10			4,05
	17	6,05			4,05
	18	6,10			4,05
	19	6,15			4,10
	20	6,20			4,10

Datos disponibles

Los métodos empleados para el cálculo del agua disponible en la cuenca dependieron, principalmente, de los datos utilizados. A continuación se hace una relación de los datos disponibles y sus características principales:

Tabla 8
Tabla de datos disponibles para el análisis del presente estudio

Datos climatológicos. Estación Biológica Chamela-UNAM	Temperatura mínima, Temperatura Máxima, Precipitación (Datos diarios de dic 1977 a dic 2007)
Datos hidrométricos (CNA)	Estación El Chiflón. Promedios mensuales de gastos [m^3/s] máximo, mínimo, medio y vol. mensual (Mm^3/s), de agosto de 1953 a diciembre del 2002. Estación Cuitzmala. Promedios mensuales de gastos [m^3/s] máximo, mínimo, medio y vol. mensual (Mm^3/s), de julio de 1971 intermitente hasta diciembre de 1995.
Datos meteorológicos (CNA)	El Chiflón, 19°37'N, 104°34'O. Datos mensuales de temperatura máxima, temp. mínima, temp. media, precipitación y evaporación, durante el periodo de 1954 al 2006. Apazulco 19°18'N, 104°53'O. Datos mensuales de temperatura máxima, temp. mínima, temp. media, precipitación y evaporación, durante el periodo de 1961 al 2006.
Datos de Concesión de Aguas subterráneas (CNA)	Concesiones de pozos para extracción en el acuífero Miguel Hidalgo, Región Hidrológica 15.
Datos meteorológicos de las Estaciones Automáticas EMA-SMN	Estación río Tomatlán (temperatura, viento, lluvia, radiación solar, humedad, presión, intervalo 10min. Abril 2000 a octubre 2007)

Datos meteorológicos recopilados por el IMTA, ERIC III[10]

Nombre estación	*Localización*	*Altitud*	*Periodo*
Cuitzmala, La Huerta	104.783°O, 19.383°N	30m	Jun. 1955 a dic. 1995
La Huerta, La Huerta	104.650°O, 19.467°N	340m	Oct. 1953 a dic. 2000
Purificación, (Villa)	104.633°O, 19.717°N	458m	Jun. 1955 a dic. 1990
La Cofradía, Purificación	104.817°O, 19,700°N		Jul. 1965 a ene. 1990
El Chiflón, Cihuatlán	104.883°O, 19.300°N	500m	Jul. 1954 a dic.2004
Purificación (DGE)	104.567°O, 19.717°N	458m	Oct. 1941 a nov. 2003
Higuera Blanca, Tomatlán	104.167°O, 19.733°N	50m	Abr. 1955 a dic. 2004
Tomatlán, Tomatlán	104.267°O, 19.993°N	35m	Ene. 1940 a dic. 2003

*De cada uno de estos puntos se dispone de los datos diarios de temperatura observada, temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación y evaporación. Para más detalles de la base de datos utilizada, véase el anexo 4.

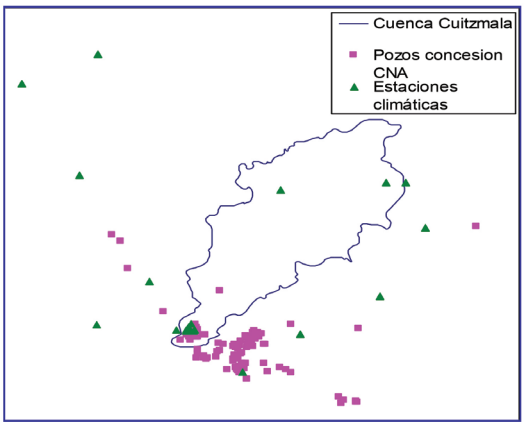


Figura 8. Mapa de la ubicación de los puntos con cuyos datos se cuenta y de los que tienen concesión de aprovechamiento de agua subterránea.

10. Nota de referencia: los datos del programa ERIC III fueron integrados y editados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). La coordinación y recopilación de información estuvo a cargo del doctor René Lobato, con la colaboración de la licenciada Rita Vázquez del Mercado. La información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de la Comisión Nacional del Agua, a través del ingeniero Alejandro González Serratos. El diseño e implementación de la presente edición la llevó a cabo el ingeniero Marco A. Sosa Chiñas.

Tabla 9
Cuadro comparativo de los niveles de pozos existentes
en la cuenca de Cuitzmala

Núm.	*Nombre del pozo*	*Localización*	*Elevación NTN* [msnmm]*	*Elevación NTN. Lecho Río [msnmm]*	*Diferencia Eleva. NTN/ Eleva. Lecho Negativo*	*Ubicado respeto al lecho del río*	*Nivel estático [msnmm]*	*Diferencia NTN y NE*
1.	Noria Sra. Gargollo	Las Huertas	13.69	8.171	5.519	Margen derecha	10.69	-3.000
2.	Noria Sra. Gargollo	Bodegas	11.254	6.560	4.694	Margen derecha	9.27	-1.984
3.	Pozo 1-2 Careyes	Río Cuitzmala	11.150	6.243	4.907	Margen derecha	7.350	-3.800
4.	Pozo 1-1 Careyes	Río Cuitzmala	10.900	6.188	4.712	Margen derecha	6.400	-4.500
5.	Pozo 2 El Faro	Río Cuitzmala	8.875	5.749	3.121	Margen derecha	5.370	-3.400
6.	Pozo 3 Farallón	Río Cuitzmala	8.760	4.816	3.954	Margen derecha	6.070	-2.805

* NTN: nivel terreno natural, en metros sobre el nivel medio del mar (msnmm).
* NE: nivel estático, respecto al nivel del suelo.

Metodología

El ciclo hidrológico es un proceso constante en el que el agua circula del mar a la tierra y de la tierra al mar; pasa por la atmósfera mediante los procesos de evaporación, condensación y precipitación, así como por el suelo con la infiltración y el escurrimiento.

Retomando de manera general y bajo tal estructura se realiza el cálculo. El proceso se inicia con la energía solar, principalmente sobre los océanos, originando la evaporación (cuando el agua pasa de líquido a gas). Luego, el proceso atmosférico de la condensación —contrario a la evaporación—, donde la humedad contenida en el aire pasa de gas a líquido formando nubes, nieblas o precipitación, que es la caída de agua. Para la cuenca Cuitzmala, los sistemas meteorológicos son favorables en cuanto a los flujos de viento (anexo 4), éstas se verán favorecidas por la lluvia. La mayor parte del agua que se precipita escurre y forma las corrientes fluviales y otra parte se infiltra para alimentar las corrientes subterráneas, hasta que finalmente regresa al mar.

Para realizar la cuantificación de la disponibilidad de agua, se siguió la norma NOM-011-CNA-2000, que dicta "el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales". La cual se describe con la siguiente expresión para la disponibilidad de agua superficial (ecuación 1) y agua subterránea (ecuación 2). Además debido a las características de los datos disponibles, se utilizó también el método indirecto (ecuación 3).

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA HIDROLÓGICA = VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA HACIA AGUAS ABAJO - VOLUMEN ANUAL ACTUAL COMPROMETIDO AGUAS ABAJO (1)

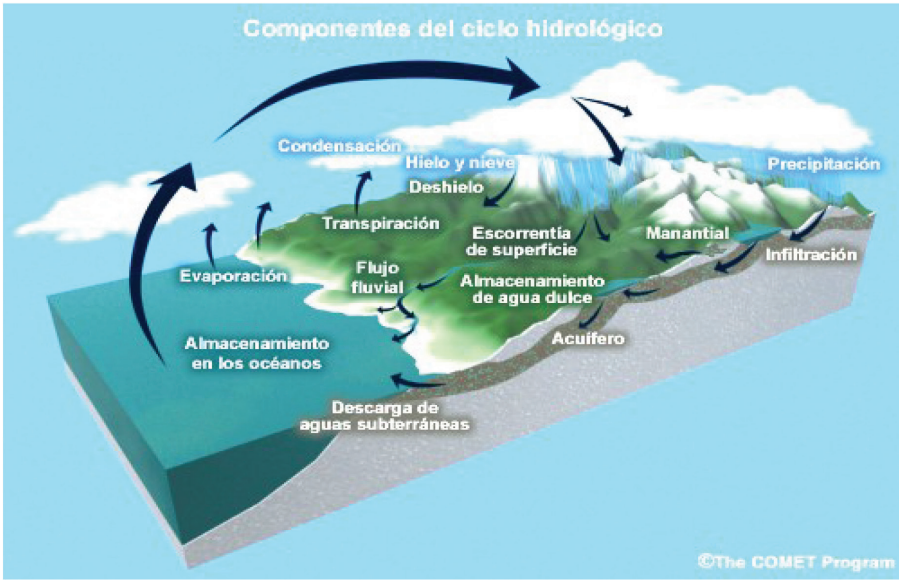


Figura 9. Esquema de la circulación del agua a lo largo del ciclo hidrológico.

$$\text{DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA EN UNA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA} = \text{RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL} - \text{DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA} - \text{VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUA SUBTERRÁNEA} \quad (2)$$

La evaluación de cada uno de estos parámetros se hizo De acuerdo con la información y datos históricos disponibles que se describieron con anterioridad. Debido a que éstos no permiten hacer los cálculos adecuados, se utilizó el método indirecto (citado en la misma norma):

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL} = \text{PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA} * \text{ÁREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO} \quad (3)$$

Combinando las ecuaciones antes descritas, de acuerdo con las características de la cuenca Cuitzmala, redefinimos las ecuaciones sin romper el concepto de continuidad y la estructura del ciclo hidrológico.

Disponibilidad media anual de agua	=	Entrada de Agua Cuenca x Precipitación Anual Media	–	Evapotranspiración en época de lluvia	–	Volumen anual de escurrimiento natural	–	Volumen concesionado de Agua Subterránea

(4)

De acuerdo con esta última fórmula, los términos se calcularon de manera diferente en virtud de las características de los datos.

Procesamiento de datos de precipitación y mapas de isoyetas

Se obtuvieron los promedios mensuales de los datos de precipitación de las 12 estaciones disponibles (anexo 5) y se trabajó con los promedios de los acumulados anuales para trazar los mapas y realizar el cálculo indicado por la ecuación (4). Esto con ayuda de los programas de Idrisi Andes, Surfer 8, Matlab y Excel. Los mapas generados a partir de los datos base se interpolaron mediante el método de mapeo objetivo con ayuda del Matlab, los cuales se analizaron y se obtuvieron así los promedios ponderados. Este método se utilizó para generar los mapas de temperatura mensual, precipitación mensual y los mapas generados por cada uno de los métodos de evapotranspiración que se describen más adelante.

Cálculo del volumen de escurrimiento anual natural

Para el cálculo del segundo término de la ecuación 4, recurrimos a la ecuación 3. Este proceso se realizó a partir de los datos enlistados en el anexo 3. Los cuales se obtuvieron con mapas realizados por el Inifap y con ayuda del programa de Idrisi Andes para el cruce de información.

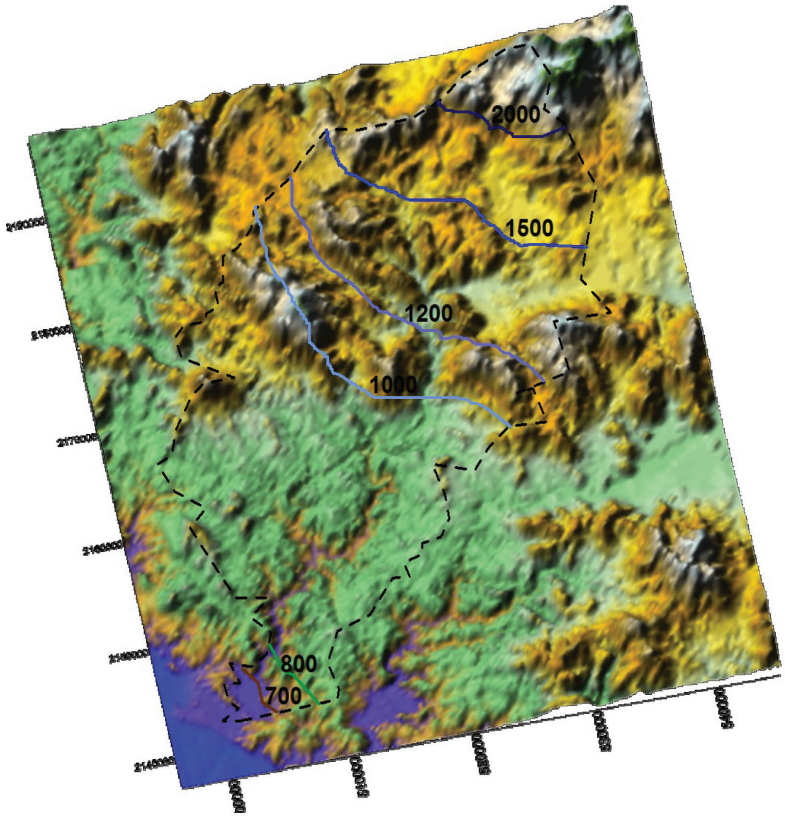


Figura 10. Mapa de las líneas isoyetas sobre la cuenca de Cuitzmala (SPP). Las flechas indican la pendiente del terreno.

Este procedimiento permite sacar un promedio ponderado de cada uno de los términos de acuerdo al área, tal como se cita en la norma.

Método para calcular la evapotranspiración en época de lluvia

A este tercer término se dedicó especial atención debido a que, por su magnitud, es equiparable con la precipitación. En comparación a estos términos, las cantidades por extracción son menores. Por tal motivo se

utilizaron tres fórmulas diferentes, las más recomendadas por los especialistas en esta área.

La evapotranspiración es el segundo término en importancia en un balance hidrológico, después de la precipitación, e incluso el primero para zonas áridas o semiáridas. En la actualidad no existe una metodología para medirla a escala de cuenca, por lo que se tiene que estimar a partir de modelos matemáticos de simulación. Estos modelos han sido el resultado de la combinación de diversas teorías, como el balance de energía, transferencia de masa, interpretaciones a partir de las condiciones climáticas, etc. Sin embargo, persiste la dificultad para modelar la evapotranspiración, ya que implica tener que representar los complejos procesos climáticos en una forma más simple. Por ello se ha dado origen a numerosos métodos y fórmulas que buscan estimar la evapotranspiración potencial o real (Subramanya, 1986; Jackson *et al.*, 1983; Aparicio, 1997).

Tabla 10
Fórmulas existentes para calcular la evapotranspiración

Núm.	*Fórmula de:*	*Medidas necesarias*	*Otros datos*
1.	Thornthwaite	Temperatura	Requiere información más detallada de las horas sol al día y días al mes
2.	Penman	Temperatura, horas reales de sol, velocidad del viento, humedad relativa	Requiere de otros parámetros necesarios ya reportados en tablas
3.	Hargraeves	Temperatura y humedad relativa	Método teórico

Debido a que en estas tres fórmulas el principal parámetro de dependencia es la temperatura, presentamos las temperaturas promedio mensuales de cada una de las estaciones disponibles.

Tabla 11

Promedios mensuales de temperatura de cada una de las estaciones disponibles

	Lugar	*Prom.*	*Ene.*	*Feb.*	*Mar.*	*Abr.*	*May.*	*Jun.*	*Jul.*	*Ago.*	*Sep.*	*Oct.*	*Nov.*	*Dic.*	*Máx.*	*Mín.*
1	Río Tomatlán	26	24	24	25	25	27	27	27	27	27	27	25	24		
2	Apazulco	26	23	23	23	24	26	29	29	29	28	28	26	25	36	16
3	El Chiflón	26	23	24	25	26	28	29	28	28	27	27	26	24	37	15
4	Cuitzmala, La Huerta	21	16	15	16	18	21	24	25	24	24	23	21	19	31	19
5	El Chiflón, Cihua.	20	16	15	16	18	21	24	23	23	23	23	20	18	34	18
6	Higuera Blanca	20	17	16	16	17	20	24	24	24	24	23	21	18	32	19
7	La Cofradía, Purf.	20	16	17	17	20	21	22	22	21	22	21	19	17	32	16
8	La Huerta, La Huerta	20	15	15	17	19	21	24	23	23	22	22	19	17	33	18
9	Purificación (gde)	20	16	16	18	19	22	24	23	22	22	22	19	17	33	17
10	Purificación (villa)	23	20	20	21	23	24	25	25	25	24	24	22	21	34	20
11	Tomatlán, Tom.	21	18	17	18	19	22	25	25	25	24	24	21	19	34	19
12	Chamela	29	24	22	22	23	25	27	27	27	27	26	25	24	30	19
	Promedio ponderado	*21.5*	18.4	18.2	19.0	20.7	22.3	24.0	24.1	23.7	23.6	23.2	21.0	19.4	*34*	*18*

La fórmula de Penman requiere de más parámetros meteorológicos, por esta razón se utilizaron los datos reportados por la Estación Meteorológica Automática en Río de Tomatlán, manejada por el SMN. Esto debido a que la correlación entre los parámetros de este punto y los que se generaron dentro de la cuenca fue significativa.

Tabla 12
Tabla de datos meteorológicos de viento, humedad relativa, radiación solar y presión

	Prom.	*Ene.*	*Feb.*	*Mar.*	*Abr.*	*May.*	*Jun.*	*Jul.*	*Ago.*	*Sep.*	*Oct.*	*Nov.*	*Dic.*	*Unidad*
Viento	7	6	7	8	9	9	8	7	7	7	6	6	6	Km/h
Humedad relativa	80	80	74	70	68	70	82	86	89	91	89	85	80	%
Radiación solar	223	172	233	266	288	272	230	233	236	213	202	174	140	W/m^2
Presión	994	997	997	995	987	994	994	996	995	993	995	995	996	Mb

A partir de estos datos se aplicaron las fórmulas con ayuda del programa de Matlab 6.2 y Excel. Después de generar las matrices de la evapotranspiración se interpolaron los datos espacialmente para obtener los mapas con ayuda del programa Surfer 8 (Anexo 5 y 6).

1. Fórmula de Thornthwaite

Es una expresión empírica desarrollada en el Oeste de EU. Usa solamente la temperatura promedio mensual y un factor de ajuste L_a. La fórmula se describe:

$$EVP = 1.6 \cdot L_a \left(\frac{10 \cdot T_{prom}}{I_T} \right) \cdot a \qquad (4)$$

Donde: *EVP* = Evapotranspiración potencial mensual [cm], L_a = Ajuste para el número de horas de brillo solar y días en el mes, relacionado con

la latitud (tabla 13), *Tprom* = Temperatura promedio mensual [°C] y I_T = Suma del valor promedio del índice para los 12 meses del año, el cual se calcula De acuerdo con:

$$I_T = \sum \left(\frac{T_{prom}}{5} \right)^{1.514} \qquad (5)$$

a es una constante empírica que se calcula de la siguiente forma:

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I_T^3 - 7.71 \times 10^{-5} I_T^2 + 1.792 \times 10^{-2} I_T + 0.49239 \qquad (6)$$

Tabla 13
Factor de ajuste L_a para la ecuación de Thornthwaite

Latitud(N)	*E*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	*N*	*D*
0°	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
10°	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
15°	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
20°	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
25°	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
30°	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
40°	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81

Corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol:

$$\text{ETP} = \text{ETP}_{\text{sin corr.}} \frac{N}{12} \frac{d}{30} \qquad (7)$$

Donde: ETP = Evapotranspiración potencial corregida, N = Número máximo de horas de sol (tabla 14), dependiendo del mes y de la latitud y d = Número de días del mes.

Tabla 14
Valores promedios de horas de sol, N

Latitud (N)	*E*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	*N*	*D*
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
10°	11.6	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.6	12.4	12.9	11.9	11.7	11.5
20°	11.1	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.7	14.1	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
40°	9.6	10.7	11.9	13.2	14.4	15.0	14.7	13.8	12.5	11.2	10.0	9.4
50°	8.6	10.1	11.8	13.8	15.4	16.4	16.0	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1

2. Fórmula de Penman

En 1948, Penman combinó el método de balance de energía con el de transferencia de masas, obteniendo la ecuación para calcular la evaporación desde una superficie de agua abierta, con condiciones climatológicas estándar. La fórmula se describe como:

$$EVP = \frac{\left(A \cdot H_n + E_a \gamma\right)}{\left(A + \gamma\right)} \qquad (8)$$

Donde: EVP = Evapotranspiración diaria [mm], γ = Constante psicométrica [0.49 mm Hg/°C], A = Pendiente de la curva presión de vapor vs. temperatura del aire (tabla 15), según la siguiente ecuación de e_w = La presión de vapor en mm de mercurio [mm Hg /°C] y se evalúa

$$e_w = 4.584 * \left(\frac{12.27 * T_{prom}}{237.3 + T_{prom}}\right) \qquad (9)$$

Donde: $Tprom$ = La temperatura promedio [°C].

Tabla 15
Valores de ew y A para algunas temperaturas usuales

T ° C	e_w *(mm de Hg)*	*A (mm/°C)*
0.0	4.58	0.30
5.0	6.54	0.45
7.5	7.78	0.54
10.0	9.21	0.60
12.5	10.87	0.71
15.0	12.79	0.80
17.5	15.00	0.95
20.0	17.54	1.05
20.4	20.65	1.24
25.0	23.76	1.40
27.5	27.54	1.61
30.0	31.82	1.85
32.5	36.68	2.07

H_n = La radiación neta [mm de agua evaporable por día] y se estima así:

$$EVP = \frac{\left(A * \left\{ H_a(1+r) \cdot \left(a + b\left(\frac{n}{N}\right)\right) - \sigma T_a^4 \left(0.56 - 0.092\sqrt{E_a}\right)\left(0.10 + 0.90\left(\frac{n}{N}\right)\right) + E_a\gamma \right\}\right)}{(A+\gamma)}$$

$$H_n = H_a(1+r)\left(a + b\left(\frac{n}{N}\right)\right) - \sigma T_a^4 \left(0.56 - 0.092\sqrt{E_a}\right)\left(0.10 + 0.90\left(\frac{n}{N}\right)\right) \quad (10)$$

Donde: H_a = es la radiación solar [mm de agua evaporable por día] (función de la latitud y del periodo del año, tabla 6), r = Es el coeficiente de reflexión solar (albedo).

Éste depende de la vegetación y del tipo de terreno. Algunos valores de *r* son los siguientes:

Superficie	Albedo
Agua	0.05 – 0.12
Arbustos	0.15 – 0.25
Tierra	0.05 – 0.45
Nieve	0.45 – 0.90

Tabla 16

Valores promedios mensuales de H_a, en mm de agua evaporable por día

Latitud (N)	*Ene.*	*Feb.*	*Mar.*	*Abr.*	*May.*	*Jun.*	*Jul.*	*Ago.*	*Sep.*	*Oct.*	*Nov.*	*Dic.*
0°	14.5	15.0	15.2	14.7	13.9	13.4	13.5	14.2	14.9	15.0	14.6	14.3
10°	12.8	13.9	14.8	15.2	15.0	14.8	14.8	15.0	14.9	14.1	13.1	12.4
20°	10.8	12.3	13.9	15.2	15.7	15.8	15.7	15.3	14.4	12.9	11.2	10.3
30°	8.5	10.5	12.7	14.8	16.0	16.5	16.2	15.3	13.5	11.3	9.1	7.9
40°	6.0	8.3	11.0	13.9	15.9	16.7	16.3	14.8	12.2	9.3	6.7	5.4
50°	3.6	5.9	9.1	12.7	15.4	16.7	16.1	13.9	10.5	7.1	4.3	3.0

a = Es una constante que depende de la latitud ϕ (para la cuenca de Cuixmala se tomo $\phi = 19.66°$) se expresa como

$$a = 0.29 \cos \phi \qquad (11)$$

Donde: b = Es una constante que tiene un valor promedio de 0.52, n = El número de horas de brillo solar, N = El máximo número de horas de brillo solar, que depende de la latitud y de la época del año (tabla 14), σ = Constante de Stefan–Botzman = 2.01×10^{-9} mm/d, T_a = La temperatura media del aire en grados Kelvin (T °K= 273 + T°C), e_a *y* e_w = Son presiones de vapor del aire y del agua, respectivamente. e_w dada en mm de *Hg* (tabla 15), E_a = Es el parámetro que tiene en cuenta la velocidad del viento y el déficit de saturación, el cual se expresa:

$$E_a = 0.35 (1 + (u_2 / 160)) e_w - e_a) \qquad (12)$$

La u_2 es la velocidad del viento a dos metros de la superficie, en km/día.

3. Fórmula de Hargreaves

Tiene la siguiente forma:

$$EVP = 0.34\ RS\ (0.40+0.024Temp)(1.35\ \sqrt{(1-HR)})(1+(0.04*Alt\ /1000) \quad (13)$$

Donde EVP es la evapotranspiración potencial (cm/d), RS es la radiación solar expresada en (mm de agua evaporable por día), HR es la humedad relativa en decimales, Alt es la altitud en metros y Temp es la temperatura promedio (ºC). Esto De acuerdo con lo recomendado por la Universidad de Agronomía de Chapingo.

Volumen concesionado de agua subterránea

A partir de la base de datos proporcionada por la CNA, con los datos generales de las concesiones de derecho de aprovechamiento de agua subterránea del acuífero Miguel Hidalgo, dentro de la cual se encuentra la cuenca Cuitzmala. Se identificaron los puntos que se encuentran dentro de la zona de la cuenca y se utilizó la suma de las concesiones anuales. Se discutirá el resultado de este cálculo con lo reportado en el DOF 04012008.

Descripción de la dinámica atmosférica que propicia los fenómenos antes descritos

Es importante mencionar y discutir la dinámica atmosférica de la zona, pues es la que describe el patrón de las condiciones para que haya un buen aporte o ingreso de agua a la región. Por ello se anexa (4) una descripción de cómo es que el buen ingreso de agua a esta cuenca depende de la dinámica atmosférica.

La cuenca hidrológica de Cuitzmala es fuertemente favorecida con precipitaciones por el paso de un ciclón tropical (CT). Un ejemplo de ello ocurre el 5 de septiembre de 1999 cuando en 24 horas se registraron 236 mm, causados por la influencia del flujo de una depresión tropical que días después alcanzaría la categoría de huracán llamado Grez; dicha cantidad en tan sólo un día representa aproximadamente una tercera parte de lo que se registra a lo largo de un año en la parte baja de la cuenca. Realmente, la toma de datos pluviométricos en la zona es escasa y se necesitan más registros; sobre todo cuenca arriba, donde los niveles de lluvia son superiores desde el pie de monte hasta picos altos de la sierra de Cacoma. Los niveles de precipitación en la cuenca son altos relativamente en comparación a otras zonas, desafortunadamente gran parte de estas precipitaciones se pierden en el mar. Sociedades en otras partes del mundo, con un tercio de las precipitaciones que se registran en Cuitzmala, no tienen problemas de abastecimiento del vital líquido.

La costa de Jalisco es frecuentemente amenazada por ciclones tropicales. La mayoría de ellos provienen de los mares del Pacífico Sur mexicano, que es la zona ciclogenética más activa del mundo (Cornejo-López, 2005). Esta zona puede verse amenazada por dichos fenómenos en cualquier mes dentro de la temporada ciclónica. Sin embargo, la probabilidad aumenta al final de la temporada (aproximadamente en octubre), fecha en que los flujos del Oeste se fortalecen y propician una recurva en los ciclones tropicales que los hace impactarse principalmente en los estados del Noroeste del país (Jáuregui, 2003; Cornejo-López, 2005). La costa de Jalisco no está exenta de un impacto directo de un ciclón tropical; y conforme crezca el manto urbano, se requiere prevención ante estos eventos.

Resultados

Para determinar la disponibilidad media anual de agua, se calculó cada una de las cantidades que se describen en la ecuación 4 (abajo). Se seguirá el orden de los términos. Es decir: primero la precipitación, luego evapotranspiración potencial mediante cada uno de los tres métodos, el volumen anual de escurrimiento natural, el cual será afectado por los datos de evapotranspiración, pues una parte del agua que entra a la cuenca se escurre, otra se infiltra y otra se evapotranspira. Finalmente se restará el volumen concesionado y así se obtendrá el volumen de disponibilidad media anual de agua.

Disponibilidad media anual de agua	=	**Entrada de agua cuenca x precipitación anual media**	–	**Evapotranspiración en época de lluvia**	–	**Volumen anual de escurrimiento natural**	–	**Volumen concesionado de agua subterránea**

Resultado del cálculo de agua que entra por precipitación

Se presentan los promedios de los acumulados anuales y mensuales. En el historial de los registros de precipitación no se identifican periodos secos o húmedos. La línea de la tendencia (polinomial de tercer grado) en la gráfica de la figura 13, tampoco muestra periodos con diferencias significativas.

Tabla 17

Precipitación promedio mensual de las estaciones en la región de la Cuenca Cuitzmala

	Lugar	*Suma*	*Ene.*	*Feb.*	*Mar.*	*Abr.*	*May.*	*Jun.*	*Jul.*	*Ago.*	*Sep.*	*Oct.*	*Nov.*	*Dic.*
1	El Chiflón	*1,394.3*	29	6	4	4	12	191	309	301	333	159	34	17
2	Apazulco	*862.8*	30	4	1	1	7	93	156	178	242	110	35	20
3	Chamela	*756.2*	37	5	2	1	7	91	126	157	229	76	28	12
4	Río Tomatlán	*950.7*	19	11	4	0	3	121	249	225	227	81	9	1
5	Cuitzmala , La Huerta	*769.5*	28	3	5	0	7	78	134	163	200	88	36	27
6	La Huerta, La Huerta	*977.3*	21	4	5	15	31	133	204	194	233	90	28	19
7	Purificación (villa)	*1,681.3*	27	8	2	5	14	224	396	394	381	170	35	26
8	La Cofradía, Purificación	*1,168.5*	23	6	11	4	0	111	272	297	260	97	37	50
9	El Chiflón, Cihuatlán	*1,427.1*	33	6	5	4	13	195	319	298	342	160	30	21
10	Purificación (gde)	*1,655.5*	15	5	4	3	20	227	374	380	396	182	31	17
11	Higuera Blanca, Tomatlán	*666.1*	28	6	5	3	10	65	105	153	170	67	30	25
12	Tomatlán, Tomatlán	*831.3*	18	6	4	13	3	86	170	197	204	84	25	19
	Promedio ponderado	1,177	26	6	6	3	8	136	259	276	280	113	33	31

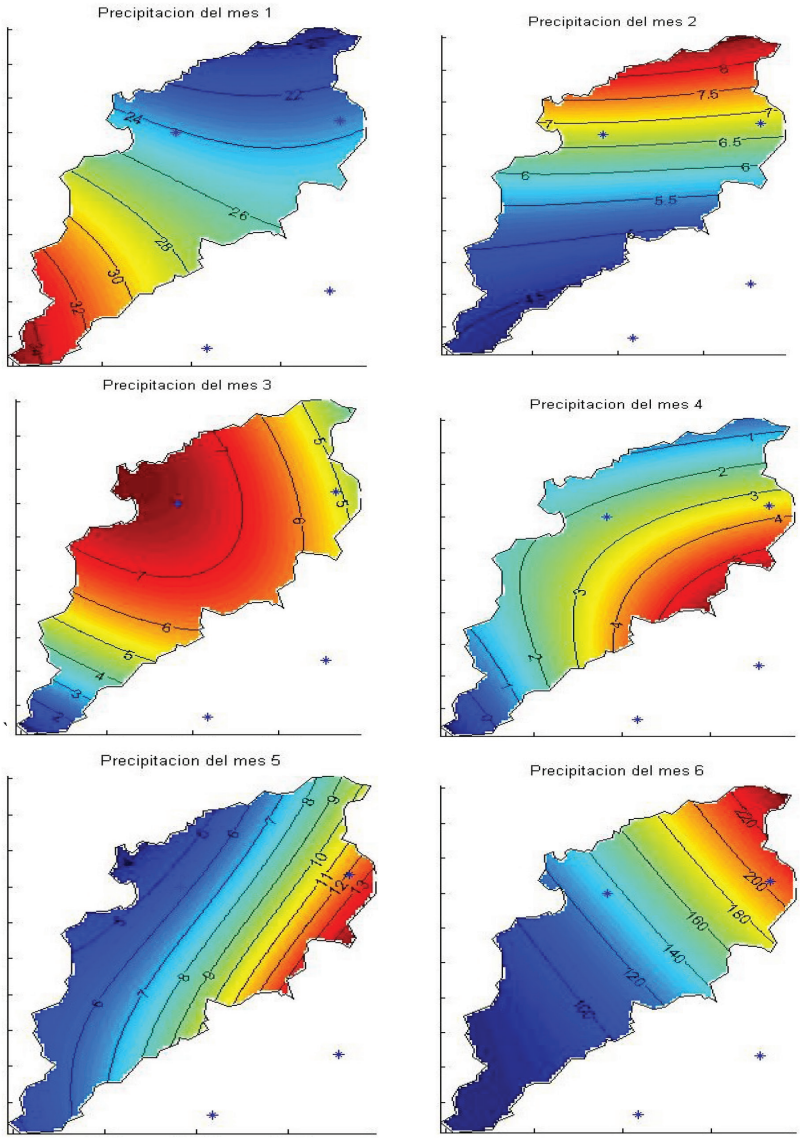


Figura 11. Mapas de precipitación promedio mensual [mm], de enero a junio, de la cuenca Cuitzmala, de acuerdo con los datos disponibles.

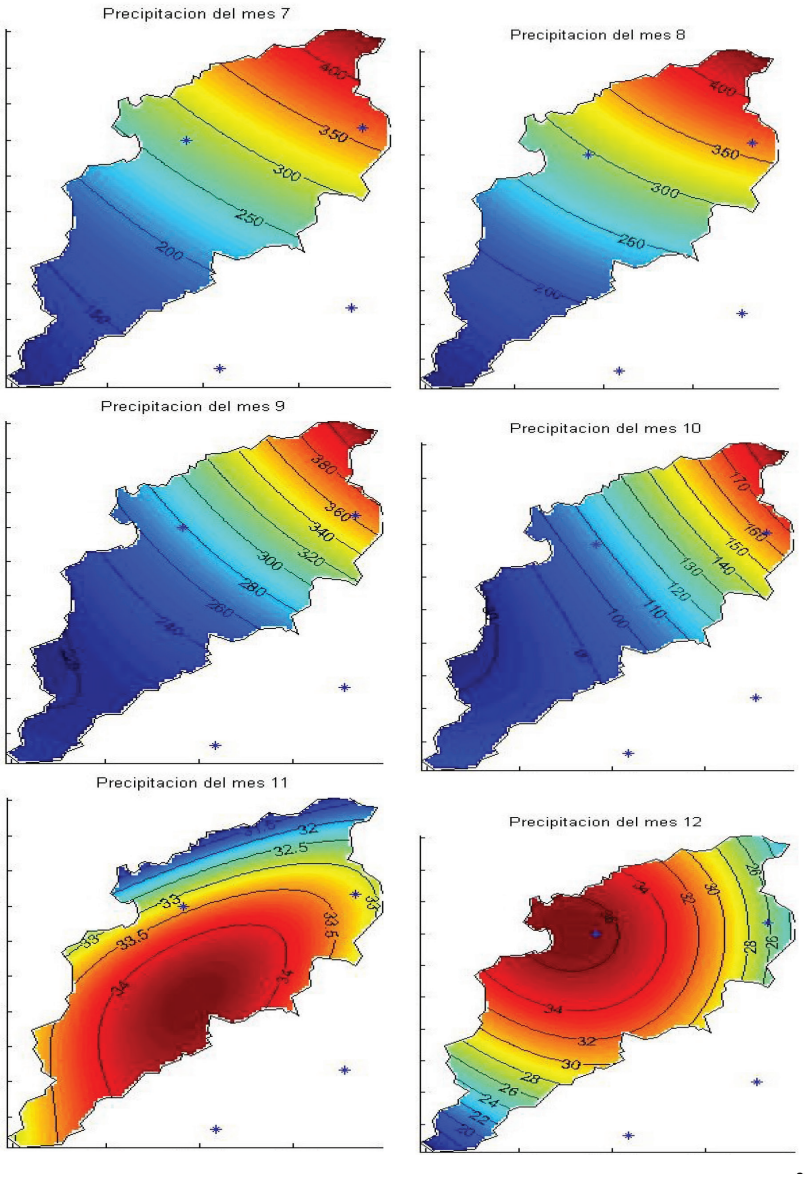


Figura 12. Mapas de precipitación promedio mensual [mm], de julio a diciembre, de la cuenca Cuitzmala, de acuerdo con los datos disponible.

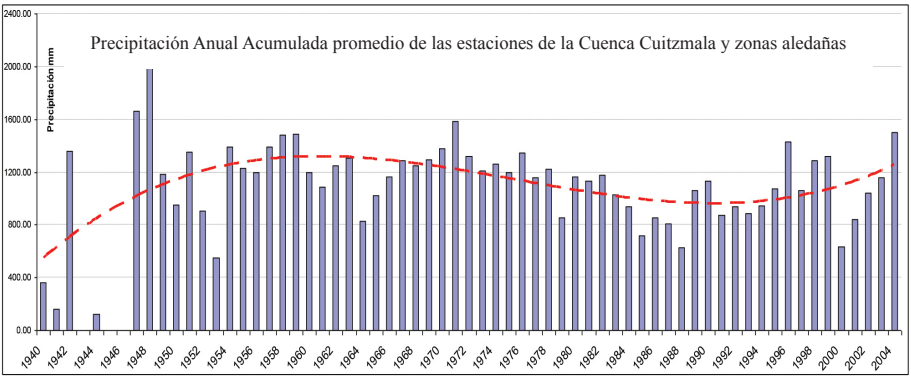


Figura 13. Precipitación anual promedio de las diversas estaciones localizadas dentro de la cuenca de Cuitzmala y zonas aledañas.

Cálculo de la evapotranspiración en época de lluvia

De acuerdo con los cálculos realizados por cada uno de los tres métodos (Thornthwaite, Penman y Hargraeves) en cada una de las estaciones, se interpolaron los datos para obtener los mapas mensuales de cada uno de los métodos. A partir de estos últimos se obtuvieron los promedios ponderados, los cuales están reportados en la siguiente tabla.

Tabla 18

Resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial (EVP) mediante cada uno de los tres métodos descritos y la precipitación para tener referencia

	Ene.	*Feb.*	*Mar.*	*Abr.*	*May.*	*Jun.*	*Jul.*	*Ago.*	*Sep.*	*Oct.*	*Nov.*	*Dic.*	*Suma*
Precipitación	26.0	6.1	6.1	2.6	7.8	135.8	258.9	276.4	280.1	112.9	33.5	31.0	1,177
Thornthwaite	44.9	42.5	62.5	79.8	114.3	134.6	142.1	129.5	108.5	100.4	66.7	55.4	1,081
Penman	47.0	61.1	108.8	127.5	157.7	113.5	99.0	95.9	69.5	61.9	43.0	45.8	1,031
Hargraeves	60.4	69.9	95.4	110.0	118.1	93.9	84.0	73.7	60.2	59.8	56.2	58.3	940

Estas fórmulas calculan la evapotranspiración potencial, es decir el poder evaporante de la atmósfera. De existir suficiente agua disponible en superficie, ésta sería la cantidad que se trasmitiría a la atmósfera en forma de vapor. Así que procedemos a realizar el cálculo de la precipitación, menos la evapotranspiración potencial mensual de cada uno de los métodos.

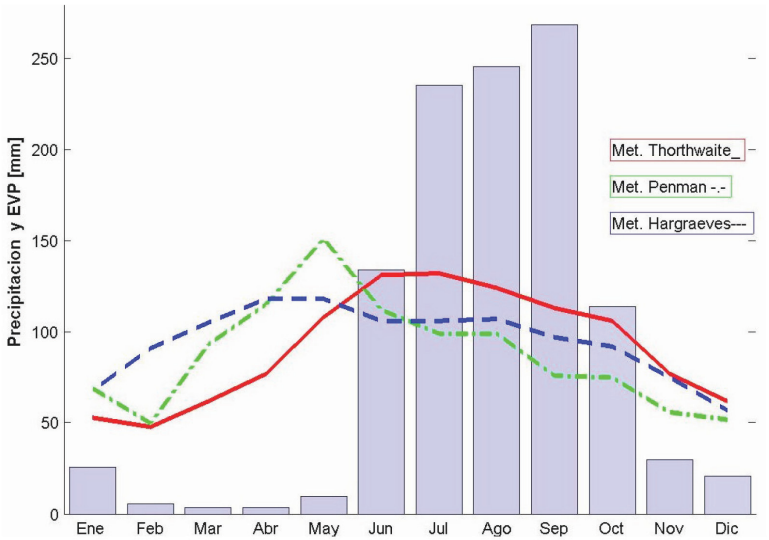


Figura 14. Gráfica en que se muestra la precipitación y evapotranspiración potencial (tres métodos diferentes), promedios mensuales.

A la precipitación total se le resta la precipitación disponible, lo que da como resultado la evapotranspiración en mm, que al multiplicarse por el área de la cuenca nos da el volumen evapotranspirado.

Tabla 19

Resultado de la precipitación menos la evapotranspiración potencial

	Ene.	*Feb.*	*Mar.*	*Abr.*	*May.*	*Jun.*	*Jul.*	*Ago.*	*Sep.*	*Oct.*	*Nov.*	*Dic.*	*Suma precipitación disponible mm*
Precipitación - Thornthwaite	-18.9	-36.4	-56.4	-77.2	-106.6	1.2	116.8	146.9	171.6	12.4	-33.2	-24.4	*449.0*
Precipitación - Penman	-21.0	-55.0	-102.7	-124.8	-149.9	22.3	159.9	180.5	210.6	51.0	-9.6	-14.8	*624.2*
Precipitación - Hargraeves	-34.4	-63.9	-89.3	-107.4	-110.3	41.9	174.9	202.7	219.9	53.1	-22.8	-27.4	*692.4*

Nota: se suman sólo los resultados positivos, ya que el agua en una parte escurre y en otra se infiltra, alimentando los mantos acuíferos.

El volumen total que entra a la cuenca menos el volumen evapotranspirado nos da el volumen disponible que multiplicado por el coeficiente de escurrimiento superficial nos da el volumen anual de escurrimiento natural.

Tabla 20

Cálculo del volumen evapotranspirado, de acuerdo a cada uno de los métodos utilizados

	Precipitación [mm]	*Suma de los valores positivos de la Prec- EVT. [mm] Ingreso neto*	*Evapotranspiración EVT [mm]*	*Área [km²]*	*Volumen anual evapotranspirado Mm³*
Thornthwaite	1,177	449.0	728.0	1,071.18	852.49
Penman		624.2	552.8		647.31
Hargraeves		692.4	484.6		567.49

Resultado de volumen anual de escurrimiento natural

Siguiendo la metodología propuesta por la norma, se dividió la cuenca de Cuitzmala en subcuencas para un mejor análisis y poder realizar así los promedios ponderados respecto al área. A partir del mapa digital de elevaciones y del mapa de hidrografía y con ayuda del programa Idrisi Kilimanjaro, se obtuvo el mapa de subcuencas (figura 17), a partir de la cual se obtienen los siguientes datos: área, coeficiente de escurrimiento, precipitación, cantidad de agua que entra en cada cuenca y el volumen de escurrimiento, de cada una de las subcuencas para un análisis más detallado (anexo 3). Al final se encuentra la suma del área total de la cuenca, el promedio del coeficiente de escurrimiento superficial (11.25%, 25.63% y 40%), la precipitación anual promedio (1,177mm); multiplicando estos tres últimos, se calcula la entrada y el volumen escurrido de agua.

Sin embargo, para considerar también la evapotranspiración, de acuerdo con los resultados de la tabla 19 y con el coeficiente de escurrimiento natural, se calculó el volumen anual de escurrimiento natural. Debido a que no coinciden los valores del coeficiente de escurrimiento de diferentes autoridades —la CNA y el INEGI consideran un coeficiente promedio de 11.25%, mientras que el Inifap, un valor promedio de 40%—, se decidió utilizar ambos y además el promedio. El resultado, utilizado en la ecuación cuatro, serán los de arrojados con el coeficiente 40% por ser el menos favorable para la disponibilidad de agua.

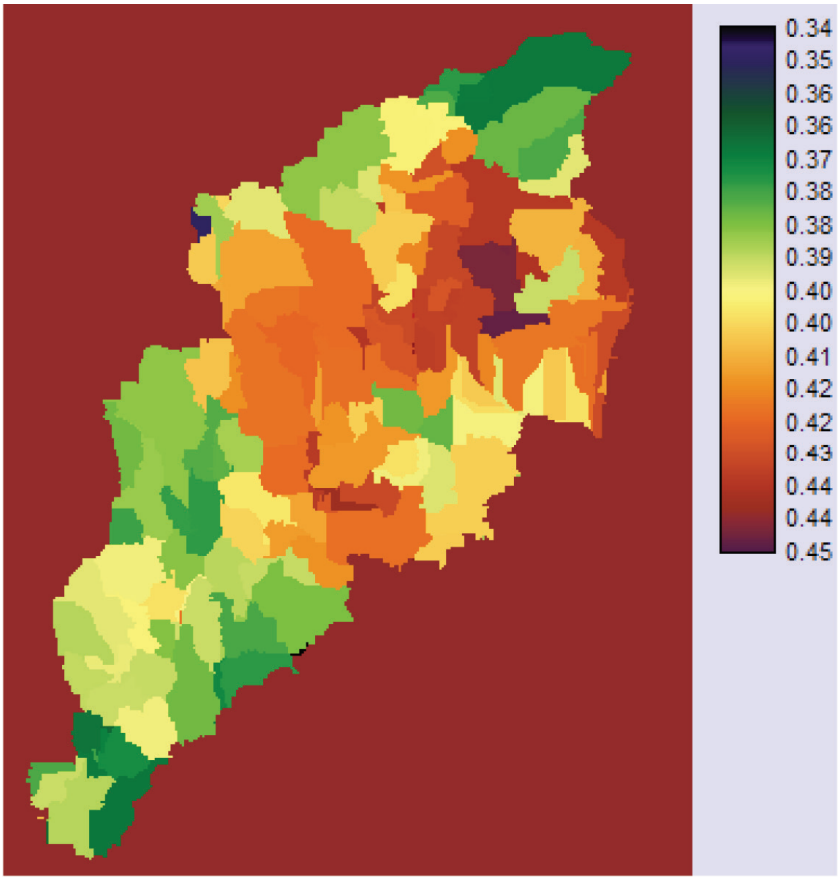


Figura 15. Coeficiente de escurrimiento superficial para cada una de las subcuencas de la cuenca Cuitzmala. La escala va de 0-1: entre más cercano sea a cero, mejor es la filtración, y conforme se acerca a 1 es muy impermeable.

Tabla 21
Resultado del método indirecto del volumen anual de escurrimiento natural (de acuerdo con cada uno de los métodos utilizados y referidos a la tabla anterior)

Área [Km²]	*Ingreso neto [m]*	*Volumen ingreso anual Mm³*	*Coef. escurrimiento*	*Vol. escurre Mm³*
1071	0.449	481.0	0.1125	54.11
			0.2563	123.25
			0.4000	192.38
	0.6242	668.6	0.1125	75.22
			0.2563	171.34
			0.4000	267.45
	0.6924	741.7	0.1125	83.44
			0.2563	190.06
			0.4000	296.67

Para realizar el cálculo de la tabla anterior, primeramente se multiplicó el área (1,071.18 km²) por la capa de volumen de agua que ingresa (mm), que es la precipitación menos la evapotranspiración. Aparecen tres datos, pues son los tres métodos que utilizamos. Este resultado es el volumen anual que ingresa a la cuenca [Mm³], de la cual una parte se escurre y el resto se filtra. Para ello se multiplica por el valor de coeficiente de escurrimiento superficial y nos reporta el volumen de escurrimiento anual [Mm³]. Valor que ingresaremos a la ecuación 4. Esto De acuerdo con los datos obtenidos de los mapas y los coeficientes contemplados por la NOM-011-CNA-2000.

Tabla 22
Volumen promedio anual del agua que se filtra a los acuíferos (Mm^3)

Área [Km2]	*Ingreso neto [mm]*	*Volumen ingreso anual Mm3*	*Coef. escurrimiento*	*Vol. escurre Mm3*	*Vol. filtra a los acuíferos Mm^3*
1071	0.449	481.0	0.1125	54.11	426.85
			0.2563	123.25	357.71
			0.4000	192.38	288.58
	0.6242	668.6	0.1125	75.22	593.41
			0.2563	171.34	497.29
			0.4000	267.45	401.18
	0.6924	741.7	0.1125	83.44	658.25
			0.2563	190.06	551.63
			0.4000	296.67	445.01

Volumen concesionado de agua subterránea

De acuerdo con la base de datos con que se cuenta, se graficó e identificaron los puntos que se encuentran dentro de la cuenca. Como resultado se obtuvo que el aprovechamiento total de agua subterránea concesionada es de 0.646 Mm^3 (millones de metros cúbicos) anuales.

Debido a que la cantidad calculada, de acuerdo con lo indicado en la NOR-011-CNA-2000 de extracciones comprometidas (0.645 Mm^3), es muy pequeña, se realizó la suma de todas las concesiones otorgadas en el acuífero Miguel Hidalgo (todos los pozos representados con asteriscos en la figura 16) resulta una suma de 4.56Mm^3. Sin embargo, de acuerdo con lo publicado en el *DOF* de fecha 040108, en el que reporta que existe una extracción de 11Mm^3. Por lo que se tomará esta última cantidad para realizar el cálculo de la ecuación 4.

Resultado total

Debido a que el método para calcular la evapotranspiración es de los más cuestionables, aquí se dejan los tres resultados.

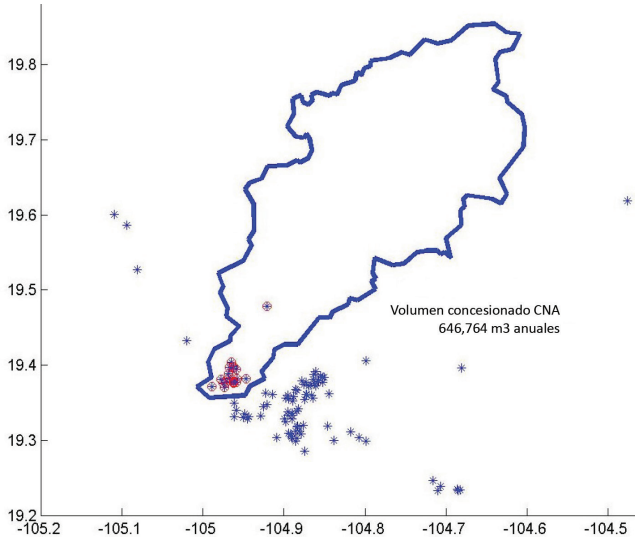


Figura 16. Los asteriscos representan la localización donde existe concesión de aprovechamiento de agua subterránea (no hay registros de aprovechamiento de agua superficial) De acuerdo con la CNA (2008). Los asteriscos encerrados en un círculo son los que se encuentran dentro de la cuenca Cuitzmala, de los cuales la suma es 646,763m^3=0.65 Mm^3.

Disponibilidad media anual de agua [Mm^3]	*Entrada de agua Cuenca x precipitación anual media [Mm^3]*	*Volumen anual de escurrimiento natural [Mm^3]*	*Evapotranspiración en época de lluvia [Mm^3]*	*Volumen concesionado de agua subterránea [Mm^3]*
	1,071.18Km^2*	192.38	852.49	11.000
204.90	1,177mm			
		267.45	647.31	
335.01	***1,260.77Mm^3***			
		296.67	567.49	
385.61				

Cualquiera de los tres resultados es superior a la recarga anual estimada por la CNA.

Discusiones

De acuerdo con las publicaciones del INEGI (*Est. Hidr. Jal*, 2000) en las que se hace un estudio de la hidrología de Jalisco, se encuentra información de la cuenca río Cuitzmala. Aunque la cuenca se encuentra en los municipios de Purificación y La Huerta, sus zonas geohidrológicas (o mantos de agua subterránea) se conocen como La Huerta y —como ya se comentó— forman parte de un gran acuífero subterráneo que la CNA denomina Miguel Hidalgo.

Hasta el año 2000 estaban inventariados 90 aprovechamientos, de los cuales 58 eran pozos y 32 norias. Todos de excelente calidad química del agua para uso potable (inferior a 278 ppm de sólidos totales disueltos), la recarga anual estimada por la CNA es de 57 Mm^3; la extracción mediante bombeo es de 11 Mm^3 lo que representa menos de 20% de la recarga anual del acuífero. Es decir, se encuentra en estado de sub-explotación.

Del volumen extraído, 91% (10% de la recarga estimada) se destina a la agricultura, no existen grandes extensiones de tierra con ese destino que puedan requerir a futuro algún volumen importante. El 6% se destina al uso público urbano (660,000 m^3/año), por lo que un crecimiento inducido y acelerado como consecuencia de desarrollos turísticos en la zona de Careyes, Chamela, Emiliano Zapata y Francisco Villa, podrán requerir en los próximos 50 años un máximo estimado de 5.1 Mm^3, lo que representaría menos de 10% de la recarga anual estimada por la CNA. Considerando que los desarrollos turísticos de baja densidad proyectados en la zona dentro del plan de desarrollo sustentable que autoriza el municipio de la Huerta, requerirían una cantidad a largo plazo, proyección muy optimista, del orden de 6.4 Mm^3 para este fin; este requerimiento a futuro representa aproximadamente otro 11.23% de la recarga anual es-

timada por la CNA. El restante 3% de la extracción mediante bombeo de los 11 Mm^3 anual, se utiliza en actividades industriales, domésticas y de abrevadero, las cuales a largo plazo no demandarán porcentajes importantes de consumos. Por lo anteriormente indicado, el volumen proyectado a 50 años es del orden de 35% de la recarga anual estimada por la CNA, inferior a los resultados obtenidos en este estudio, queda evidente que en general la región de la zona Geohidrológica de la Huerta perdurará de manera permanente en una situación de subexplotación.

La cuenca del río Cuitzmala —como se muestra en las tablas de los registros (balance hidrológico)— da como resultado en el escenario más desfavorable como volumen que se filtra a los acuíferos la cantidad de 288.58 Mm^3 anuales (tabla 22), por lo que se deduce que el cálculo estimado por la CNA como recarga está muy moderado ya que representa menos de 20% de los valores obtenidos en el presente estudio, lo que garantiza a largo plazo la disponibilidad de este recurso a la comunidad y los desarrollos turísticos proyectados para esta zona.

Tomando en cuenta lo publicado por la CNA en el *Diario Oficial* el 4 de enero de 2008, la disponibilidad superficial del río Cuitzmala es de 232.36 Mm^3. Este gran volumen que no se aprovecha cuenca arriba, alimenta la zona de depósitos aluviales que se localizan en las 420 ha de terrenos planos de la margen derecha del río Cuitzmala donde se ubican diversas explotaciones para uso agrícola y turístico.

En la parte baja de la cuenca se tiene una condición muy favorable para la contención de las aguas superficiales. Además de un lago en la parte Noroeste del terreno en cuestión, que permiten que los niveles freáticos durante todo el año se mantengan de tres msnmm debajo de la superficie del terreno en época de lluvias y hasta seis metros en la temporada seca.

Existe la seguridad de que el espesor de los rellenos de aluvión, por la profundidad de las perforaciones de los pozos en explotación y otros ya ademados en la misma zona, es de 40 metros, teniendo la información publicada por la CNA de que el espesor probable de los rellenos de aluvión en ese sitio sean de 75 m.

Debido a esta información probada, se tiene un almacenamiento de un volumen estimado de 16.8 Mm^3 de agua ya que en las 420 ha existentes por las perforaciones realizadas de 40 m y considerando que 10% de

ese volumen es el porcentaje de vacíos llenos de agua almacenada obtenemos la cantidad anteriormente mencionada. En caso de que el análisis se haga con la información del espesor de los rellenos de 75 m, publicada por la CNA, la cantidad de agua almacenada alcanzaría la cifra de 31.5 millones de metros cúbicos por lo que la disponibilidad de ese almacenamiento a largo plazo para los proyectos autorizados por el municipio de la Huerta de no utilizarse, se seguirá perdiendo anualmente.

De acuerdo con el relato de las personas que manejan la explotación de norias y pozos de poca profundidad indica que lo que se ha realmente explotando durante los últimos 30 años es el acuífero superficial, ya que no ha sido necesario perforar a mayores profundidades. El motivo es porque la cantidad actualmente explotada genera conos de abatimientos del orden de 250 metros de diámetro con un máximo de 2.00 metros de abatimiento al final de la temporada del periodo seco; esto De acuerdo con mediciones directas en campo. Demostrando con esto que las concesiones otorgadas por la CNA son adecuadas y las extracciones son pequeñas respecto a la disponibilidad, pues no ocasionan riesgo alguno para seguir con la extracción proyectada para continuar con el plan de desarrollo de la zona, autorizado por el municipio de la Huerta.

Conclusiones

1. De acuerdo con los datos analizados en el presente estudio, la precipitación promedio anual es de 1,177 mm, y considerando que la superficie de la cuenca es de 1,071.18 Km^2, es decir, la cantidad de agua que entra en forma de lluvia es en promedio de 1,260.77Mm^3.
2. Los estudios efectuados por la empresa francesa Burgeap en 1972 para tres cuencas, entre ellas la del río Cuitzmala, con la finalidad realizar un aprovechamiento, confirman el pronóstico de la disponibilidad de agua a más de treinta años de su estudio.
3. El comportamiento del acuífero de la margen derecha del río Cuitzmala, después de más de 30 años de extracciones, ha sido adecuado por los siguientes motivos:
   a) Las cotas de los niveles freáticos (como se ve en el registro de las tablas 5, 6 y 7) que se encuentran entre los 3 a 6 msnmm.
   b) Los niveles estáticos obtenidos en los meses de abril, mayo y junio 2008 demuestran la gran capacidad de recarga del acuífero subterráneo.
4. Los niveles dinámicos en la peor condición de estiaje disminuyen menos de dos metros con respecto al nivel estático (véanse tablas 5, 6 y 7).
5. La recuperación del nivel dinámico hacia el estático se logra en periodos de menos de 24 horas aún en época de estiaje.
6. De acuerdo con lo publicado en el *Diario Oficial* y a la NOM-011-CNA, la disponibilidad de agua superficial del río Cuitzmala es de 232.36 Mm^3 anuales lo que permite durante todo el año la recarga del acuífero en explotación y que desafortunadamente no es utilizada para el desarrollo sustentable de la zona.

7. La margen derecha del río Cuitzmala, actualmente en explotación, pertenece a un gran acuífero denominado Miguel Hidalgo; aunque no se conoce con certeza su extensión, al menos por la zona comprendida de los pozos estudiados, el nivel estático se encuentra por encima de los tres metros sobre el nivel del mar.
8. La disponibilidad superficial total de los ríos que están en la región hidrológica número 15, de acuerdo con la CNA (*DOF* 040108), es de 3'063,000 m3/año lo que demuestra que en la región existe una muy importante recarga del acuífero subterráneo.

Recomendaciones

- Monitorear y cuidar la vegetación en la cuenca, pues de ella depende en gran medida la filtración del agua para recargar los acuíferos; al no haber una suficiente cobertura vegetal, el coeficiente de escurrimiento puede aumentar y con ello la pérdida de agua, lo que impide la posibilidad de aprovechar la vasija natural que es el acuífero.
- Crear una red meteorológica para la cuenca Cuitzmala, para un mejor conocimiento y aprovechamiento.
- Continuar monitoreando mensualmente los niveles estáticos y dinámicos de los pozos.
- Muestreo y monitoreo para la calidad del agua (confirmar que no hay intrusión salina).
- Formar un consejo o asociación civil en la población involucrada en el acuífero.
- Coadyuvar o participar en el Plan de Desarrollo Urbano.
- Planear que en la zona se cumpla con el concepto de turismo sostenible que se define como: “un modelo de desarrollo económico concebido para mejorar la calidad de la comunidad receptora (comunidad local), para facilitar al visitante una experiencia de alta calidad y mantener la calidad del medio ambiente del que tanto la comunidad anfitriona como los visitantes dependen”.

Referencias

Barrera Rodríguez, Rosier Omar y Zaragoza Vargas, Fernando (1999). Semades Jalisco, "Geomorfología del estado de Jalisco. Proyecto. Ordenamiento ecológico del estado. Las estructuras del relieve del estado de Jalisco. http://semades.jalisco.gob.mx/moet/SubsistemaNatural/GeologiaYGeomorfologia/sintgeo.htm. Visitada en mayo 2008.

Bourguet L. (1972). Club Méditerranée, "Etude Hydrogéologique pour L'Alimentation en Eau du Village Proteje a Playa Blanca (Jalisco) Mexique". R. 74-E. 226. 29 de febrero de 1972, pp. 73.

Bullok, S.H., 1986. Climate of Chamela, Jalisco and Trenes in the South Coastal Region of México. Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Ser.B. Vol. 36, pp. 297-316.

CEA-Jalisco. http://www.ceajalisco.gob.mx/municipios/huerta.html.

Ceballos G., A. Szekely, A. García, P. Rodríguez y F. Noguera, 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuitzmala. Instituto Nacional de Ecología, Semarnap, México, DF.

Cervantes Borja, J. F. y G. Alfaro Sánchez, 1998. "La ecología del paisaje en el contexto del desarrollo sustentable: ordenamiento ecológico de la región de La Pesca, Tamaulipas, México". En Salinas Chávez, E. y J. Middleton. *La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable en América Latina*.

CNA/FAO, 1991. Comisión Nacional del Agua de México/Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991. Informe de la misión al país, Estados Unidos Mexicanos. Programa Internacional sobre Agua y Desarrollo Agrícola Sostenible. FAO, Roma, 1991. Paolo Bifani, Medio Ambiente y Desarrollo, p. 367.

CNA, 2002. Determinación de la disponibilidad de Agua en el Acuífero La Paz, Estado de Baja California. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, pp. 18, México, DF. 30 de abril del 2002.

Cornejo-López, Víctor Manuel, 2005 "Influencias de los ciclones tropicales en las variables oceanográficas en el Pacífico oriental". Tesis de maestría en Ciencias de la Tierra. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. Diciembre 2005

Delegido, J.; Caselles, V.; Hurtado, E., 1991. "Determinación a escala regional de la evapotranspiración". En S. Gandía, J. Meliá (Eds.), La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura. Curso de Postgrado, Universitat de Valencia. Estudio General. Departamento de Termodinámica. Unidad de Investigación de Teledetección.

Diario Oficial, 04-01-2008. Acuerdo en el que se da a conocer resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales. Segunda Sección. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 04 de enero del 2008.

Est. Hidrol. Edo. Jal., INEGI, 2001. Estudio Hidrológico del Estado de Jalisco, Realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Gobierno de Jalisco, pp. 100.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and Drain Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 1998. http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm.

Gómez-Pompa, A., 1988. The Cuixmala-Cumbres-El Jabalí Ecological Project. Reporte inédito.

González-Ruelas, María Elena, 2000. "Estructura termohalina de las aguas, corrientes y ondas internas de la costa occidental de México". Tesis de doctorado. Universidad de Colima. Septiembre 2000, pp. 140.

INEGI 2005, II Conteo de Población y Vivienda 2005.

Instituto Nacional de Ecología. Manejo de Áreas Protegidas. http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/2/chamela.htm

IUCN, Suiza.

Jáuregui, E., 2003. Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico". *Atmósfera*, Vol. 16, pp. 193-204.

Kustas, W. P. y Norman, J. M., 1996. "Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces". *Hydrological Sciences. Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol. 41, pp. 495-516.

Llorens, P., 2003. "La evaluación y modelización del balance hidrológico a escala de cuenca". *Ecosistemas* 12 (1). Enero 2003 http://www.revistaecosistemas.net /articulo.asp?Id=237

Mapa http://semades.jalisco.gob.mx/moet/assets/pdf/mapas/v_lahuerta.pdf.

NOM-011-CNA-2000. "Conservación del Recurso, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales". Semarnat, Norma Oficial Mexicana aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, en sesión celebrada el 4 de mayo de 2000, pp. 22.

Székely, Alberto, 2003. Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR), Compilador: Alberto Székely. 20 de octubre de 2003. Instituto de Ecología, UNAM, pp. 29.

Secretaría de Programación y Presupuesto SPP, 1995. Mapa de las isoyetas de Precipitación (1:1'000,000), obtenido a partir de los promedio de los datos obtenidos durante 1921 a 1975, publicado por la antigua Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), tarea que ahora está a cargo del INEGI.

Anexo 1. Vértices de los puntos que delimitan la cuenca Cuitzmala (*DOF*-04-01-2008)

Vértice	*Long.*	*Lat.*
5B-16	-104.989	19.384
5B-15	-104.993	19.405
5B-14	-104.986	19.421
5B-13	-104.966	19.432
5B-12	-104.966	19.439
5B-11	-104.955	19.452
5B-10	-104.971	19.465
5B-9	-104.969	19.477
5B-8	-104.979	19.497
5B-7	-104.975	19.506
5B-6	-104.981	19.523
5B-5	-104.950	19.539
5B-4	-104.939	19.560
5B-3	-104.943	19.568
5B-2	-104.937	19.579
5B-1	-104.937	19.616
5A-96	-104.948	19.634
5A-95	-104.942	19.643
5A-94	-104.928	19.648
5A-93	-104.920	19.665
5A-92	-104.897	19.666
5A-91	-104.884	19.673
5A-90	-104.880	19.669
5A-89	-104.869	19.676
5A-88	-104.865	19.687
5A-87	-104.868	19.702
5A-86	-104.872	19.708
5A-85	-104.876	19.703
5A-84	-104.885	19.705
5A-83	-104.896	19.718
5A-82	-104.888	19.734
5A-81	-104.889	19.754
5A-80	-104.878	19.759
5A-79	-104.877	19.750
5A-78	-104.870	19.747

Vértice	*Long*	*Lat.*
5A-77	-104.864	19.753
5A-76	-104.866	19.759
5A-75	-104.859	19.763
5A-74	-104.844	19.758
5A-73	-104.841	19.762
5A-72	-104.834	19.760
5A-71	-104.829	19.773
5A-70	-104.812	19.779
5A-69	-104.810	19.790
5A-68	-104.804	19.786
5A-67	-104.801	19.796
5A-66	-104.793	19.798
5A-65	-104.793	19.805
5A-64	-104.770	19.809
5A-63	-104.754	19.816
5A-62	-104.744	19.813
5A-61	-104.726	19.834
5A-60	-104.711	19.828
5A-59	-104.694	19.831
5A-58	-104.673	19.852
5A-57	-104.640	19.854
5A-56	-104.626	19.843
5A-55	-104.609	19.841
6-1	-104.619	19.821
6-2	-104.634	19.817
6-3	-104.639	19.808
6-4	-104.636	19.776
6-5	-104.642	19.767
6-6	-104.626	19.759
6-7	-104.625	19.750
6-8	-104.607	19.735
6-9	-104.603	19.717
6-10	-104.604	19.691
6-11	-104.634	19.649
6-12	-104.625	19.628

Vértice	*Long.*	*Lat.*
6-13	-104.633	19.615
6-14	-104.643	19.622
6-15	-104.674	19.627
6-16	-104.679	19.621
6-17	-104.678	19.611
6-18	-104.682	19.606
6-19	-104.681	19.586
6-20	-104.701	19.569
6-21	-104.694	19.543
6-22	-104.702	19.551
6-23	-104.707	19.548
6-24	-104.711	19.553
6-25	-104.724	19.553
6-26	-104.736	19.551
6-27	-104.752	19.536
6-28	-104.766	19.533
6-29	-104.788	19.543
6-30	-104.791	19.523
6-31	-104.787	19.515
6-32	-104.793	19.512
6-33	-104.788	19.501
6-34	-104.809	19.487
6-35	-104.819	19.489
6-36	-104.821	19.481
6-37	-104.840	19.472
6-38	-104.844	19.463
6-39	-104.858	19.463
6-40	-104.883	19.428
6-41	-104.900	19.428
6-42	-104.912	19.421
6-43	-104.913	19.410
6-44	-104.928	19.392
6-45	-104.924	19.383
6-46	-104.942	19.372
6-47	-104.948	19.360
6-48	-104.993	19.357

Anexo 2. Relación detallada de la base de datos disponibles

Núm.	*Fuente / Ints*	*Tipo*	*Datos*	*Periodo*	*Lapso*	*Lat.*	*Long.*	*Lugar*	*Discretiz*
1	EBCC-UNAM	Climat.	Temp. mín.	12/1977-12/ 2007	30añ	19.4987	-105.0445	Chamela	Diaria
2	EBCC-UNAM	Climat.	Temp. máx.	12/1977-12/ 2008	30	19.4987	-105.0445	Chamela	Diaria
3	EBCC-UNAM	Climat.	Precipitación	12/1977-12/ 2009	30	19.4987	-105.0445	Chamela	Diaria
4	CNA	Hidrométrico	Gasto mín.	08/1953-12/2002	48	19.6167	-104.5333	El Chiflón	Mensual
5	CNA	Hidrométrico	Gasto máx.	08/1953-12/2002	48	19.6167	-104.5333	El Chiflón	Mensual
6	CNA	Hidrométrico	Vol. mensual	08/1953-12/2002	48	19.6167	-104.5333	El Chiflón	Mensual
7	CNA	Hidrométrico	Gasto mín.	07/1971- 12/1995	24.5	19.3833	-104.8333	Cuixmala	Mensual
8	CNA	Hidrométrico	Gasto máx.	07/1971- 12/1995	24.5	19.3833	-104.8333	Cuixmala	Mensual
9	CNA	Hidrométrico	Vol. mensual	07/1971- 12/1995	24.5	19.3833	-104.8333	Cuixmala	Mensual
10	CNA	Climat.	Temp. máx.	1954-2006	52	19.6167	104.5667	El Chiflón	Diaria
11	CNA	Climat.	Temp. mín.	1954-2006	52	19.6167	104.5667	El Chiflón	Diaria
12	CNA	Climat.	Temp. med.	1954-2006	52	19.6167	104.5667	El Chiflón	Diaria
13	CNA	Climat.	Precipitación	1954-2006	52	19.6167	104.5667	El Chiflón	Diaria
14	CNA	Climat.	Evaporación	1954-2006	52	19.6167	104.5667	El Chiflón	Diaria
15	CNA	Climat.	Temp. máx.	1961-2006	45	19.3000	104.8833	Apazulco	Diaria
16	CNA	Climat.	Temp. mín.	1962-2006	45	19.3000	104.8833	Apazulco	Diaria
17	CNA	Climat.	Temp. med.	1963-2006	45	19.3000	104.8833	Apazulco	Diaria
18	CNA	Climat.	Precipitación	1964-2006	45	19.3000	104.8833	Apazulco	Diaria
19	CNA	Climat.	Evaporación	1966-2006	45	19.3000	104.8833	Apazulco	Diaria
20	CNA	ConcsAgSub	Gasto	origen a la fecha		localizados		Acuif MH-Cuenca	Registro
21	EMAS-SMN	Climat.	Temp.	04/2000-10/2007	7.5	19.9986	105.1336	Río Tomat	10 min
22	EMAS-SMN	Climat.	Viento	04/2000-10/2007	7.5	19.9986	105.1336	Río Tomat	10 min
23	EMAS-SMN	Climat.	Precipitación	04/2000-10/2007	7.5	19.9986	105.1336	Río Tomat	10 min
24	EMAS-SMN	Climat.	Radiación sol	04/2000-10/2007	7.5	19.9986	105.1336	Río Tomat	10 min
25	EMAS-SMN	Climat.	Humedad	04/2000-10/2007	7.5	19.9986	105.1336	Río Tomat	10 min

Núm.	*Fuente / Ints*	*Tipo*	*Datos*	*Periodo*	*Lapso*	*Lat.*	*Long.*	*Lugar*	*Discretiz*
26	EMAS-SMN	Climat.	Presión	04/2000-10/2007	7.5	19.9986	105.1336	Río Tomat	10 min
27	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	06/1955-12/1995	40	19.3830	104.7830	Cuitzmala, La Huerta	Diaria
28	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	06/1955-12/1995	40	19.3830	104.7830	Cuitzmala, La Huerta	Diaria
29	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	06/1955-12/1995	40	19.3830	104.7830	Cuitzmala, La Huerta	Diaria
30	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	06/1955-12/1995	40	19.3830	104.7830	Cuitzmala, La Huerta	Diaria
31	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	06/1955-12/1995	40	19.3830	104.7830	Cuitzmala, La Huerta	Diaria
32	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	10/1953-12/2000	47	19.4670	104.6450	La Huerta, La Huerta	Diaria
33	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	10/1953-12/2000	47	19.4670	104.6450	La Huerta, La Huerta	Diaria
34	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	10/1953-12/2000	47	19.4670	104.6450	La Huerta, La Huerta	Diaria
35	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	10/1953-12/2000	47	19.4670	104.6450	La Huerta, La Huerta	Diaria
36	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	10/1953-12/2000	47	19.4670	104.6450	La Huerta, La Huerta	Diaria
37	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	06/1955-12/1990	35	19.7170	104.6330	Purificación (villa)	Diaria
38	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	06/1955-12/1990	35	19.7170	104.6330	Purificación (villa)	Diaria
39	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	06/1955-12/1990	35	19.7170	104.6330	Purificación (villa)	Diaria
40	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	06/1955-12/1990	35	19.7170	104.6330	Purificación (villa)	Diaria
41	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	06/1955-12/1990	35	19.7170	104.6330	Purificación (villa)	Diaria
42	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	07/1965-01/1990	25	19.7000	104.8170	La Cofradía, Purificación	Diaria
43	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	07/1965-01/1990	25	19.7000	104.8170	La Cofradía, Purificación	Diaria
44	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	07/1965-01/1990	25	19.7000	104.8170	La Cofradía, Purificación	Diaria

Núm.	*Fuente / Ints*	*Tipo*	*Datos*	*Periodo*	*Lapso*	*Lat.*	*Long.*	*Lugar*	*Discretiz*
45	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	07/1965-01/1990	25	19.7000	104.8170	La Cofradía, Purificación	Diaria
46	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	07/1965-01/1990	25	19.7000	104.8170	La Cofradía, Purificación	Diaria
47	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	07/1954-12/2004	50.5	19.6170	104.5670	El Chiflón, Cihuatlán	Diaria
48	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	07/1954-12/2004	50.5	19.6170	104.5670	El Chiflón, Cihuatlán	Diaria
49	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	07/1954-12/2004	50.5	19.6170	104.5670	El Chiflón, Cihuatlán	Diaria
50	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	07/1954-12/2004	50.5	19.6170	104.5670	El Chiflón, Cihuatlán	Diaria
51	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	07/1954-12/2004	50.5	19.6170	104.5670	El Chiflón, Cihuatlán	Diaria
52	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	10/1941-11/2003	62	19.7170	104.6000	Purificación (gde)	Diaria
53	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	10/1941-11/2003	62	19.7170	104.6000	Purificación (gde)	Diaria
54	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	10/1941-11/2003	62	19.7170	104.6000	Purificación (gde)	Diaria
55	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	10/1941-11/2003	62	19.7170	104.6000	Purificación (gde)	Diaria
56	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	10/1941-11/2003	62	19.7170	104.6000	Purificación (gde)	Diaria
57	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	04/1955-12/2004	49.5	19.7330	105.1670	Higuera Blanca, Tomatlán	Diaria
58	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	04/1955-12/2004	49.5	19.7330	105.1670	Higuera Blanca, Tomatlán	Diaria
59	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	04/1955-12/2004	49.5	19.7330	105.1670	Higuera Blanca, Tomatlán	Diaria
60	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	04/1955-12/2004	49.5	19.7330	105.1670	Higuera Blanca, Tomatlán	Diaria
61	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	04/1955-12/2004	49.5	19.7330	105.1670	Higuera Blanca, Tomatlán	Diaria
62	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp.	01/1940-12/2003	64	19.9330	105.2670	Tomatlán, Tomatlán	Diaria
63	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. mín.	01/1940-12/2003	64	19.9330	105.2670	Tomatlán, Tomatlán	Diaria

Núm.	*Fuente / Ints*	*Tipo*	*Datos*	*Periodo*	*Lapso*	*Lat.*	*Long.*	*Lugar*	*Discretiz*
64	ERICIII-IMTA	Climat.	Temp. máx.	01/1940-12/2003	64	19.9330	105.2670	Tomatlán, Tomatlán	Diaria
65	ERICIII-IMTA	Climat.	Precipitación	01/1940-12/2003	64	19.9330	105.2670	Tomatlán, Tomatlán	Diaria
66	ERICIII-IMTA	Climat.	Evaporación	01/1940-12/2003	64	19.9330	105.2670	Tomatlán, Tomatlán	Diaria
67	OJEDA INC	Topográfico	Pozo 1	Jun-08	0.003	19.3947	104.9781	Acuif MH-Cuenca	Única
68	OJEDA INC	Topográfico	Pozo 2	Jun-08	0.003	19.3949	104.9780	Acuif MH-Cuenca	Única
69	OJEDA INC	Topográfico	Pozo Farallón	Jun-08	0.003	19.3944	104.9806	Acuif MH-Cuenca	Única
70	OJEDA INC	Topográfico	Pozo	Jun-08	0.003	19.3926	104.9972	Acuif MH-Cuenca	Única
71	OJEDA INC	Topográfico	Pozo 3	Jun-08	0.003	19.3907	104.9806	Acuif MH-Cuenca	Única
72	OJEDA INC	Topográfico	Pozo 4	Jun-08	0.003	19.3909	104.9809	Acuif MH-Cuenca	Única
73	OJEDA INC	Topográfico	Noria Bodegas	Jun-08	0.003	19.3958	104.9776	Acuif MH-Cuenca	Única
74	OJEDA INC	Topográfico	Noria	Jun-08	0.003	19.4004	104.9766	Acuif MH-Cuenca	Única
75	OJEDA INC	Topográfico	Pozo Monjas	Jun-08	0.003	19.4076	104.9721	Acuif MH-Cuenca	Única
76	OJEDA INC	Topográfico	Noria Las Huertas	Jun-08	0.003	19.4055	105.1363	Acuif MH-Cuenca	Única
77	OJEDA INC	Topográfico	Noria Tier Ejidal	Jun-08	0.003	19.3928	104.9670	Acuif MH-Cuenca	Única
78	OJEDA INC	Topográfico	Pozo Rancho	Jun-08	0.003	19.3915	104.9673	Acuif MH-Cuenca	Única

Anexo 3. Datos de las subcuencas de la cuenca Cuitzmala, coeficientes de escurrimientos y volumen escurrido

Sub-cuenca	*Área [km²]*	*Precip [m]*	*Vol. entra [mm³]*	*Coeficiente de Escurrimiento Sup %*			*Volumen Escurr. Sup Anual [m³]*		
				INIFAP	*CNA*	*prom*	*x INIFAP*	*x CNA*	*x prom*
1	33.342	1.093	36.443	0.3670	0.1125	0.2398	13.375	4.100	8.737
2	3.734	1.109	4.141	0.3730	0.1125	0.2428	1.545	0.466	1.005
3	2.863	1.104	3.161	0.3670	0.1125	0.2398	1.160	0.356	0.758
4	21.282	1.117	23.772	0.3790	0.1125	0.2458	9.010	2.674	5.842
5	1.913	1.134	2.169	0.3770	0.1125	0.2448	0.818	0.244	0.531
6	13.345	1.183	15.787	0.3970	0.1125	0.2548	6.267	1.776	4.022
7	0.028	1.097	0.031	0.3660	0.1125	0.2393	0.011	0.003	0.007
8	5.313	1.136	6.036	0.3970	0.1125	0.2548	2.396	0.679	1.538
9	13.932	1.197	16.677	0.3840	0.1125	0.2483	6.404	1.876	4.140
10	9.945	1.130	11.238	0.3770	0.1125	0.2448	4.237	1.264	2.750
11	4.483	1.152	5.164	0.4150	0.1125	0.2638	2.143	0.581	1.362
12	7.225	1.189	8.591	0.3930	0.1125	0.2528	3.376	0.966	2.171
13	13.881	1.200	16.657	0.3830	0.1125	0.2478	6.380	1.874	4.127
14	3.131	1.188	3.720	0.4280	0.1125	0.2703	1.592	0.418	1.005
15	20.263	1.262	25.572	0.4340	0.1125	0.2733	11.098	2.877	6.988
16	4.868	1.178	5.735	0.4140	0.1125	0.2633	2.374	0.645	1.510
17	3.029	1.189	3.601	0.3920	0.1125	0.2523	1.412	0.405	0.908
18	10.025	1.210	12.130	0.4240	0.1125	0.2683	5.143	1.365	3.254
19	0.492	1.259	0.619	0.4340	0.1125	0.2733	0.269	0.070	0.169
20	10.117	1.163	11.766	0.3890	0.1125	0.2508	4.577	1.324	2.950
21	10.466	1.213	12.695	0.3930	0.1125	0.2528	4.989	1.428	3.209
22	2.522	1.152	2.905	0.4050	0.1125	0.2588	1.177	0.327	0.752
23	5.045	1.204	6.074	0.3860	0.1125	0.2493	2.345	0.683	1.514
24	0.689	1.208	0.832	0.4020	0.1125	0.2573	0.335	0.094	0.214
25	15.001	1.270	19.051	0.4080	0.1125	0.2603	7.773	2.143	4.958
26	0.214	1.139	0.244	0.4340	0.1125	0.2733	0.106	0.027	0.067
27	1.549	1.203	1.863	0.3480	0.1125	0.2303	0.648	0.210	0.429
28	13.831	1.145	15.836	0.4040	0.1125	0.2583	6.398	1.782	4.090
29	20.770	1.150	23.886	0.4210	0.1125	0.2668	10.056	2.687	6.371
30	0.809	1.266	1.024	0.3680	0.1125	0.2403	0.377	0.115	0.246
31	5.174	1.196	6.188	0.4040	0.1125	0.2583	2.500	0.696	1.598
32	9.517	1.199	11.411	0.4310	0.1125	0.2718	4.918	1.284	3.101
33	22.444	1.206	27.067	0.4110	0.1125	0.2618	11.125	3.045	7.085

Sub-cuenca	Área [km²]	Precip [m]	Vol. entra [mm³]	Coeficiente de Escurrimiento Sup %			Volumen Escurr. Sup Anual [m³]		
				INIFAP	CNA	prom	x INIFAP	x CNA	x prom
34	0.419	1.267	0.531	0.4230	0.1125	0.2678	0.225	0.060	0.142
35	3.664	1.153	4.225	0.4160	0.1125	0.2643	1.757	0.475	1.116
36	5.891	1.282	7.552	0.4090	0.1125	0.2608	3.089	0.850	1.969
37	0.360	1.276	0.459	0.4450	0.1125	0.2788	0.204	0.052	0.128
38	6.803	1.282	8.721	0.4460	0.1125	0.2793	3.890	0.981	2.435
39	5.795	1.278	7.406	0.4450	0.1125	0.2788	3.296	0.833	2.064
40	0.352	1.276	0.449	0.4450	0.1125	0.2788	0.200	0.051	0.125
41	10.412	1.286	13.390	0.3900	0.1125	0.2513	5.222	1.506	3.364
42	3.114	1.281	3.989	0.4360	0.1125	0.2743	1.739	0.449	1.094
43	5.657	1.284	7.264	0.4450	0.1125	0.2788	3.232	0.817	2.025
44	4.945	1.152	5.697	0.4010	0.1125	0.2568	2.284	0.641	1.463
45	2.983	1.163	3.469	0.4270	0.1125	0.2698	1.481	0.390	0.936
46	10.944	1.269	13.888	0.4320	0.1125	0.2723	6.000	1.562	3.781
47	0.742	1.195	0.887	0.4100	0.1125	0.2613	0.364	0.100	0.232
48	12.876	1.133	14.589	0.4210	0.1125	0.2668	6.142	1.641	3.891
49	1.041	1.145	1.192	0.4320	0.1125	0.2723	0.515	0.134	0.325
50	6.982	1.199	8.371	0.4190	0.1125	0.2658	3.508	0.942	2.225
51	7.891	1.315	10.377	0.4300	0.1125	0.2713	4.462	1.167	2.815
52	6.263	1.165	7.296	0.4320	0.1125	0.2723	3.152	0.821	1.986
53	1.510	1.164	1.758	0.4330	0.1125	0.2728	0.761	0.198	0.479
54	6.342	1.298	8.232	0.4190	0.1125	0.2658	3.449	0.926	2.188
55	4.061	1.154	4.686	0.4300	0.1125	0.2713	2.015	0.527	1.271
56	0.987	1.145	1.130	0.4260	0.1125	0.2693	0.481	0.127	0.304
57	16.542	1.303	21.554	0.4190	0.1125	0.2658	9.031	2.425	5.728
58	5.079	1.294	6.572	0.4470	0.1125	0.2798	2.938	0.739	1.839
59	30.073	1.164	35.005	0.4200	0.1125	0.2663	14.702	3.938	9.320
60	12.216	1.146	14.000	0.4220	0.1125	0.2673	5.908	1.575	3.741
61	7.964	1.154	9.190	0.4270	0.1125	0.2698	3.924	1.034	2.479
62	7.086	1.172	8.305	0.4130	0.1125	0.2628	3.430	0.934	2.182
63	3.526	1.164	4.104	0.4330	0.1125	0.2728	1.777	0.462	1.119
64	1.423	1.142	1.625	0.4350	0.1125	0.2738	0.707	0.183	0.445
65	3.651	1.298	4.739	0.4160	0.1125	0.2643	1.971	0.533	1.252
66	6.313	1.317	8.314	0.4210	0.1125	0.2668	3.500	0.935	2.218
67	9.865	1.133	11.177	0.4210	0.1125	0.2668	4.706	1.257	2.981
68	9.830	1.180	11.599	0.4060	0.1125	0.2593	4.709	1.305	3.007
69	9.056	1.146	10.378	0.4210	0.1125	0.2668	4.369	1.168	2.768

Sub-cuenca	Área [km²]	Precip [m]	Vol. entra [mm³]	Coeficiente de Escurrimiento Sup %			Volumen Escurr. Sup Anual [m³]		
				INIFAP	CNA	prom	x INIFAP	x CNA	x prom
70	33.591	1.160	38.966	0.3830	0.1125	0.2478	14.924	4.384	9.654
71	6.853	1.315	9.012	0.4050	0.1125	0.2588	3.650	1.014	2.332
72	4.451	1.324	5.893	0.4010	0.1125	0.2568	2.363	0.663	1.513
73	4.047	1.313	5.314	0.3950	0.1125	0.2538	2.099	0.598	1.348
74	3.892	1.182	4.600	0.4150	0.1125	0.2638	1.909	0.518	1.213
75	3.854	1.295	4.991	0.4050	0.1125	0.2588	2.021	0.561	1.291
76	2.849	1.226	3.493	0.4010	0.1125	0.2568	1.401	0.393	0.897
77	2.097	1.304	2.734	0.3930	0.1125	0.2528	1.075	0.308	0.691
78	1.697	1.124	1.907	0.4110	0.1125	0.2618	0.784	0.215	0.499
79	0.530	1.326	0.703	0.4130	0.1125	0.2628	0.290	0.079	0.185
80	7.697	1.156	8.898	0.3800	0.1125	0.2463	3.381	1.001	2.191
81	9.012	1.265	11.400	0.3950	0.1125	0.2538	4.503	1.283	2.893
82	4.742	1.187	5.629	0.3790	0.1125	0.2458	2.133	0.633	1.383
83	7.244	1.162	8.418	0.3780	0.1125	0.2453	3.182	0.947	2.064
84	3.483	1.141	3.974	0.4040	0.1125	0.2583	1.606	0.447	1.026
85	5.368	1.138	6.109	0.4140	0.1125	0.2633	2.529	0.687	1.608
86	7.771	1.140	8.859	0.3810	0.1125	0.2468	3.375	0.997	2.186
87	17.570	1.241	21.804	0.4130	0.1125	0.2628	9.005	2.453	5.729
88	4.976	1.143	5.688	0.3850	0.1125	0.2488	2.190	0.640	1.415
89	8.048	1.182	9.513	0.3860	0.1125	0.2493	3.672	1.070	2.371
90	0.007	1.327	0.009	0.3870	0.1125	0.2498	0.004	0.001	0.002
91	2.456	1.161	2.851	0.3780	0.1125	0.2453	1.078	0.321	0.699
92	2.871	1.232	3.537	0.4340	0.1125	0.2733	1.535	0.398	0.967
93	23.820	1.315	31.323	0.4040	0.1125	0.2583	12.655	3.524	8.089
94	0.016	1.338	0.021	0.3880	0.1125	0.2503	0.008	0.002	0.005
95	10.348	1.239	12.821	0.4210	0.1125	0.2668	5.398	1.442	3.420
96	4.298	1.290	5.544	0.3950	0.1125	0.2538	2.190	0.624	1.407
97	5.235	1.295	6.779	0.4010	0.1125	0.2568	2.719	0.763	1.741
98	8.358	1.310	10.949	0.3920	0.1125	0.2523	4.292	1.232	2.762
99	0.061	1.164	0.071	0.3850	0.1125	0.2488	0.027	0.008	0.018
100	0.133	1.162	0.155	0.3740	0.1125	0.2433	0.058	0.017	0.038
101	10.106	1.155	11.672	0.3740	0.1125	0.2433	4.365	1.313	2.839
102	6.476	1.275	8.257	0.4300	0.1125	0.2713	3.550	0.929	2.240
103	10.282	1.214	12.482	0.4000	0.1125	0.2563	4.993	1.404	3.199
104	0.023	1.316	0.030	0.3860	0.1125	0.2493	0.012	0.003	0.008
105	24.078	1.270	30.579	0.4200	0.1125	0.2663	12.843	3.440	8.142

Sub-cuenca	*Área [km²]*	*Precip [m]*	*Vol. entra [mm³]*	*Coeficiente de Escurrimiento Sup %*			*Volumen Escurr. Sup Anual [m³]*		
				INIFAP	*CNA*	*prom*	*x INIFAP*	*x CNA*	*x prom*
106	8.118	1.129	9.165	0.3850	0.1125	0.2488	3.529	1.031	2.280
107	3.619	1.135	4.108	0.3740	0.1125	0.2433	1.536	0.462	0.999
108	2.437	1.261	3.073	0.4400	0.1125	0.2763	1.352	0.346	0.849
109	1.351	1.252	1.691	0.4260	0.1125	0.2693	0.721	0.190	0.455
110	5.838	1.239	7.233	0.4110	0.1125	0.2618	2.973	0.814	1.893
111	7.960	1.206	9.600	0.4030	0.1125	0.2578	3.869	1.080	2.474
112	4.461	1.119	4.992	0.3750	0.1125	0.2438	1.872	0.562	1.217
113	4.010	1.221	4.896	0.4130	0.1125	0.2628	2.022	0.551	1.286
114	7.114	1.141	8.117	0.3830	0.1125	0.2478	3.109	0.913	2.011
115	3.727	1.297	4.834	0.4040	0.1125	0.2583	1.953	0.544	1.248
116	14.325	1.105	15.829	0.3940	0.1125	0.2533	6.237	1.781	4.009
117	7.888	1.231	9.710	0.4140	0.1125	0.2633	4.020	1.092	2.556
118	0.020	1.321	0.026	0.3860	0.1125	0.2493	0.010	0.003	0.007
119	9.112	1.185	10.798	0.3880	0.1125	0.2503	4.190	1.215	2.702
120	6.497	1.207	7.842	0.3890	0.1125	0.2508	3.050	0.882	1.966
121	0.001	1.248	0.001	0.3960	0.1125	0.2543	0.000	0.000	0.000
122	0.008	1.248	0.010	0.3960	0.1125	0.2543	0.004	0.001	0.003
123	21.927	1.205	26.422	0.3810	0.1125	0.2468	10.067	2.972	6.520
124	13.177	1.078	14.205	0.3930	0.1125	0.2528	5.582	1.598	3.590
125	5.457	1.128	6.155	0.4010	0.1125	0.2568	2.468	0.692	1.580
126	0.760	1.160	0.882	0.3950	0.1125	0.2538	0.348	0.099	0.224
127	10.543	1.155	12.177	0.3900	0.1125	0.2513	4.749	1.370	3.060
128	0.001	1.239	0.001	0.3950	0.1125	0.2538	0.000	0.000	0.000
129	4.996	1.098	5.486	0.3970	0.1125	0.2548	2.178	0.617	1.397
130	11.444	1.170	13.389	0.3760	0.1125	0.2443	5.034	1.506	3.270
131	0.425	1.175	0.499	0.3840	0.1125	0.2483	0.192	0.056	0.124
132	10.535	1.032	10.872	0.3880	0.1125	0.2503	4.218	1.223	2.721
133	0.110	1.149	0.126	0.4200	0.1125	0.2663	0.053	0.014	0.034
134	3.411	1.133	3.865	0.3820	0.1125	0.2473	1.476	0.435	0.956
135	0.367	1.141	0.419	0.3910	0.1125	0.2518	0.164	0.047	0.105
136	17.379	1.116	19.395	0.3800	0.1125	0.2463	7.370	2.182	4.776
137	0.360	1.188	0.428	0.3410	0.1125	0.2268	0.146	0.048	0.097
138	0.230	1.149	0.264	0.3870	0.1125	0.2498	0.102	0.030	0.066
139	3.031	1.059	3.210	0.3940	0.1125	0.2533	1.265	0.361	0.813
140	7.848	1.110	8.711	0.3900	0.1125	0.2513	3.397	0.980	2.189
141	8.919	1.153	10.284	0.3730	0.1125	0.2428	3.836	1.157	2.496

Sub-cuenca	*Área [km²]*	*Precip [m]*	*Vol. entra [mm³]*	*Coeficiente de Escurrimiento Sup %*			*Volumen Escurr. Sup Anual [m³]*		
				INIFAP	*CNA*	*prom*	*x INIFAP*	*x CNA*	*x prom*
142	5.903	1.018	6.009	0.3890	0.1125	0.2508	2.338	0.676	1.507
143	1.498	1.132	1.696	0.3700	0.1125	0.2413	0.627	0.191	0.409
144	0.138	1.172	0.162	0.3730	0.1125	0.2428	0.060	0.018	0.039
145	0.406	1.054	0.428	0.3930	0.1125	0.2528	0.168	0.048	0.108
146	7.641	1.065	8.138	0.3900	0.1125	0.2513	3.174	0.915	2.045
147	0.015	1.145	0.017	0.3810	0.1125	0.2468	0.007	0.002	0.004
148	10.838	1.081	11.716	0.3950	0.1125	0.2538	4.628	1.318	2.973
149	4.518	1.019	4.604	0.3650	0.1125	0.2388	1.680	0.518	1.099
150	0.083	1.108	0.092	0.3670	0.1125	0.2398	0.034	0.010	0.022
151	7.192	1.056	7.595	0.3710	0.1125	0.2418	2.818	0.854	1.836
152	0.203	1.068	0.217	0.3630	0.1125	0.2378	0.079	0.024	0.052
153	0.752	1.059	0.796	0.3690	0.1125	0.2408	0.294	0.090	0.192
154	16.052	1.178	18.909	0.4000	0.1125	0.2563	7.564	2.127	4.845
155	0.166	1.046	0.174	0.3760	0.1125	0.2443	0.065	0.020	0.042
156	1.518	1.037	1.574	0.3670	0.1125	0.2398	0.578	0.177	0.377
157	0.079	1.049	0.083	0.3740	0.1125	0.2433	0.031	0.009	0.020
158	4.730	0.988	4.673	0.3900	0.1125	0.2513	1.823	0.526	1.174
159	12.762	1.028	13.119	0.3660	0.1125	0.2393	4.802	1.476	3.139
160	13.038	1.011	13.181	0.3890	0.1125	0.2508	5.128	1.483	3.305
161	2.838	0.980	2.781	0.3770	0.1125	0.2448	1.049	0.313	0.681
162	1.146	0.985	1.129	0.3740	0.1125	0.2433	0.422	0.127	0.275
163	0.002	0.984	0.002	0.3820	0.1125	0.2473	0.001	0.000	0.000
164	0.001	0.984	0.001	0.3700	0.1125	0.2413	0.000	0.000	0.000
165	0.001	0.984	0.001	0.3850	0.1125	0.2488	0.000	0.000	0.000
166	0.014	0.981	0.014	0.3650	0.1125	0.2388	0.005	0.002	0.003
Total	1,071	1.177	1,265	0.3994	0.1125	0.2559	507.8	142.3	325.0

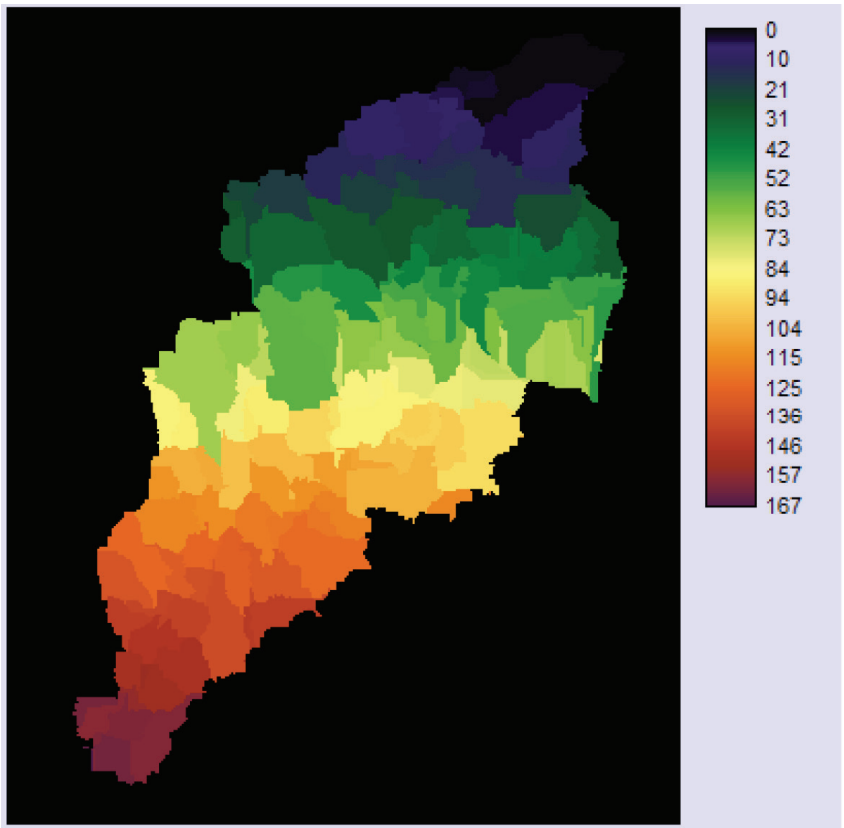


Figura 17. Mapa de subcuencas de la cuenca de Cuitzmala, obtenida a partir del mapa digital de elevación.

Anexo 4. Dinámica atmosférica en la zona costera Suroeste de Jalisco

Ciclones tropicales y huracanes

El temporal de lluvias en nuestra región se debe en gran medida al acercamiento de la zona intertropical de convergencia (ZIC), que parece —vista desde satélite— un gran cinturón que rodea el globo terráqueo muy cercano al ecuador, y que se desplaza de este a Oeste siguiendo el trayecto de los vientos alisios. Durante el periodo seco en nuestra región (de noviembre a abril), dicho cinturón se desplaza al hemisferio Sur propiciando lluvias en Sudamérica, por lo tanto, para ellos, ocurre el periodo húmedo. En cambio en el periodo húmedo para nuestra región (que va de mayo a octubre), dicho cinturón se sitúa aproximadamente en Centroamérica y las lluvias se establecen en más de la mitad Sur de la República Mexicana; en contraste, en Sudamérica sobre la zona intertropical ocurre el período seco (figura 18).

Cuando la ZIC está cerca, la República Mexicana es afectada por sistemas meteorológicos propios del trópico, como las ondas tropicales y los sistemas de baja presión, que en algunos casos logran desarrollarse formando perturbaciones tropicales, áreas convectivas y ciclones tropicales (CT). Las ondas tropicales comúnmente entran a territorio nacional procedentes del Caribe y Golfo de México, posteriormente salen hacia el océano Pacífico y se internan mar adentro, dejando un regado más o menos parejo de lluvias y chubascos aproximadamente por debajo del trópico de cáncer.

Un ciclón tropical es un remolino gigantesco que cubre cientos de miles de kilómetros cuadrados y tiene lugar, primordialmente, sobre los espacios oceánicos tropicales. Cuando las condiciones oceánicas y atmosféricas propician que se genere un ciclón tropical, la evolución y desarrollo de éste puede llegar a convertirlo en huracán. El término "huracán" tiene su origen en el nombre que los indios mayas y caribeños, le daban al dios de las tormentas. Los ciclones tropicales desarrollan vientos en superficie extremadamente fuertes y superiores a los de cualquiera otra perturbación de escala sinóptica tropical o extratropical, excepto los tornados.

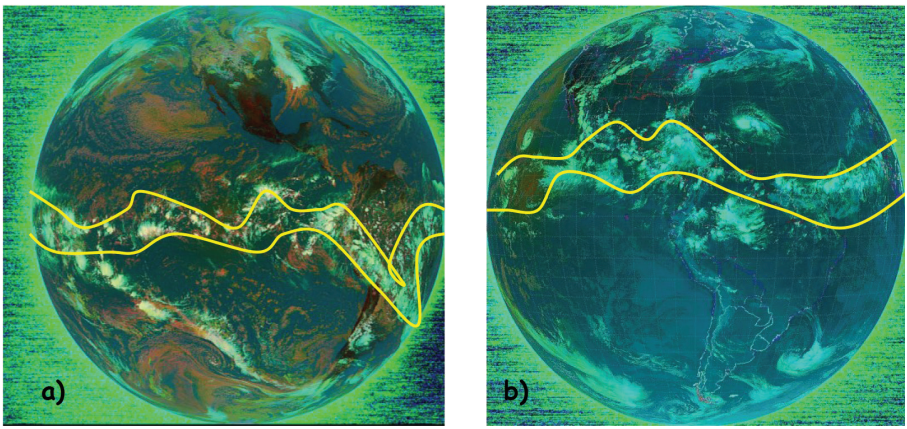


Figura 18. Imagen global GEOS. a) Imagen global del periodo seco (izquierda) y b) del periodo húmedo (derecha). En ambos se aprecia el acercamiento a la ZIC (zona intertropical de convergencia) y de varios sistemas propios del trópico.

Los CT se clasifican según la intensidad de los vientos sostenidos medidos en un minuto: depresión tropical hasta 62 km/h, tormenta tropical de 63 a 117 km/h y cuando alcanzan esta clasificación se les pone un nombre previamente enlistado en orden alfabético y propuesto por los países de la región. Huracán es cuando la velocidad de sus vientos alrededor del centro sobrepasa los 118 km/h.

El nombre de ciclón tropical es genérico, depresión, tormenta y huracán son términos que distinguen los grados de fortaleza que va ganando el organismo. Todos los huracanes son ciclones tropicales, pero no todos los ciclones tropicales llegan a la categoría de huracán, porque gran parte de ellos se disipan antes.

Tabla 23
Escala Zaffir-Simpson para los huracanes

Categoría	*Presión central [Hectopascales]*	*Viento máximo [Km./h]*	*Daños en la zona*	*Marea de tormenta (m)*	*Daño potencial*
1 Normal	> 980	120-153	mínimos	1.2 a 1.5	1
2 Fuerte	965-979	154-176	moderados	1.8 a 2.4	10
3 Muy fuerte	945-964	177-207	extensos	2.7 a3.6	50
4 Gran huracán	920-944	208-249	extremos	3.7 a 5.5	100
5 Súper huracán	< 920	> 250	catastróficos	> 5.5	250

Cuando los CT alcanzan la categoría de huracán, se utiliza una clasificación llamada de Zaffir-Simpson, basada en la fortaleza del sistema y en el daño potencial a las construcciones que puede propiciar en una zona (tabla 23). La caída de los valores de la presión central del sistema es directamente proporcional a la velocidad del giro de sus vientos. Si el organismo golpea un punto de la costa como huracán de categoría 1, propiciaría daños mínimos; pero con uno de categoría 5, los daños pudieran ser catastróficos.

México es el único país de la zona que es afectado por dos flancos

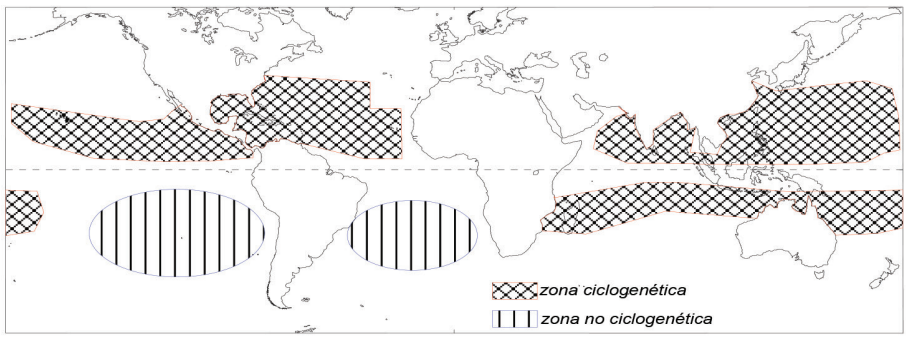


Figura 19. Zonas ciclogenéticas en todo el mundo

La República Mexicana tiene cerca de sus costas, en el océano Pacífico la zona más ciclogenética (es decir, donde se originan los ciclones), ya que

por unidad de área es la zona más productiva del mundo, ubicada en las cercanías del Golfo de Tehuantepec.

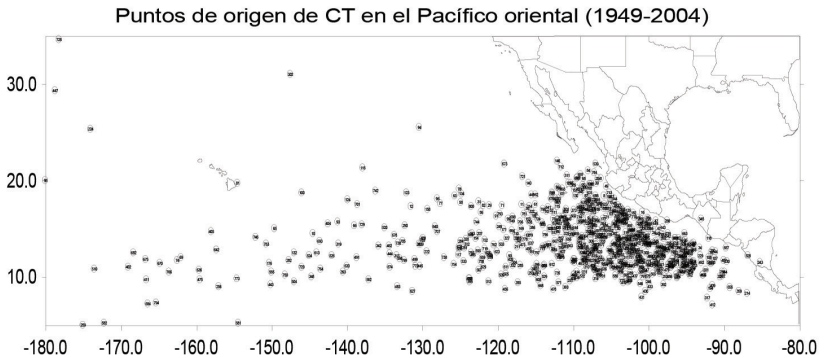


Figura 20. Puntos en los cuales se ha originado los CT del Pacífico oriental desde 1950.

Desde la década de 1950 a la fecha, más de 850 ciclones tropicales han surgido de la cuenca ciclogenética del Pacífico oriental, y de estos organismos, cerca de 60% han surgido en la llamada hoya caliente.

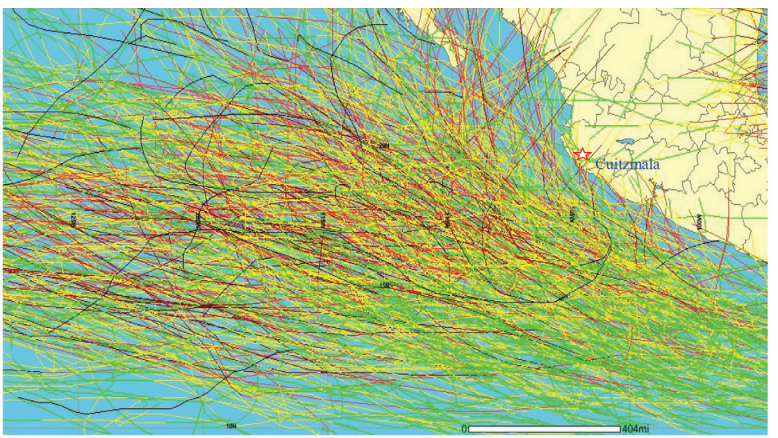


Figura 21. Trayectoria de los ciclones tropicales originados en el Pacífico oriental De acuerdo con los registros desde 1950.

La cuenca hidrológica de Cuitzmala se ve sumamente favorecida con precipitaciones por el paso de CT; un ejemplo de ello ocurrió el 5 de septiembre de 1999, cuando en 24 horas se registraron 236 mm, causados por la influencia del flujo de una depresión tropical que días después alcanzaría la categoría de huracán llamado Greg; dicha cantidad en tan sólo un día representa aproximadamente una tercera parte de lo que se registra a lo largo de un año en la parte baja de la cuenca. Realmente la toma de datos pluviométricos en la zona, es escasa y se necesitan más registros sobre todo cuenca arriba donde los niveles de lluvia son superiores desde el pie de monte hasta picos altos de la sierra de Cacoma. Los niveles de precipitación en la cuenca son altos relativamente en comparación a otras zonas, desafortunadamente gran parte de estas precipitaciones se pierden en el mar. Sociedades en otras partes del mundo, con un tercio de las precipitaciones que se registran en Cuitzmala, no tienen problemas de abastecimiento del vital líquido.

La costa de Jalisco es frecuentemente amenazada por ciclones tropicales. La mayoría de ellos provienen de los mares del Pacífico Sur mexicano, que es la zona ciclogenética más activa del mundo (Cornejo-López, 2005). Esta zona se ve amenazada por estos fenómenos en cualquier mes dentro de la temporada ciclónica. Sin embargo, la probabilidad aumenta al final de la temporada (aproximadamente en octubre), fecha en que los flujos del Oeste se fortalecen y propician una recurva en los ciclones tropicales (CT) que los hace impactarse principalmente en los estados del Noroeste del país (Jáuregui, 2003; Cornejo-López, 2005). La costa de Jalisco no está exenta de un impacto directo de un ciclón tropical; conforme crezca el manto urbano, se requerirá prevención ante estos eventos.

Desde la década de 1950 a la fecha, más de 850 ciclones tropicales han surgido de la cuenca ciclogenética del Pacífico oriental, cerca de 60% se han originado en la zona ciclogenética más activa del mundo por unidad de área, localizada al Sur de las costas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Landsea, 1999). La mayoría de estos organismos tienden a desplazarse rumbo al Oeste Noroeste, es decir, frecuentemente paralelo a la costa, internándose mar adentro. Sin embargo, en cualquier momento suelen describir un trayecto errático. Para las costas de los estados del Noroeste y occidente del país, los meses de septiembre y octubre son de más riesgo, ya que dichos organismos suelen recurvar, impactándose frecuentemente en

dichos litorales (Jáuregui, 2000). Gran parte de la precipitación acumulada anualmente en los estados con litoral en el Pacífico, procede de los ciclones tropicales. Un organismo de esta naturaleza no necesariamente tiene que impactar en un punto dado para propiciar gran cantidad de lluvia en cierta área, muchos de estos sistemas generan precipitaciones aunque se desplacen lejos de la costa debido a que su gran circulación disemina aire con alto contenido de humedad en dirección al territorio.

Existen años muy activos y otros poco activos. Otros ciclos con distinta periodicidad propician cambios en ciertos patrones climáticos. La temperatura superficial de mar es condición necesaria para el surgimiento de estos sistemas. El fenómeno del Niño, Oscilación del Sur (ENOS), tiene efecto sobre el número de CT del Atlántico; en presencia de este evento, disminuyen considerablemente; en cambio, en presencia de "La Niña" el Atlántico se torna más activo y el número de CT aumenta. El Pacífico oriental no experimenta grandes cambios en cuanto al número de CT en presencia de Niño o Niña, solamente se observan puntos de origen más dispersos y CT algo más intensos en años Niño (Magaña, 1999).

Respecto a la zona marítima, corresponde a la parte oriental del océano Pacífico. Por ser una zona de transición en la que confluyen dos corrientes marinas —la corriente de California y la Norecuatorial— la dinámica se vuelve compleja (González-Ruelas, 2000), que permiten que los nutrientes lleguen a la capa fótica, donde favorecen el desarrollo de diversos organismos.

Tabla 24
Fenómenos que han pasado por la región de Cuitzmala

Fenómeno	*Nombre*	*Fecha*
TT	Kiko	Del 15 al 23 de octubre de 2007
H	Henriette	Del 30 de agosto al 6 de septiembre de 2007
TT	Emilia	Del 21 al 31 de julio de 2006
H	John	Del 28 de agosto al 4 de de septiembre de 2006
H	Lane	Del 13 al 17 de septiembre de 2006
TT	Norman	Del 9 al 15 de octubre de 2006
TT	Dora	Del 4 al 6 de julio de 2005
H	Javier	Del 10 al 19 de septiembre de 2004

Fenómeno	*Nombre*	*Fecha*
H	Olaf	Del 3 al 8 de octubre de 2003
H	Marti	Del 19 al 24 de septiembre de 2003

TT: tormenta tropical.
H: huracán.

Estos fenómenos no han impactado en la zona pero han generado a su paso grandes cantidades de lluvia a la cuenca de Cuitzmala.

Tabla 25
Relación de los fenómenos del Niño y la Niña de 1950 a 2008

Año	*Fenómeno meteorológico*	*Año*	*Fenómeno meteorológico*
1950	Niño	1980	Niña
1951	Niño	1981	Niña
1952	Niña	1982	(ene.-abr.) niña (may.-dic.) niño
1953	Niña	1983	(ene.-jun.) niño (jul.-dic.) niña
1954	(Ene.-feb.) niña (mar.-dic.) niño	1984	(ene.-sep.) niña (oct.-dic.) niño
1955	Niño	1985	(ene.-sep.) niño (oct.-dic.) niña
1956	Niño	1986	(ene.-ago.) niña (sep.-dic.) niño
1957	Niño	1987	Niño
1958	(Ene.-jun.) niño (jul.-dic.) niña	1988	Niño
1959	Niña	1989	(ene.-may.) niño (jun.-dic.) niña
1960	Niña	1990	Niña *repercusiones para la Rep. Mex.
1961	Niña	1991	(ene.-abr.) niña (may.-dic.) niño
1962	Niña	1992	(ene.-jul.) niño (ago.-dic.) niña
1963	Niña	1993	Niña
1964	Niño	1994	(ene.-jun.) niña (jul.-dic.) niño
1965	Niño	1995	(ene.-mar.) niño (abr.-ago.) niña (sep.-dic.) niño
1966	(Ene.-abr.) niño (may.-dic.) niña	1996	(ene.-mar.) niño (abr.-dic.) niña
1967	Niña	1997	(ene.-abr.) niña (may.-dic.) niño
1968	(Ene.-abr.) niño (may.-dic.) niña	1998	Niño *gran precipitan Norte y Sur de América
1969	Niño	1999	Niño
1970	(ene.-jun.) niña (jul.-dic.) niño	2000	(ene.-jun.) niño (jul.-sep.) niña (oct.-dic.) niño
1971	Niño	2001	Niña
1972	(ene.-abr.) niña (may.-dic.) niño	2002	(ene.-abr.) niña (may.-dic.) niño
1973	Niño	2003	(ene.-mar.) niño (abr.-dic.) niña
1974	Niño	2004	(ene.-jun.) niña (jul.-dic.) niño
1975	Niño	2005	(ene.-feb.) niño (mar.-dic.) niña

Año	*Fenómeno meteorológico*	*Año*	*Fenómeno meteorológico*
1976	(ene.-may.) niño (jun.-ago.) niña (sep.-dic.) niño	2006	(ene.-jun.) niña (jul.-dic.) niño
1977	(ene.-feb.) niño (mar.-ago.) niña (sep.-dic.) niño	2007	(ene.) niño (feb.-jul.) niña (ago.-dic.) niño
1978	Niña	2008	(ene.-mar.) niña
1979	Niña		

Flujos de vientos en la zona de Cuitzmala

El viento es principalmente el movimiento horizontal del aire y es resultado de la acción de varias situaciones, especialmente del gradiente horizontal de la presión, la temperatura, la rotación terrestre y la fricción con las distintas formas de relieve, lo que da como resultado los sistemas de vientos locales.

La costa de Jalisco, al igual que cualquier parte del globo terrestre, no escapa a la influencia de la circulación general atmosférica; de tal forma que en el ciclo anual esta influencia marca ciertos patrones en el comportamiento del viento. Anualmente, para la zona occidental del país —como ya se mencionó anteriormente— están marcados dos grandes periodos: el húmedo y el seco. Dado que la zona de estudio se encuentra en la faja de bajas latitudes (tropicales) pero cercana a las medias latitudes, recibe influencia de los sistemas meteorológicos de ambas zonas, aportando importantes variaciones a estos periodos. En la figura 28 se esquematiza los flujos que dominan el occidente del país.

A finales de febrero y durante el mes de marzo se establecen los vientos occidentales, predominantemente secos aunque en "años niños" esta característica suele ser inversa. Estos vientos occidentales, también cálidos, son a menudo acelerados por la influencia de fuertes corrientes de viento en la altura en forma de chorros conocidos en meteorología como "*Jet Stream*" y también asociados al anticiclón del Atlántico. La rosa de los vientos para esta época presenta flujos procedentes del Suroeste y son más intensos a lo largo del año. El flujo en la superficie es sesgado por características propias del relieve o por obstáculos aledaños. En las cimas de las montañas el sesgo, en cuanto a la dirección, es mínimo pero en velocidad existe una influencia importante.

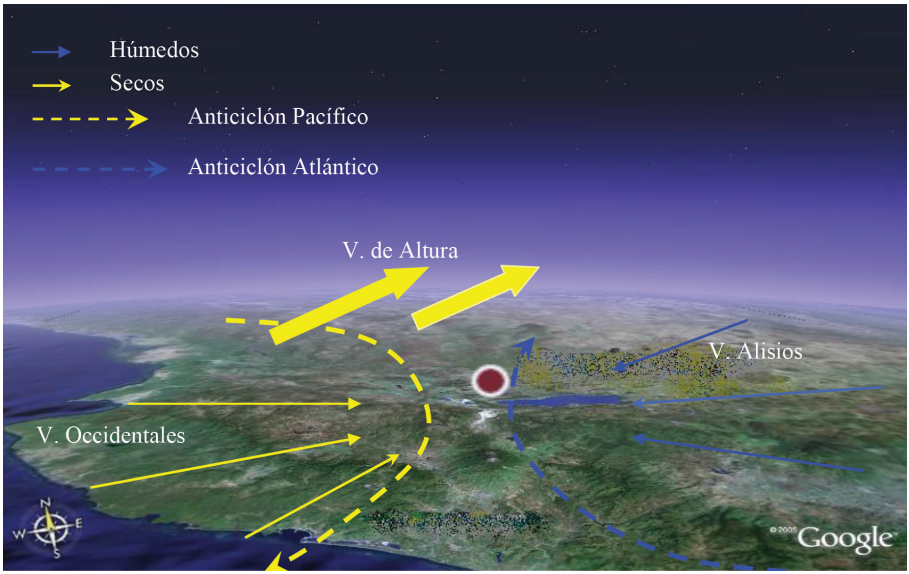


Figura 22. Sistemas meteorológicos que influyen en el viento local en la zona occidente del país.

Los datos en cuanto al viento dentro de la cuenca de Cuitzmala no nos permiten hacer un estudio a fondo porque se requieren datos continuos y las estaciones meteorológicas automáticas han sido colocadas recientemente en la zona; sin embargo, en los datos disponibles se puede apreciar una clara influencia de la brisa marina y del terral, muy característica de las zonas costeras (Camarilla, 2005). Los vientos locales normalmente se superponen en los sistemas eólicos a gran escala; esto es, la dirección del viento es influenciada por la suma de los efectos global y local. Cuando los vientos a gran escala son suaves, los vientos locales pueden dominar los regímenes de viento. Durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el mar por efecto del sol. El aire sube, circula hacia el mar y crea una depresión a nivel del suelo que atrae el aire fresco del mar. Esto es lo que se llama brisa marina. A menudo hay un periodo de calma al anochecer, cuando las temperaturas del suelo y del mar se igualan. Durante la noche los vientos soplan en sentido contrario. Normalmente durante la noche la brisa terrestre tiene velocidades inferiores, debido a que la diferencia

de temperaturas entre la tierra y el mar es más pequeña. En Cuitzmala el flujo del terral local es reforzado varios meses por vientos suaves a mayor escala influenciados por el anticiclón del Pacífico, dicho viento es de circulación a favor de las manecillas del reloj visto desde arriba, y de naturaleza seca por ser subsidente lo que favorece un flujo de tierra a mar, situación que reseca la parte baja de la cuenca. Un estudio de muchos años, costoso, amplio y profundo de los movimientos de los centros anticiclónicos en el Pacífico fue realizado por la ex Unión Soviética (*Atlas del Océano. Océano Pacífico,* 1974, Leningrado, GUNO. Rusia).

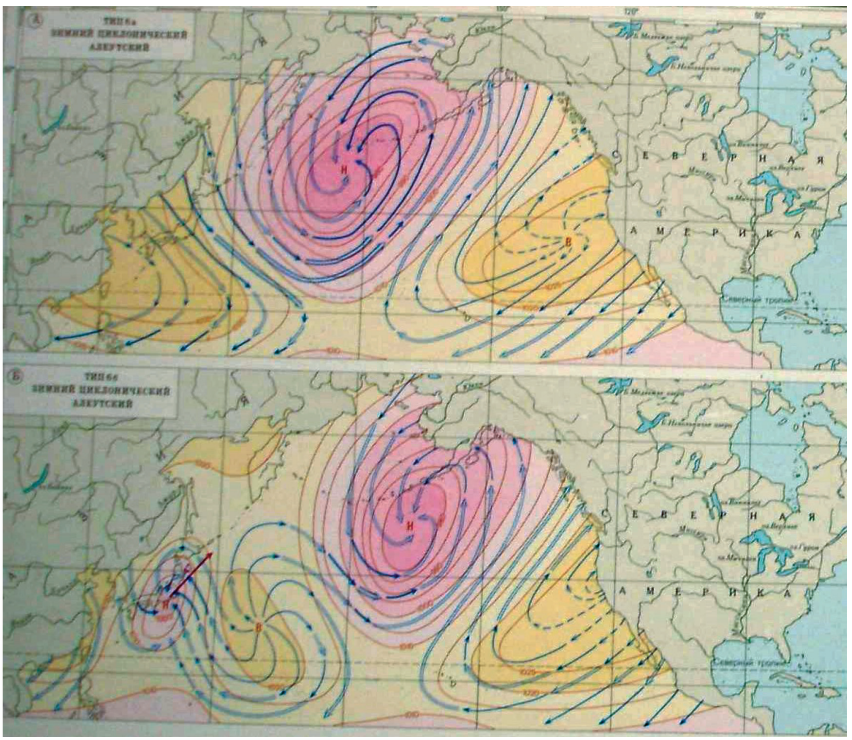


Figura 23. Posición de los centros anticiclónicos en el océano Pacífico para el periodo seco en el verano. Se muestra en la figura el giro semipermanente del Pacífico Norte-anticiclón aleutiano, el cual migra o fluctúa (como se muestra en las dos figuras). La letra B en el centro de giro indica alta presión y la H indica baja presión, de acuerdo con la notación en ruso (*Atlas Oceanográfico Ruso*, URSS).

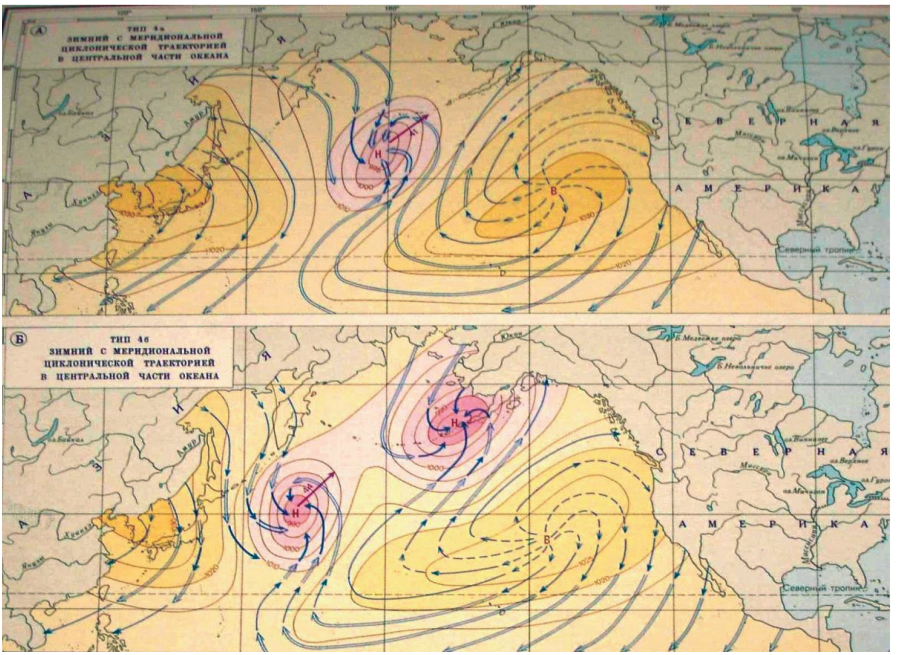


Figura 24. Posición de los centros anticiclónico en el océano Pacífico para el periodo húmedo del invierno. Se muestra en la figura el giro semipermanente del Pacífico Norte-anticiclón aleutiano, el cual migra o fluctúa (como se muestra en las dos figuras). La letra B en el centro de giro indica alta presión y la H indica baja presión, de acuerdo con la notación en ruso (*Atlas Oceanográfico Ruso*, URSS).

Muy importante resulta el rol que tienen el relieve y los aspectos geomorfológicos en la cuenca de Cuitzmala. Los flujos del viento húmedo procedentes del mar en una costa con montañas inmediatas generan un mecanismo que permite llevar súbitamente dicho aire húmedo hacia alturas más frías donde por procesos termodinámicos frecuentemente se detonan lluvias. A dicha pendiente de cara al mar y con flujo procedente del mismo se le conoce como barlovento y suelen ser áreas con amplia diversidad vegetal; un ejemplo de esto lo encontramos en la ladera Sur del litoral de Bahía de Banderas en el municipio de Cabo Corrientes, ahí las isoyetas encuentran valores que van desde los 1,000 a los 2,000 mm de precipitación anual. En el caso de la cuenca de Cuitzmala, el flujo

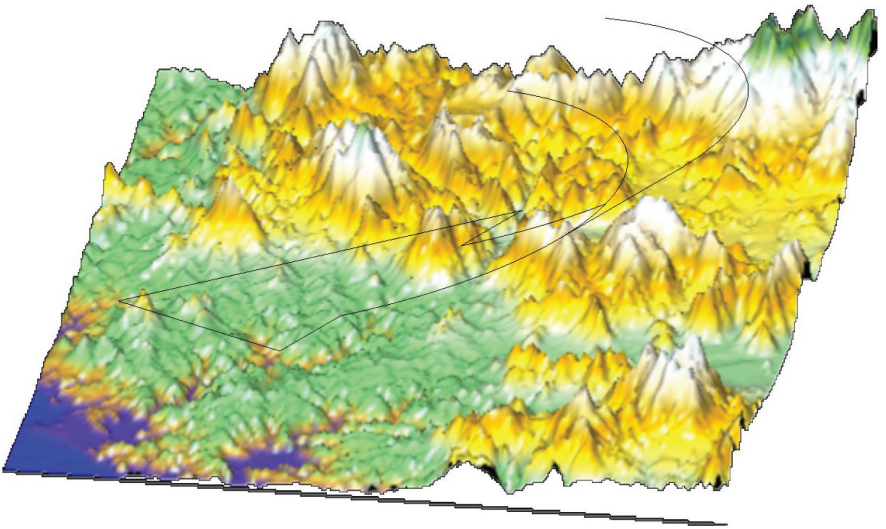


Figura 25. Flujos de viento de tierra hacia mar sobre la cuenca de Cuitzmala, correspondiente a un flujo anticiclónico.

húmedo marino no encuentra elevaciones relevantes y no genera precipitaciones importantes en las zonas aledañas a la costa; sin embargo, en las partes medias y altas en el interior de la cuenca, dicho flujo tiende a elevarse en el pie de monte de la sierra de Cacoma.

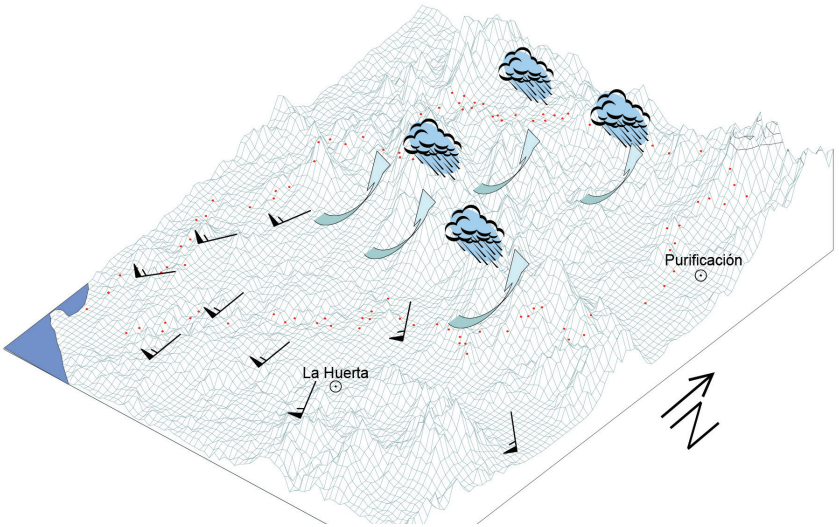
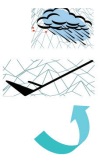


Figura 26. Flujos de viento de mar a tierra sobre la cuenca de Cuitzmala, debido a la circulación de brisa.

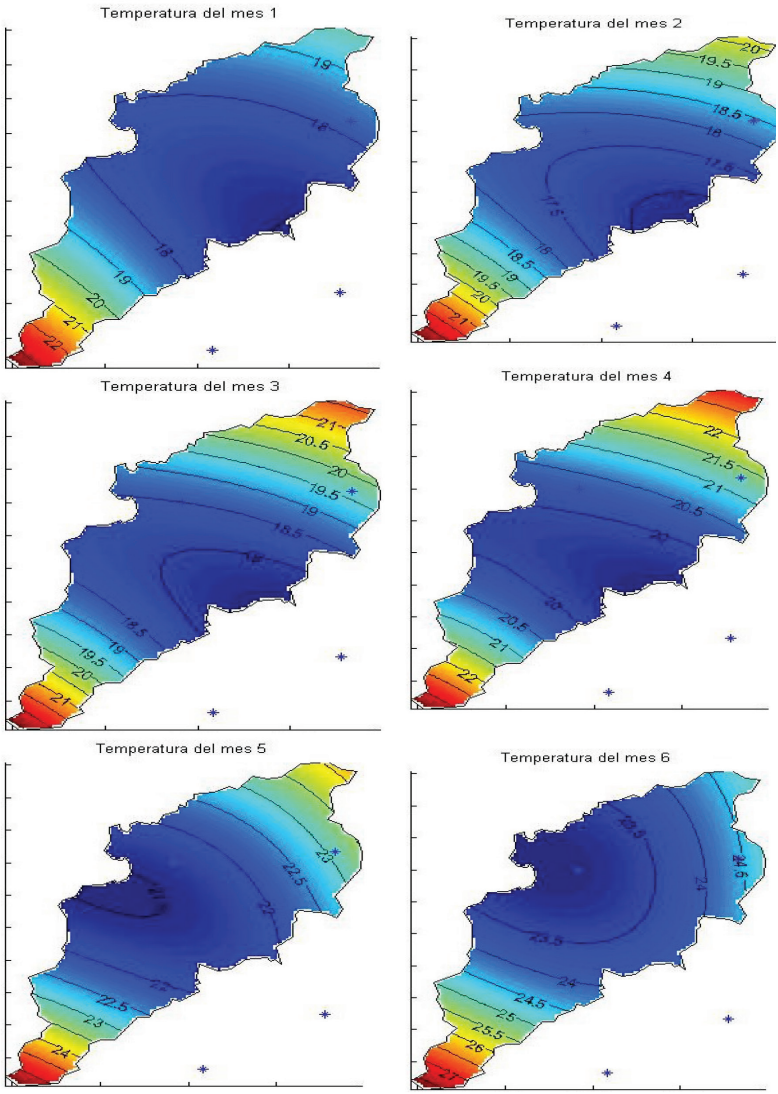


Zonas de barlovento, que es el lugar donde se deposita la lluvia debido a la elevación.

Flujo del viento marino, procedente principalmente del Suroeste y dirigido al noreste.

Flecha que indica la elevación de masas de aire, obligado por el relieve.

Anexo 5. Mapas mensuales de temperatura [°C]



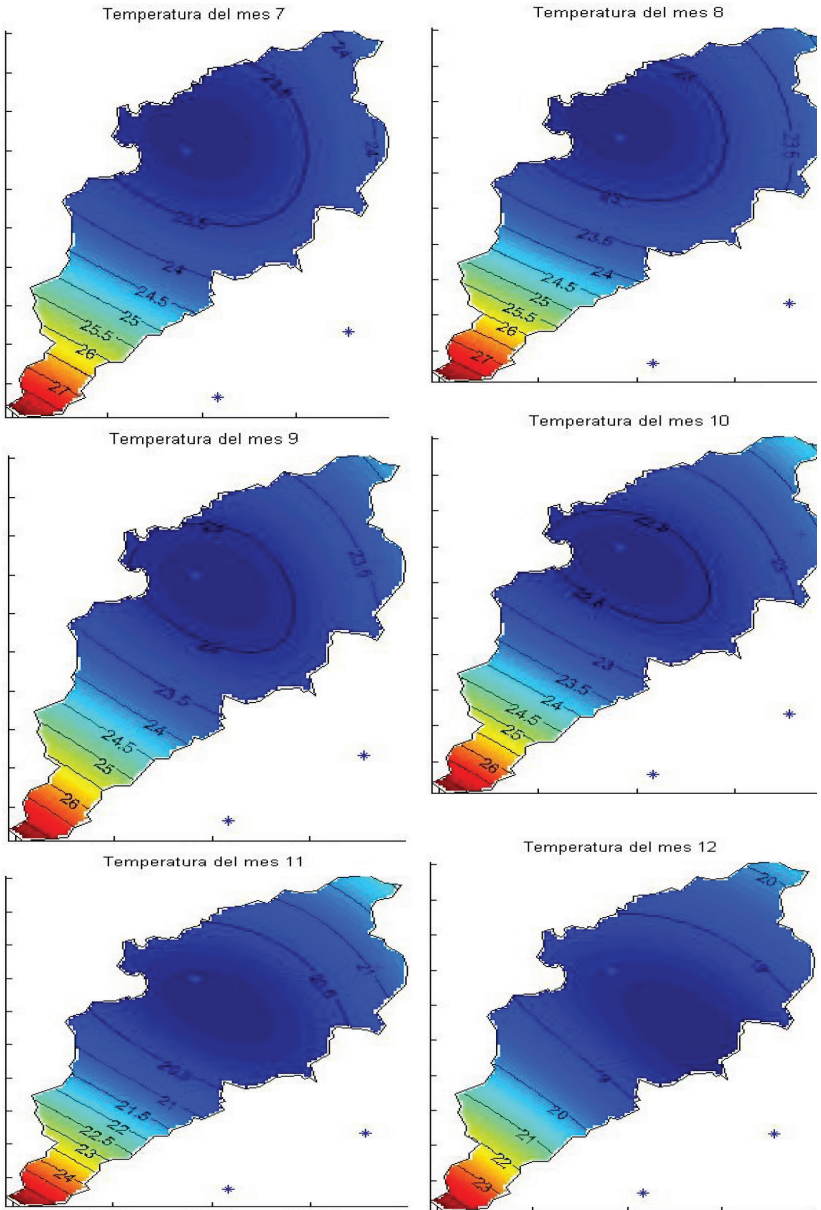
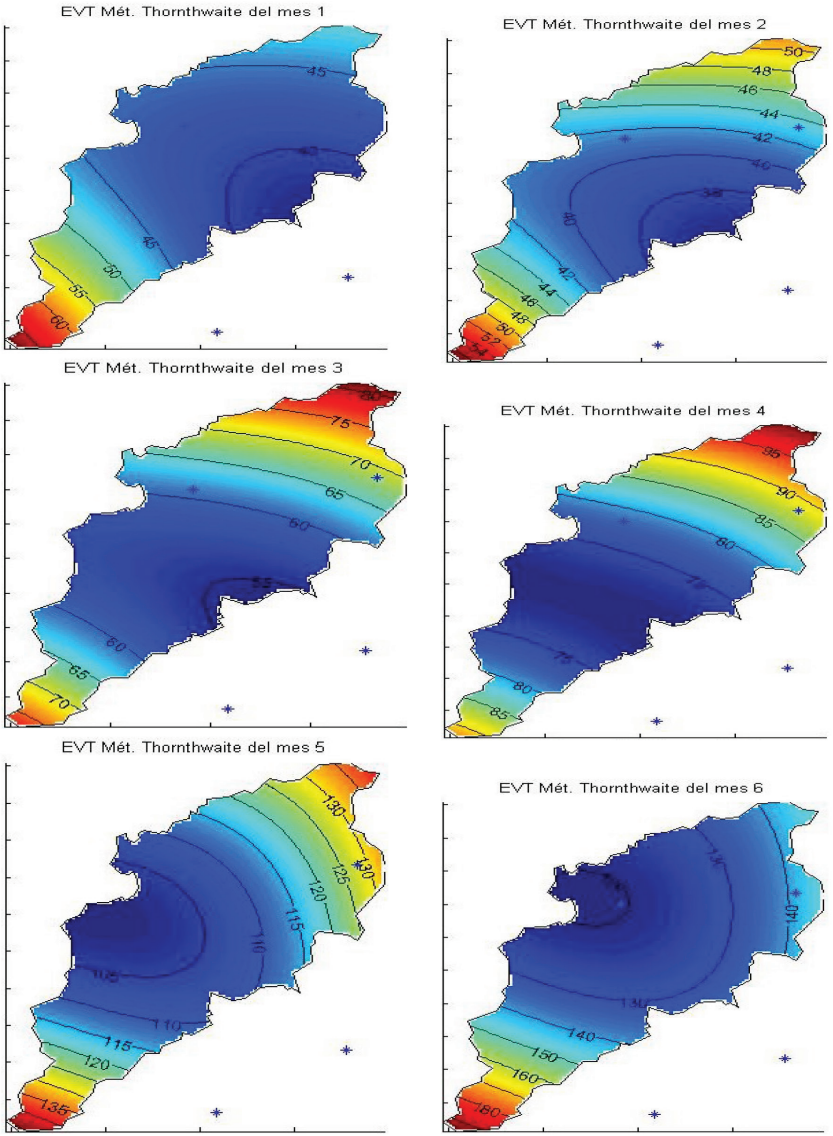


Figura 27. Mapas de temperatura mensual promedio para la cuenca Cuixmala (ºC)

Anexo 6. Mapas mensuales de evapotranspiración [mm]



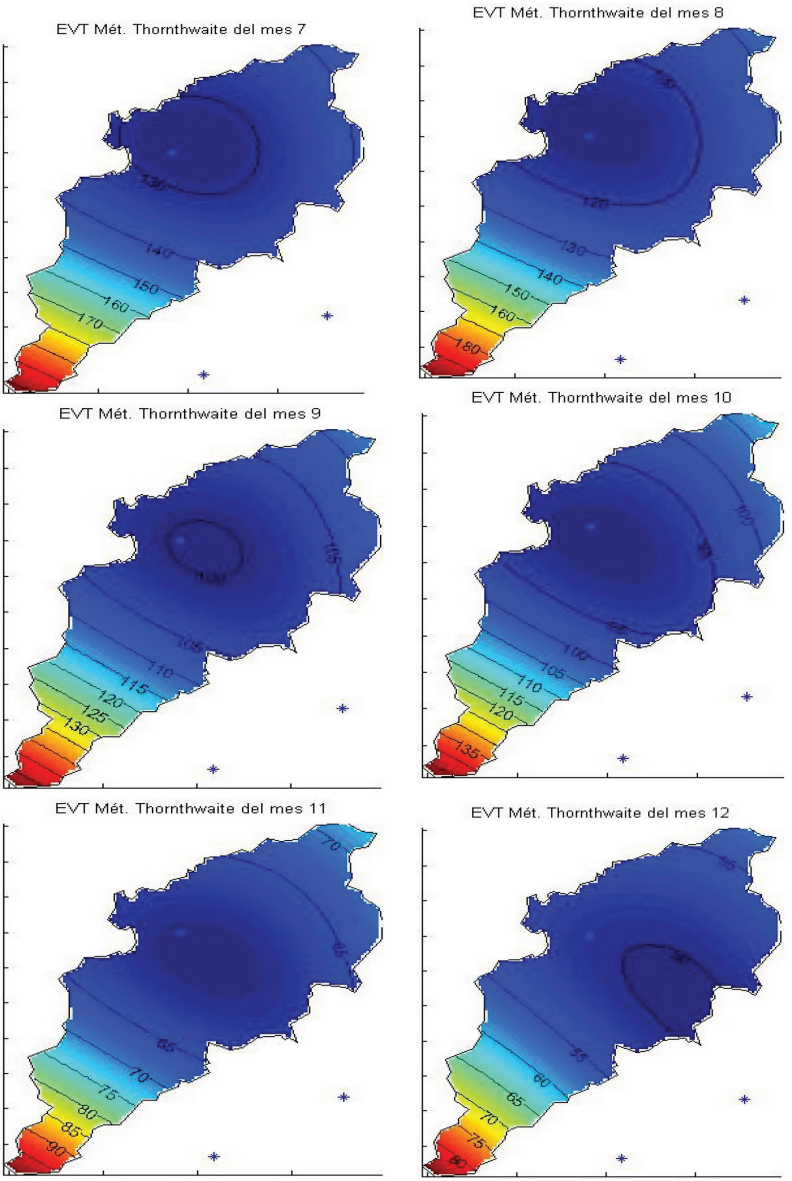
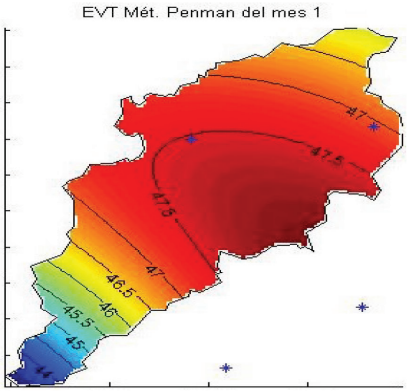
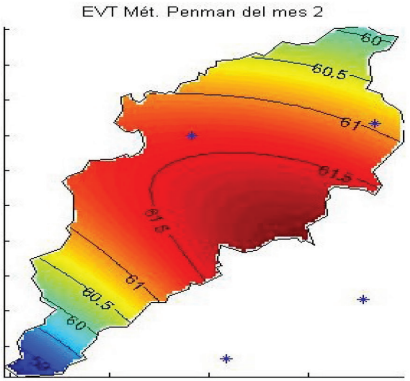
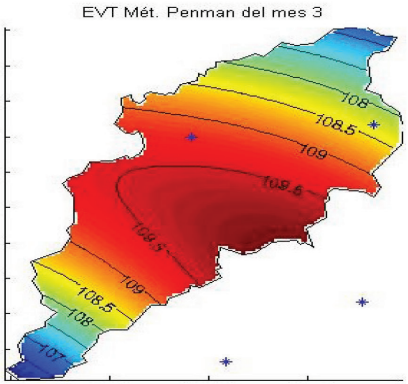
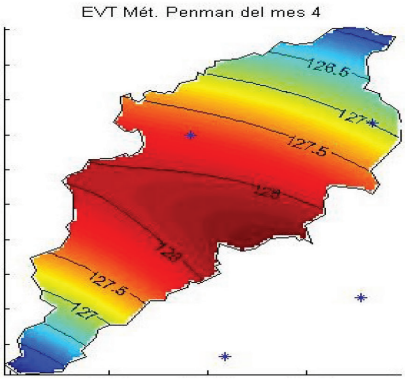


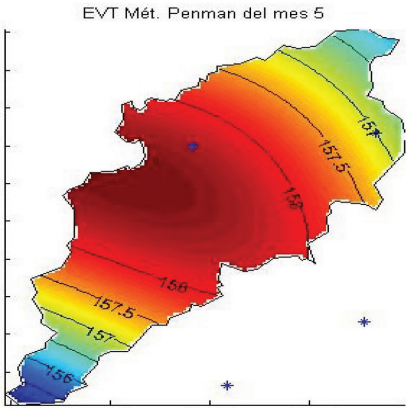
Figura 28. Mapas de evapotranspiración mensual promedio para la cuenca Cuixmala (mm) mediante el método de Thornthwaite.

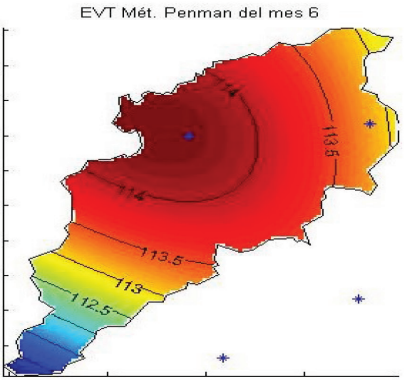

EVT Mét. Penman del mes 1
47
47.5
47.5
47
46.5
46
45.5
45


EVT Mét. Penman del mes 2
60
60.5
61
61.5
61.5
61
60.5
60


EVT Mét. Penman del mes 3
108
108.5
109
109.5
109.5
109
108.5
108
107


EVT Mét. Penman del mes 4
126.5
127
127.5
128
128
127.5
127


EVT Mét. Penman del mes 5
157.5
158
158
157.5
157
156


EVT Mét. Penman del mes 6
114
113.5
114
113.5
113
112.5

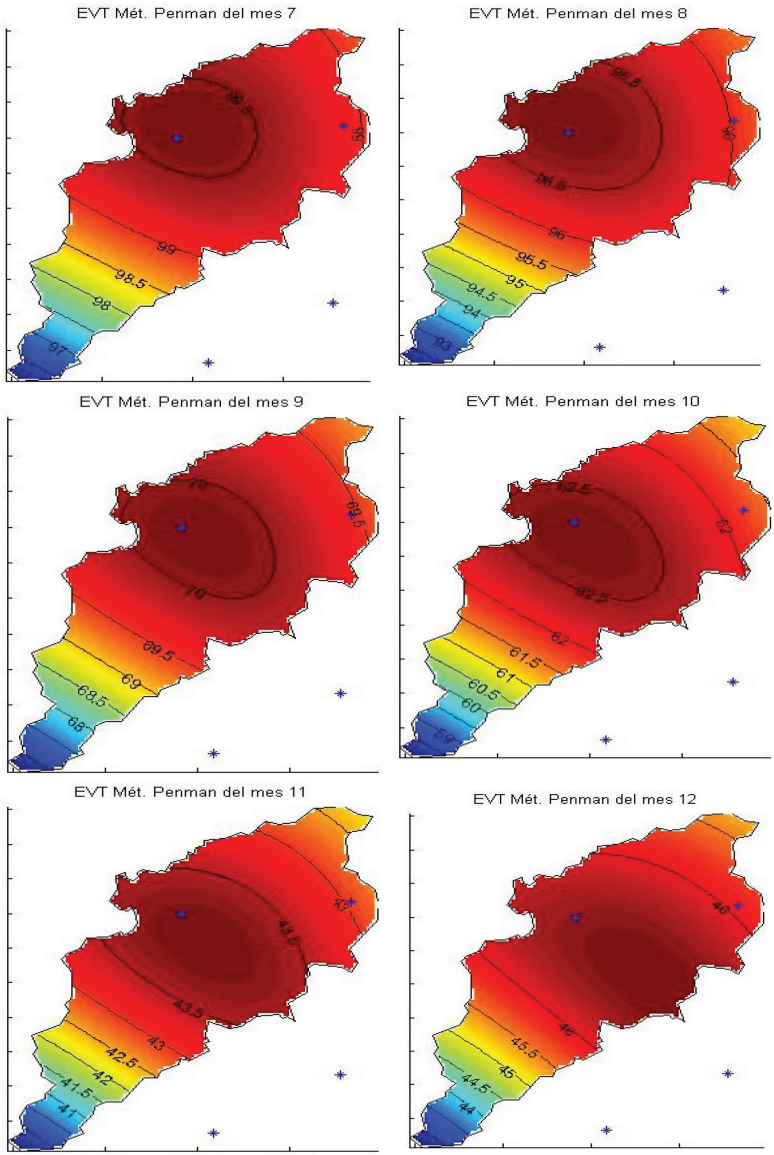
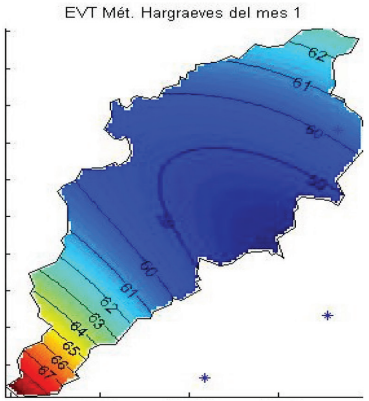
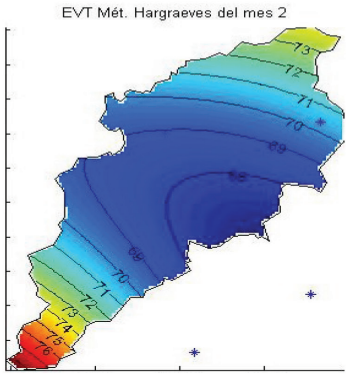
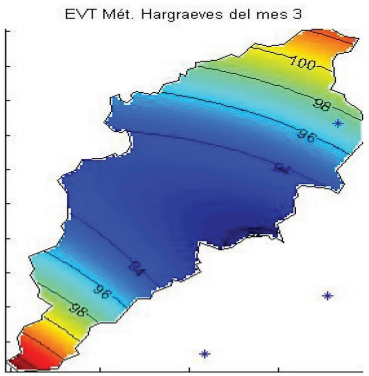
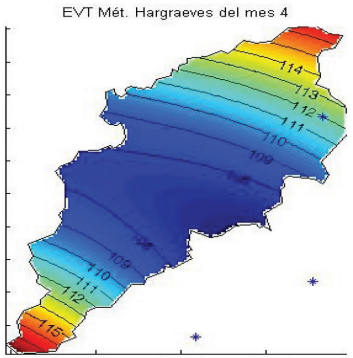


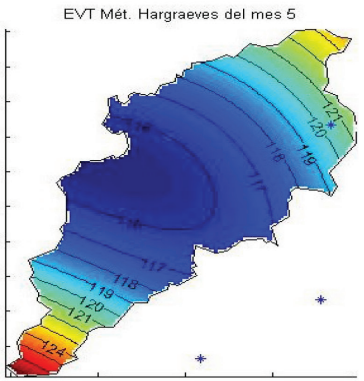
Figura 29. Mapas de evapotranspiración mensual promedio para la cuenca Cuixmala (mm) mediante el método de Penman.

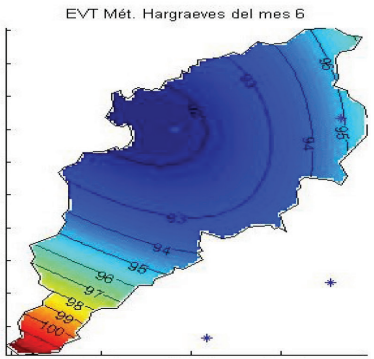

EVT Mét. Hargraeves del mes 1
62
61
60
61
62
63
64
65
66
67


EVT Mét. Hargraeves del mes 2
73
72
71
70
69
70
71
72
73
74
75
76


EVT Mét. Hargraeves del mes 3
100
98
96
94
96
98


EVT Mét. Hargraeves del mes 4
114
113
112
111
110
109
110
111
112
115


EVT Mét. Hargraeves del mes 5
121
120
119
118
117
118
119
120
121
124


EVT Mét. Hargraeves del mes 6
96
95
94
95
96
97
98
99
100

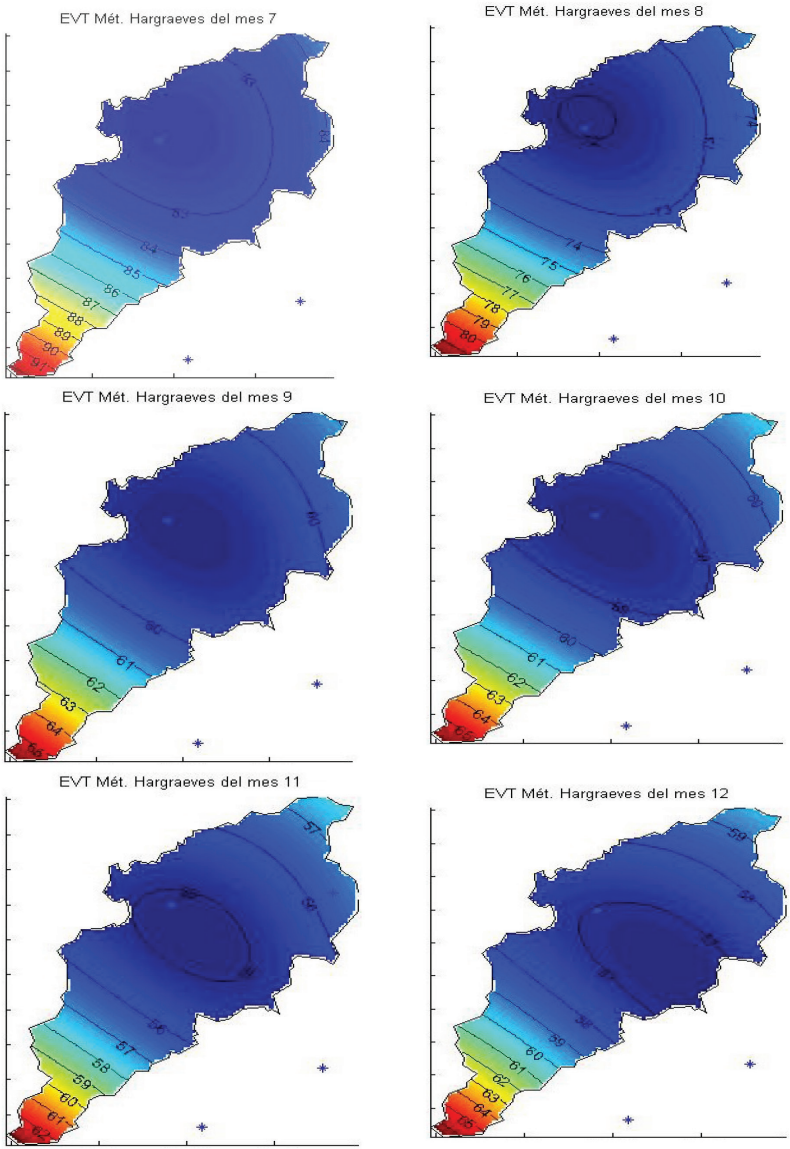


Figura 30. Mapas de evapotranspiración mensual promedio para la cuenca Cuixmala (mm) mediante el método de Hargraeves.

Anexo 7. Proyecciones del crecimiento de la población y demanda de la cantidad de agua.

	Proyección a 30 años				
	Número de Unidades	*Consumo por unidad*	*M^3 Consumo diario*	*M^3 Consumo anual*	*Consumo L.P.S.*
Cuartos hoteleros o equivalentes en casas	4000 habitaciones	1.2 M^3/unidad	4800	1,752,000	20.28
Centros de consumo y servicios	30 baños	1.0 M^3/baño	30	10,950	0.13
Campos de polo y entrenamiento	20 Ha	60 M^3/ha/día	1200	438,000	5.07
Praderas	40 Ha	30 M^3/ha/día	1200	438,000	5.07
Equipamiento e infraestructura	20 Ha	150 M^3/ha/día	3000	1,095,000	12.67
				3,733,950	43.22

	Proyección a 50 años				
	Número de unidades	*Consumo por unidad*	*M^3 Consumo diario*	*M^3 Consumo anual*	*Consumo L.P.S.*
Cuartos hoteleros o equivalentes en casas	10,000 habitaciones	1.2 M^3/unidad	12000	4,380,000	50.70
Centros de consumo y servicios	100 baños	1.0 M^3/baño	100	36,500	0.42
Campos de polo y entrenamiento	20 Ha	60 M^3/ha/día	1200	438,000	5.07
praderas	40 Ha	30 M^3/ha/día	1200	438,000	5.07
Equipamiento e infraestructura	20 Ha	150 M^3/ha/día	3000	1,095,000	12.67
				6,387,500	73.93

Fonatur históricamente tiene el parámetro de 10 habitantes por cuarto hotelero en las poblaciones vecinas

	Proyección a 30 años			
	Dotación por habit.	*Habitantes*	*Consumo anual*	
Emiliano Zapata, Francisco Villa, Careyes.	0.140 M3 /hab./día	40,000	2,336,000	27.04

	Proyección a 50 años			
	Dotación por habit.	*Habitantes*	*Consumo anual*	
Emiliano Zapata, Francisco Villa, Careyes.	0.140 M3 /hab./día	100,000	5,110,000	59.14

Resumen de consumos:

	Proyección a 30 años	
	Consumo anual	*Litros por segundo*
Zona hotelera	3,733,950	43.22
Poblaciones vecinas	2,336,000	27.04
Extracción total	6,069,950	70.26

	Proyección a 50 años	
	Consumo anual	Litros por segundo
Zona hotelera	6,387,500	73.93
Poblaciones vecinas	5,110,000	59.14
Extracción total	11,497,500	133.07

Estudio del potencial hidrológico de la cuenca Cuitzmala
Co*sta Suroeste de Jalisco, México*
se terminó de imprimir en enero de 2015
en los talleres de Ediciones de la Noche
Madero #687, Zona Centro
Guadalajara, Jalisco.
El tiraje fue de 100 ejemplares.

www.edicionesdelanoche.com

El balance hidrológico es una ecuación muy simple en la que se cuantifican las entradas y salidas de agua en un sistema o cuenca hidrológica. Para la cuenca del río Cuitzmala, la principal entrada de agua es la precipitación. La salida principal de agua es la evapotranspiración y, en menor medida, el escurrimiento superficial del río Cuitzmala y el agua comprometida de los aprovechamientos dentro de la cuenca.

El presente estudio tiene como objetivo cuantificar la disponibilidad de agua en la cuenca Cuitzmala, la cual se encuentra en la región denominada Costa Alegre del estado de Jalisco. Pretende corroborar lo ya reportado al respecto por diversas autoridades como Semarnat, la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Estatal del Agua-Jalisco. Es importante hacer notar que en lo reportado en distintos periodos de tiempo y por diferentes autoridades, así como lo calculado en este estudio, se apreciaron valores diferentes pero siempre coincidentes en el orden cuantitativo. Mediante el balance hidrológico se demostrará que la cantidad de agua que entra a la cuenca es muy elevada, en comparación al aprovechamiento que se hace de ella.

Centro Universitario de la Costa

ISBN: 978-607-742-154-2